

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ARIEL DONIZETI DA SILVA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRANA
GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE RESÍDUOS DO
PROCESSAMENTO DA MANDIOCA**

MARÍLIA
2014

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ARIEL DONIZETI DA SILVA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRANA
GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE RESÍDUOS DO
PROCESSAMENTO DA MANDIOCA**

Trabalho de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador:
Prof. Fábio Marciano Zafra

MARÍLIA
2014

Silva, Ariel Donizeti da

Análise de viabilidade econômico-financeira na geração de energia a partir de resíduos do processamento da mandioca / Ariel Donizeti da Silva; orientador: Fábio Marciano Zafra. Marília, SP: [s.n.], 2014.

70 f.

Trabalho de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Curso de Engenharia de Produção, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília –UNIVEM, Marília, 2014.

1. Tratamento de Resíduos 2. Biogás 3. Energia 4. Viabilidade Econômica

CDD: 658.404



FUNDAÇÃO DE ENSINO "EURÍPIDES SOARES DA ROCHA"
Mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília - UNIVEM
Curso de Engenharia de Produção.

ATA DE SESSÃO DE DEFESA DO TRABALHO DE CURSO

O Trabalho do Curso de Graduação em Engenharia de Produção intitulado "Análise de viabilidade econômico-financeira na geração de energia a partir de resíduos do processamento da mandioca", elaborado por Ariel Donizeti da Silva, RA nº. 46044-3, 5ª A Noturno foi apresentada e defendida em sessão de argüição e avaliação, em 11 de dezembro de 2014, nas dependências desta instituição de ensino, perante a banca examinadora formada pelos membros abaixo assinados, tendo obtido aprovação com a nota 10,0 (DEZ.) e sido julgada adequada para o cumprimento do requisito legal previsto no artigo 9º da Resolução CNE/CES n. 4 de 13 de julho de 2005 regulamentado no Curso de Engenharia de Produção da Fundação Eurípides - Univem pelo Regulamento do Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Produção.

Marília, 11 de dezembro de 2014.



Prof. Orientador(a): Fabio Marciano Zafra



Examinador(a) 1 : Jose Antonio Poletto Filho

Examinador(a) 2 : Fabio Piola Navarro

À Deus, pela vida, por todo amor e confiança, que me sustentam em todas as dificuldades.

À minha família, por todos valores e ensinamentos, por toda paciência e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pela saúde e realização deste sonho.

À todo incentivo e confiança prestados por minha família durante estes cinco anos.

Aos amigos, professores e colaboradores da Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, pela contribuição nesta conquista.

“Quando sabemos aonde vamos, quando temos uma meta, nada que nos aconteça de bom ou de ruim pode tirar nossa paz”.

Pe. Léo

SILVA, Ariel Donizeti da. **Análise de viabilidade econômico-financeira na geração de energia a partir de resíduos do processamento da mandioca**. 2014. 70 f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2014.

RESUMO

O presente trabalho mostra conceitos de Engenharia de Produção, mais especificamente, metodologias de análise de viabilidade econômico-financeira de projetos, aplicados à uma proposta de tratamento de resíduos líquidos do processamento industrial da mandioca. Foi realizado um estudo de caso em uma indústria do segmento alimentício, que produz farinha à base de mandioca. O processamento industrial da mandioca gera um alto volume de resíduos líquidos, destacando-se negativamente pelo potencial de poluição ambiental. Estudos preliminares demonstram que o efluente apresenta também potencial de produção de biogás, constituído principalmente por gás metano, possibilitando que o mesmo seja utilizado na geração de energia elétrica para a própria indústria. A proposta para o tratamento e aproveitamento dos resíduos é de um sistema de biodigestão anaeróbia e geração de energia limpa, que foi dimensionado utilizando metodologias e estudos técnicos desta área. As análises demonstraram que o sistema é sustentavelmente e economicamente viável, frente aos objetivos e resultados alcançados neste estudo.

Palavras-chave: Tratamento de Resíduos Líquidos. Biogás. Energia. Viabilidade Econômica.

SILVA, Ariel Donizeti da. **Análise de viabilidade econômico-financeira na geração de energia a partir de resíduos do processamento da mandioca.**2014. 70 f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2014.

ABSTRACT

The present paper shows Production Engineering concepts, in particular, economic-financial viability analysis methodologies in projects, applied to a proposed treatment of liquid waste of cassava industrial processing. It was accomplished a study case in a food industry sector, that produces cassava-based flour. The cassava industrial processing generates a high liquid waste level, standing out in a negative way for the environmental pollution potential. Preliminary studies show that the effluent has also a pontial for biogas production, which is mainly composed by methane, allowing it to be used in electricity generation for the own industry. The proposal for the liquid treatment and recovery of liquid waste is a digestion bio-waste and clean energy generation system, which has been designed using methodologies and technical studies of this area. The analyses have shown that the system is sustainably and economically viable, considering the achieved goals and results in this study.

Keywords: Liquid Waste Treatment. Biogas. Energy. Economic Viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Metodologia do presente trabalho.....	18
Figura 2 – Produção mais limpa – Níveis de intervenção.	23
Figura 3 – Fluxograma do processo geral.	25
Figura 4 – Processo de hidrólise enzimática da mandioca.	27
Figura 5 – Fases da produção de biogás.	30
Figura 6 – Reservatório de mandioca.....	38
Figura 7 – Esteira de transporte.....	39
Figura 8 – Lavagem e descascamento.....	39
Figura 9 – Cevadeira de mandioca.....	40
Figura 10 – Prensa automática.....	40
Figura 11 – Lagoas da empresa.....	41
Figura 12 – Lagoa de biodigestão – Corte AA.....	47
Figura 13 – Lagoa de biodigestão.....	48
Figura 14 – Fluxograma do sistema.....	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparativo de efluente	42
---	----

LISTA DETABELAS

Tabela 1 – Fases da evolução da postura empresarial diante das questões ambientais.....	20
Tabela 2 – Classificação quanto à periculosidade dos resíduos.	21
Tabela 3 – Composição física e química média da manipueira.	28
Tabela 4 – Composição química média do biogás.	30
Tabela 5 – Variações do poder calorífico do biogás	31
Tabela 6 – Potencial de aquecimento global – Metano e Dióxido de Carbono.....	32
Tabela 7 – Estimativa de matéria-prima.....	43
Tabela 8 – Consumo de energia elétrica.....	44
Tabela 9 – Quantidade de efluente no processo de lavagem.....	45
Tabela 10 – Quantidade de efluente no processo de prensagem	45
Tabela 11 – Estimativa de poluição diária dos efluentes.....	46
Tabela 12 – Dados para dimensionamento da lagoa	46
Tabela 13 – Valores padrão IPCC Fator de Correção para Metano (MCF).....	49
Tabela 14 – Produção de Metano	50
Tabela 15 – Conversão de unidade do biogás	52
Tabela 16 – Potência elétrica do biogás	52
Tabela 17 – Orçamento da proposta	56
Tabela 18 – Payback Descontado	57
Tabela 19 – Valor Presente Líquido	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNTP: Condições Normais de Temperatura e Pressão
COPEL: Companhia Paranaense de Energia Elétrica
DBO: Demanda Biológica de Oxigênio
DQO: Demanda Química de Oxigênio
EPA: United States Environmental Protection Agency
FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations
IL: Índice de Lucratividade
MFC: Microbial Fuel Cell
P.C.I.: Poder Calorífico Inferior
PE: Potencial Elétrico
PEAD: Polietileno de Alta Densidade
PEBDL: Polietileno de Baixa Densidade Linear
pH: Potencial de Hidrogênio
PMBOK - Project Management Body of Knowledge
PVC: Policloreto de Vinila
SEBRAE: Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresa
TMA: Taxa Mínima de Atratividade
TR: Taxa de Retorno
TRH: Tempo de Retenção Hidráulica
UNEP: United Nations Environment Programme
VPL: Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	15
CAPÍTULO 1 – CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO	16
1.1 Delimitação do Tema.....	16
1.2 Objetivo	16
1.3 Objetivos Específicos	16
1.4 Justificativa.....	16
1.5 Metodologia.....	17
1.6 Estrutura do Trabalho	18
CAPÍTULO 2 – REVISÃO TEÓRICA.....	19
2.1 Sustentabilidade.....	19
2.2 Resíduos	20
2.3 Reaproveitamento.....	22
2.3.1 Produção Mais Limpa.....	22
2.4 Processamento da mandioca na indústria de farinha	24
2.4.1 Manipueira.....	27
2.4.2 Demanda Química de Oxigênio e Demanda Biológica de Oxigênio	29
2.5 Geração de Biogás	29
2.5.1 Biodigestor	33
2.6 Viabilidade Econômica	35
2.6.1 Projeto.....	35
2.6.2 Valor Presente Líquido (VPL).....	36
2.6.3 Payback Descontado.....	37
CAPÍTULO 3 – ESTUDO DE CASO.....	38
3.1 Análise Parcial do Processo.....	38
3.2 Identificação do Problema	42
3.3 Cálculo do Cenário Atual	43
3.3.1 Matéria-Prima.....	43
3.3.2 Energia Elétrica	43
3.3.3 Efluentes da Indústria	44
3.3.4 Poluição	45

3.4 Proposta do Sistema	46
3.4.1 Dimensionamento da Lagoa	46
3.4.2 Potencial de Geração de Biogás	49
3.4.3 Utilização do Biogás.....	51
3.4.4 Custos da Proposta	54
3.5 Análise de Viabilidade Econômica.....	57
3.5.1 Payback Descontado.....	57
3.5.2 Valor Presente Líquido.....	57
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS	57
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO.....	60
REFERÊNCIAS	61
ANEXO A – PROJETO TÉCNICO - EMPRESA ESPECIALIZADA EM BIODIGESTORES	65

INTRODUÇÃO

A mandioca é uma cultura extremamente versátil, caracterizada por ser fonte de nutrientes e conter propriedades energéticas. A planta tem as raízes tuberosas, ricas em fécula, utilizadas na alimentação humana e animal ou como matéria-prima para diversas indústrias. O processamento da industrial da mandioca gera resíduos líquidos de volume considerável, e que possuem um elevado potencial de poluição quando depositados em lagos e rios sem tratamento adequado.

Estudos preliminares demonstram que os efluentes gerados no processamento industrial da mandioca têm potencial paragerar gás metano que, posteriormente, pode ser aproveitado na geração de energia elétrica limpa, utilizando um sistema de biodigestão anaeróbia e geradores à base de gás. Esta prática possibilita à empresa uma diminuição de custos, devido à alternativa de cogeração. Além do fator econômico, o sistema de biodigestão tem a capacidade de reduzir o potencial poluidor dos efluentes gerados no processo, contribuindo com o desenvolvimento sustentável. Como o metano mostra-se com um potencial maior de contribuição com o aquecimento global do que o dióxido de carbono, 21 vezes mais em um horizonte de 100 anos, a queima do biogás (constituído de CH₄) e a liberação de CO₂ mostra-se menos contribuinte com o aquecimento global do que a liberação direta do metano na atmosfera.

O tema abordado tem grande potencial de crescimento, devido ao Brasil ser um dos principais produtores mundiais de mandioca e possuir diversas indústrias de processamento. Porém, percebe-se que na prática, poucas empresas do seguimento adotam esta prática de tratamento dos efluentes e geração de energia limpa, devido principalmente aos custos de implantação do sistema.

Utilizando métodos de análise de viabilidade econômica em gerenciamento de projetos, além de metodologias e dados técnicos da área, foi realizada uma análise e um estudo sobre a proposta do sistema de geração de biogás e energia elétrica em uma indústria de farinha de mandioca da região.

CAPÍTULO 1 – CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

1.1 Delimitação do Tema

Analisar a viabilidade econômico-financeira na implantação de um sistema de tratamento dos resíduos do processamento da mandioca e geração de biogás e energia, em uma indústria de farinha da região.

1.2 Objetivo

O objetivo geral desse trabalho é analisar e apresentar um estudo sobre a viabilidade econômico-financeira de uma proposta de reaproveitamento dos resíduos do processamento da mandioca, na geração de biogás e energia, em uma indústria de farinha de mandioca.

1.3 Objetivos Específicos

- Analisar o processo de produção e evidenciar a importância sustentável do trabalho
- Avaliar o potencial energético dos resíduos do processamento da mandioca para geração de biogás e energia elétrica
- Utilizar métodos e critérios de decisão na análise e avaliação do retorno do investimento

1.4 Justificativa

O processamento industrial da mandioca produz resíduos líquidos, desde a etapa de lavagem das raízes até a prensagem da massa, despejando aproximadamente 100 milhões de litros por ano de resíduos sem tratamento nas lagoas de decantação da empresa.

Segundo Fioretto (2001), uma indústria processando uma tonelada de raízes de mandioca por dia equivale à poluição gerada por 150-250 habitantes diariamente. Além disso, uma tonelada de raízes de mandioca contém em média 600 litros de água (60%) que, após passar pela operação de prensagem, 20 a 30% aproximadamente desta água é eliminada, mais conhecida como manipueira, destacando-se negativamente pelo seu alto potencial de degradação ambiental.

Com a realização desse estudo pretende-se analisar a viabilidade da proposta de implantação de um sistema de tratamento e utilização dos resíduos líquidos do processamento da mandioca, para a geração de biogás e energia elétrica, a fim de avaliar o impacto sobre os custos da energia fornecida à empresa pela concessionária e reduzir a poluição ambiental provocada pelos efluentes gerados.

1.5 Metodologia

O presente trabalho utilizou a metodologia que está detalhada nesta seção e representado na Figura 1.

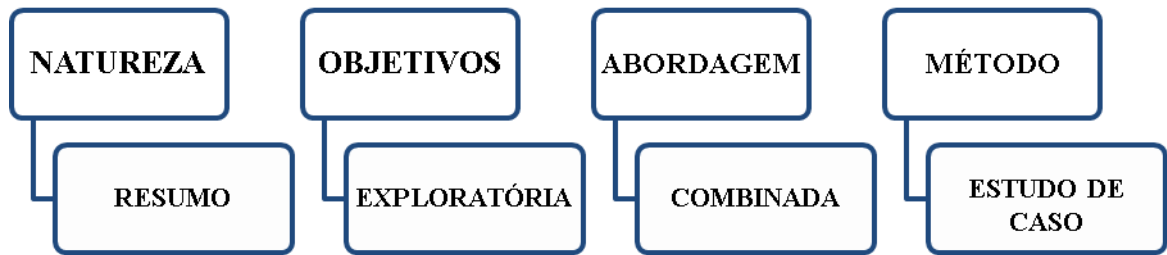
A pesquisa caracteriza-se por ser uma atividade que emprega processos científicos com a finalidade de investigar problemas práticos ou teóricos, partindo-se de uma dúvida ou problema e buscando sua solução ou resposta. (BERVIAN *et al.*, 2007).

Quanto à natureza da pesquisa, Andrade (1997) define que “pode constituir-se em um trabalho científico original ou em um resumo do assunto”. O trabalho científico original compreende a pesquisa que é elaborada pela primeira vez, demonstrando novas descobertas e assim colaborando com o avanço do conhecimento científico. Enquanto que um resumo é uma pesquisa que não necessita de originalidade, porém deve seguir a metodologia científica na sua elaboração, constituindo-se de análises e interpretações fundamentadas em trabalhos mais avançados. Desta forma a natureza da pesquisa do presente trabalho é um resumo, com objetivo de aplicar conceitos na análise detalhada de uma proposta de melhoria.

Gil (1991), define que quanto aos objetivos a pesquisa pode ser exploratória, descritiva e explicativa. A pesquisa exploratória objetiva a descoberta de intuições ou aperfeiçoamento de ideias, concedendo maior proximidade com o problema, a fim de torná-lo mais evidente ou elaborar hipóteses. Bervian *et al.* (2007), destaca ainda que a pesquisa exploratória não necessita da criação de hipóteses, mas sim da definição de objetivos e busca de informações sobre um assunto definido do estudo, além de requerer flexibilidade para proporcionar que o problema ou situação seja considerado sobre variadas perspectivas. Com as considerações relacionadas, este trabalho classifica-se como uma pesquisa exploratória, pois adequa-se as características abordadas.

A abordagem da pesquisa é combinada, tratando aspectos qualitativos e quantitativos. Em relação aos procedimentos e métodos, o presente trabalho trata-se de um estudo de caso, que “é caracterizado pelo estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira que permita o seu amplo e detalhado conhecimento”. (GIL, 1991, p. 58).

Figura 1 – Metodologia do presente trabalho.



Fonte: O autor.

1.6 Estrutura do Trabalho

O primeiro capítulo compõe a introdução e delimitação do tema, com a finalidade de posicionar o leitor sobre o que decorrerá no trabalho; além do objetivo geral e específicos, justificativa para realização do trabalho e, por fim, a metodologia utilizada.

No segundo capítulo é apresentada toda a revisão teórica utilizada para a realização deste trabalho, composta por livros, artigos e trabalhos acadêmicos, com o objetivo de apoiar o estudo de caso, detalhando conceitos de sustentabilidade, reaproveitamento de resíduos, processamento industrial da mandioca, geração de biogás e energia, e viabilidade econômica.

O terceiro capítulo trata do estudo de caso, considerando-se todos os conceitos abordados na revisão teórica do presente trabalho. Esta seção se desenvolverá da seguinte forma: será realizada a descrição atual da empresa no tratamento de resíduos e quantificação dos efluentes gerados no processamento da mandioca, utilizando dados como consumo de água e quantidade de matéria-prima processada em determinado período. Posteriormente será avaliado o potencial de geração de biogás e energia elétrica, além da utilização das ferramentas de análise de viabilidade econômico-financeira da proposta.

No quarto capítulo encontram-se os resultados e os possíveis ganhos com a execução da proposta. Por fim, o quinto e último capítulo apresenta a conclusão deste trabalho.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO TEÓRICA

O objetivo da revisão teórica é demonstrar as informações bibliográficas e os conhecimentos adquiridos no curso de Engenharia de Produção relacionados ao assunto abordado, a fim de sustentar o presente trabalho, que tem como foco elaborar um estudo de viabilidade econômico-financeira na implantação de um sistema de geração de biogás e energia elétrica, a partir de resíduos do processamento da mandioca em uma indústria de farinha.

2.1 Sustentabilidade

Cada vez mais as empresas necessitam desenvolver e praticar ações sustentáveis diante da necessidade de preservar os recursos naturais a fim de proporcionar melhores condições de vida à sociedade em geral. O desenvolvimento sustentável busca prover o equilíbrio entre o homem e o meio ambiente, com o princípio de atender às necessidades do presente de forma consciente, a fim de não comprometer as gerações futuras em relação à possibilidade de atender suas necessidades. (PEREIRA *et al.* 2011).

Segundo Ashley *et al.* (2005), é visível o aumento da preocupação das pessoas em relação às questões de preservação dos recursos naturais, diante do crescimento das ações agressivas ao meio ambiente que comprometem a sustentabilidade no mundo. As questões ambientais fizeram as empresas mudar suas perspectivas, principalmente com os avanços do conhecimento científico, da tecnologia e da legislação ambiental, além da pressão por parte da sociedade. Deste modo, as empresas passaram por diversas evoluções em relação à abordagem das questões ambientais (Tabela 1).

Tabela 1 – Fases da evolução da postura empresarial diante das questões ambientais.

FASES	CARACTERÍSTICAS	POSTURAS BÁSICAS
1ª fase: antes dos anos 1970	Alienação	Aceitação da ideia de que os prejuízos ambientais devem ser assumidos pela sociedade, em favor do desenvolvimento econômico.
2ª fase: décadas de 1970 e 1980	Gestão ambiental passiva	Preocupação das empresas em atender às exigências dos órgãos ambientais. Criação de departamentos ambientais vinculados à área de produção das empresas.
3ª fase: a partir dos anos 1990	Gestão ambiental proativa	Integração das questões ambientais à estratégia do negócio; gestão ambiental vista como um diferencial competitivo e um fator de melhoria organizacional.

Fonte: Ashley *et al.* (2005, p. 181).

Barbieri (2007) destaca que a solução ou minimização dos problemas ambientais exige das empresas tomadas de decisões, adoção de métodos administrativos e tecnológicos que considerem as questões ambientais, contribuindo o desenvolvimento sustentável, porém, ainda é uma atitude que dificilmente surge de forma espontânea.

Muitas questões estão envolvidas no processo de adoção de práticas ambientais pelas empresas, desde a pressão exercida pela sociedade, governos e legislações até os investidores, pois como exemplo os dados do índice *Dow Jones Sustainability Indexes*, que avalia a situação das empresas quanto às questões ambientais, as empresas listadas apresentam maior rentabilidade no mercado em relação às não incluídas no índice.

Pereira *et al.* (2011) reforça ainda que cada vez mais os *stakeholders* necessitam que as empresas responsabilizem-se pelos impactos gerados por suas atividades no meio ambiente e na sociedade como um todo, e que desenvolvam estratégias de negócios que diminuam estes impactos, atendendo os interesses de ambas partes.

2.2 Resíduos

Segundo Barbieri (2007), na natureza os resíduos gerados por um organismo são sobras que decompõe-se e retornam ao meio ambiente na forma de elementos químicos que

serão utilizados por outros seres vivos e assim sucessivamente, gerando um ciclo em que nada se perde. No entanto as atividades humanas provocaram uma expansão gradativa de resíduos gerados ao longo dos anos, aumentando os níveis de poluição e impossibilitando sua absorção por meio do ciclo natural.

Os resíduos podem ser definidos como:

[...] partes que sobram de processos derivados das atividades humanas e animal e de processos produtivos como a matéria orgânica, o lixo doméstico, os efluentes industriais e os gases liberados em processos industriais ou por motores. (SEBRAE, 2008, p. 9).

Valle (2012) destaca que a princípio os resíduos não são nocivos, pois muitos ainda são utilizados como matéria-prima em indústrias ou subprodutos. Diversos processos industriais geram simultaneamente dois ou mais produtos, que seguem regras de estabelecimento de preço e demanda de acordo com o mercado, ou seja, possuem valores diferentes. Desta forma o produtor opta pela comercialização do produto de maior valor, descartando o outro como resíduo de produção.

Parte dos resíduos descartados encontram-se na categoria de resíduos perigosos, que são todos aqueles que apresentam características nocivas à saúde e ao meio ambiente quando manuseados ou depositados de maneira inadequada, contribuindo desde o aumento da poluição até a incidência de doenças e aumento da mortalidade. Quanto à periculosidade, os resíduos classificam-se em sete características (Tabela 2), considerando suas propriedades físicas, químicas e infectocontagiosas. Esta classificação pode variar de acordo com a legislação ambiental presente em cada país.

Tabela 2 – Classificação quanto à periculosidade dos resíduos.

TIPO	CARACTERÍSTICAS
1- Corrosivos	Atacam materiais e organismos vivos devido a suas

	características ácidas ou básicas intensas.
2 - Reativos	Reagem com outras substâncias, de forma violenta e imediata, podendo liberar calor e energia.
3 - Explosivos	Em razão de sua reatividade muito alta, podem liberar grande quantidade de energia.
4 - Tóxicos	Agem sobre os organismos vivos, provocando danos a suas estruturas biomoleculares.
5 - Inflamáveis	Podem entrar em combustão facilmente ou até de forma espontânea.
6 - Patogênicos	Possuem características biológicas infecciosas, contendo microrganismos ou suas toxinas, capazes de produzir doenças.
7 - Radioativos	Emitem radiações ionizantes e podem ser a causa de acidentes radiológicos e nucleares.

Fonte: adaptado de Valle (2012, p. 54).

Seguindo a classificação descrita, Valle (2012) destaca que qualquer resíduo que possuir no mínimo uma dessas características é considerado resíduo perigoso, devendo assim ser processado ou armazenado de forma correta para evitar maiores riscos.

O aumento significativo da geração de resíduos, em todos seus estados (sólidos, líquidos e gasosos), deve-se ao rápido crescimento da população e das atividades econômicas no mundo. Os efeitos indesejáveis ao meio ambiente e nocivos à saúde provocados com esse aumento, proporcionaram também a elevação dos custos de manutenção dos resíduos para a sociedade em geral. A elaboração de processos mais econômicos capazes de diminuir a quantidade de resíduos gerados e a criação de alternativas de reutilização dos mesmos, são a base para se produzir mais com menos de forma eficiente e racional, seguindo o conceito de sustentabilidade e diminuindo assim os impactos ambientais e sociais gerados. (SEBRAE, 2008).

2.3 Reaproveitamento

2.3.1 Produção Mais Limpa

Segundo a “United Nations Environment Programme” (UNEP) (1991), a produção mais limpa, ou *cleaner production*, é uma estratégia ambiental preventiva que é aplicada a processos, produtos e serviços buscando aumentar a eficiência e, paralelamente, diminuir os

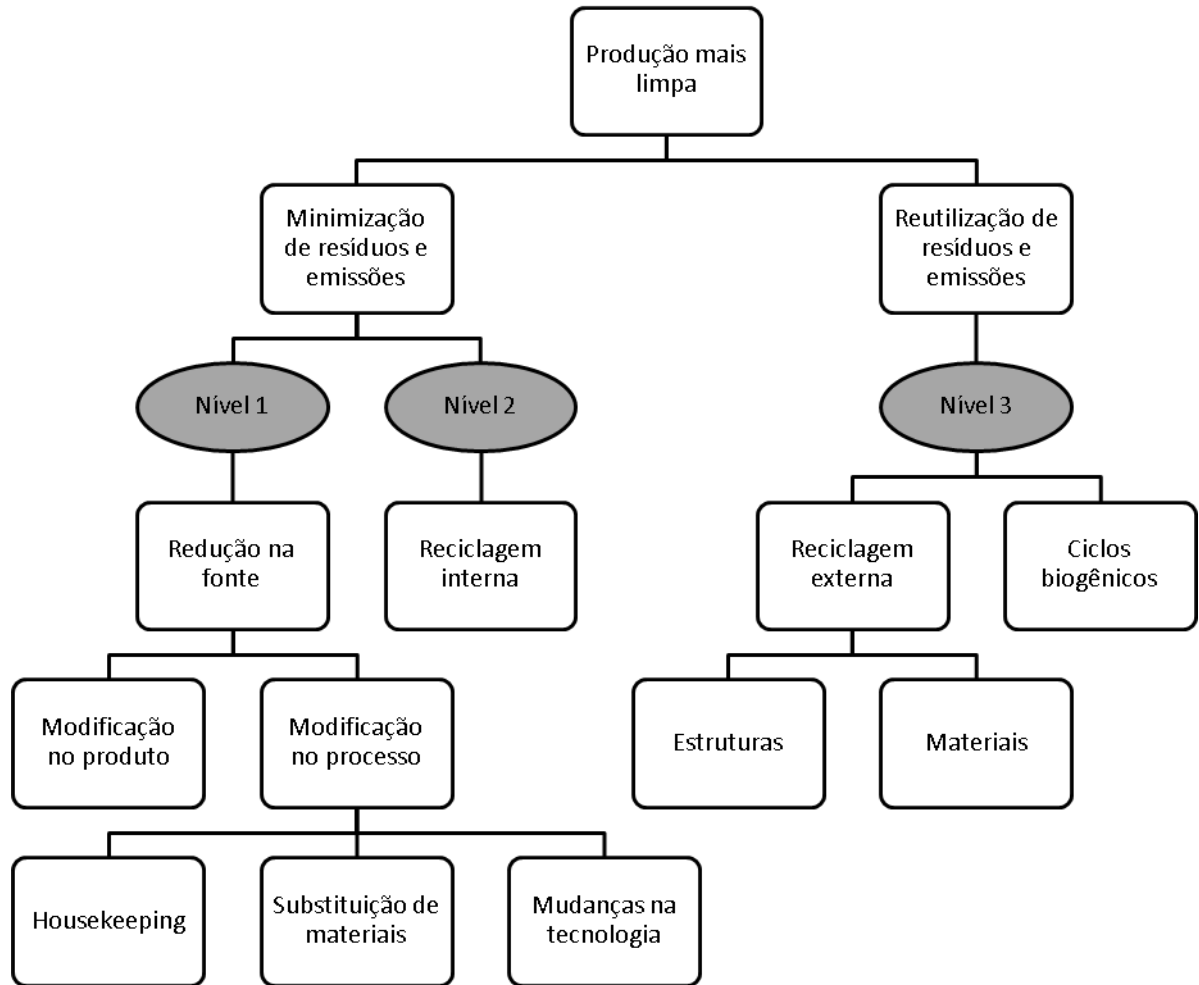
riscos para os seres humanos e ao meio-ambiente. Tal estratégia não é somente ambiental, pois se relaciona diretamente com fatores de ordem econômica. Os desperdícios são considerados com valor econômico negativo, criando um cenário onde cada ação adotada para diminuí-los impacta no aumento da produtividade da empresa.

Esta prática contribui em três aspectos:

- Uso eficiente dos recursos naturais, incluindo materiais, água e energia;
- Diminuição de resíduos e emissões, em relação aos que são dispensados na água, ar ou terra;
- Redução dos riscos para o ambiente e seres humanos em relação ao descarte de produtos químicos ou produtos perigosos pelas indústrias.

Barbieri (2007) demonstra ilustrativamente os diferentes níveis que a produção limpa pode atuar, estando representados na Figura 2. O nível 1 corresponde aos setores onde devem ser feitas mudanças nos produtos e processos a fim de diminuir a emissão de resíduos na fonte. O nível 2 demonstra a opção da própria empresa em realizar a reciclagem dos resíduos gerados nas suas atividades. E por fim, no terceiro nível a empresa pode optar em repassar os resíduos para um terceiro (reciclagem externa).

Figura2 – Produção mais limpa – Níveis de intervenção.



Fonte: adaptado de CNTL/SENAI-RS(1999, p. 62).

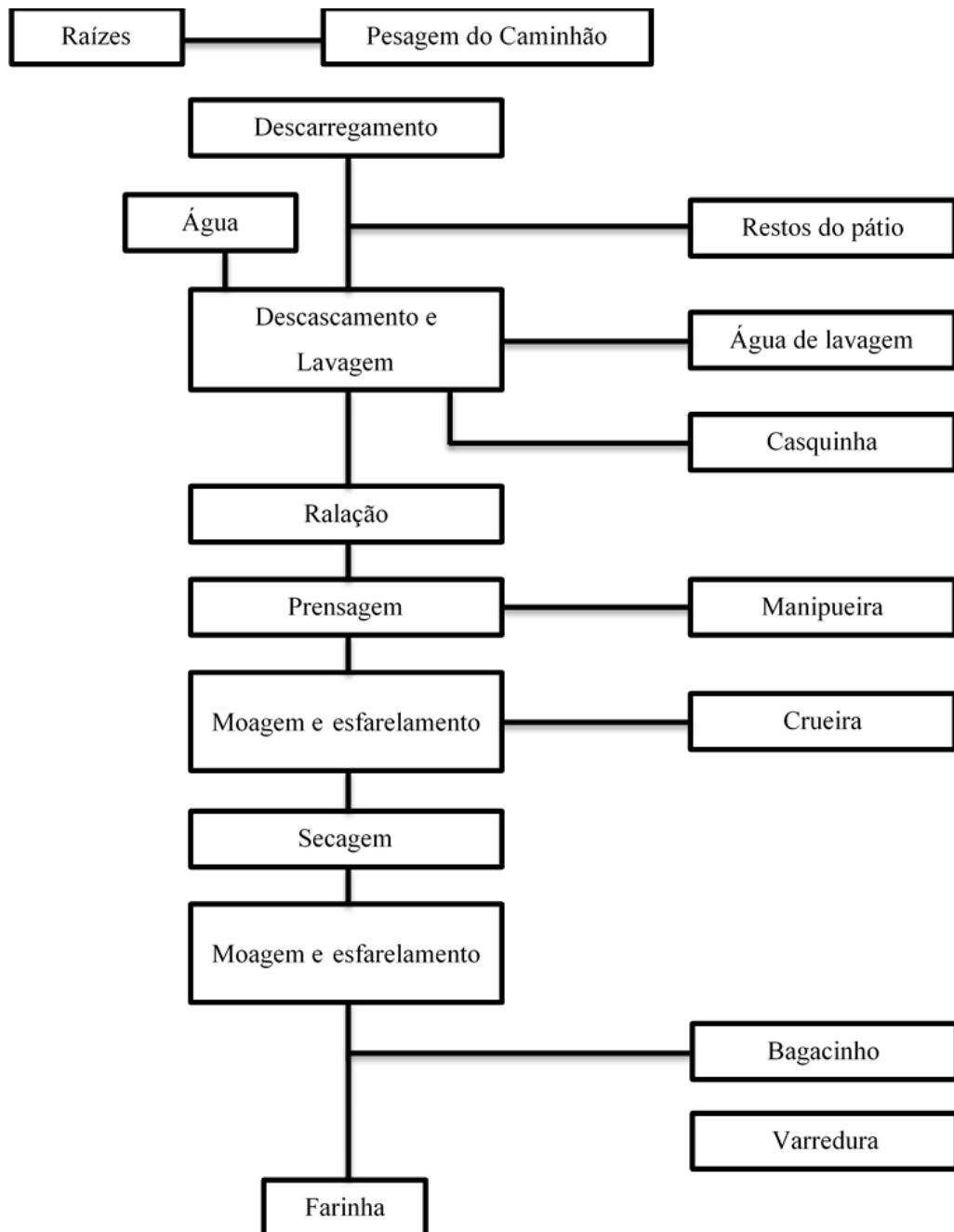
2.4 Processamento da mandioca na indústria de farinha

De acordo com a “Food and Agriculture Organization of the United Nations” (FAO) (1977), a mandioca (*Manihot Esculenta Crantz*) é uma planta perene que cresce sob cultivo em cerca de 2 a 4 metros de altura. Suas raízes ou tubérculos irradiam o caule logo abaixo da superfície da terra, geralmente podendo atingir um tamanho entre 30 e 120 centímetros de comprimento, diâmetro entre 4 e 15 centímetros e um peso de 1 à 8 quilos ou mais. Sua raiz é composta tipicamente de 70% de umidade, 24% de amido, 2% de fibra e 1% de proteína e 3% de outros elementos.

A raiz de mandioca é volumosa e altamente perecível devido ao alto teor de água presente, portanto, seu processamento deve ser realizado em no máximo 48 horas após a

colheita, diminuindo as perdas pós colheita causadas pela ruptura das raízes, aumentando o valor e a qualidade do produto. As etapas do processamento da mandioca na fabricação de farinha estão evidenciadas na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma do processo geral.



Fonte: Adaptado de Del Bianchi e Cereda (1998, p.37).

As etapas do processamento estão explicadas de uma forma mais detalhada a seguir:

- **Pesagem:** o caminhão chega à fábrica carregado com as raízes de mandioca e passa por uma pesagem. Logo após ser descarregado ele é pesado novamente, sendo determinada a carga de raízes pelo desconto da tara do caminhão. (DEL BIANCHI; CEREDA, 1998).
- **Descascamento e Lavagem:** para a FAO (1977), a utilização do tambor rotativo com eixo central provido de pás se mostra bastante eficiente. Geralmente o tambor possui de 3 a 4 metros de comprimento e 1 metro de diâmetro. As raízes caem no tambor e a lavagem é feita com água pulverizada, ao mesmo tempo que as pás rotativas friccionam as raízes contra as laterais do tambor, compostas por lâminas que retiram as cascas das raízes. A água suja e as cascas que sobram do processo são drenadas e descartadas.
- **Ralação:** as raízes limpas são pressionadas contra uma superfície com saliências afiadas que as fragmentam, transformando-as numa massa, porém nem todos os grânulos de amido são triturados. A massa então passa por uma segunda etapa de raspagem com lâminas menos espaçadas, onde é esmagada e totalmente triturada. (FAO, 1977).
- **Prensagem:** esta etapa deve ocorrer logo após a ralação a fim de evitar a massa comece a fermentar ou que a farinha produzida fique escura. Pode ser realizada em prensas manuais ou prensas hidráulicas, que tem como objetivo retirar a maior parte da umidade da massa, evitando assim possíveis fermentações e proporcionar um melhor esfarelamento da massa prensada e secagem da farinha nos fornos. (CHISTÉ; COHEN, 2006).
- **Esfarelamento:** após a massa ser prensada, ela é transportada até uma peneira que a esfarela, deixando-a com um tamanho fino ideal para a produção de farinha, e posteriormente até os fornos circulares.
- **Secagem:** a massa esfarelada é espalhada pelos fornos circulares para retirar outra parcela de umidade e obter-se a farinha que, logo após, é encaminhada para peneiras de classificação granular. (DEL BIANCHI; CEREDA, 1998).

A industrialização da mandioca, para fins de produção de farinha ou de fécula (amido), gera diversos resíduos sólidos, como cascas, entrecasas, descartes, crueira; além de produzir também resíduos líquidos, como água da lavagem das raízes e água da prensa

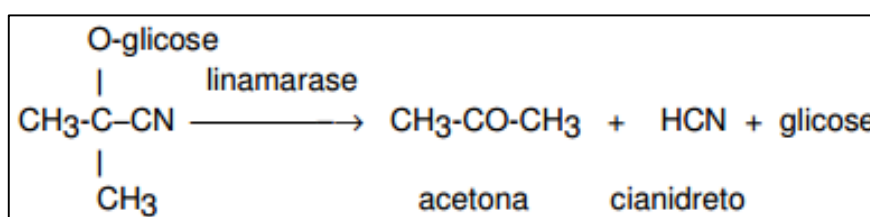
(manipueira) que, quando não tratados corretamente, podem gerar transtornos ao produtor devido ao risco de contaminação ambiental. (FERREIRA *et al.*, 2001).

2.4.1 Manipueira

As indústrias que processam a mandioca também geram resíduos poluentes e, muitas vezes, por falta de fiscalização rígida, despejam-nos em terrenos e rios próximos sem tratamento adequado. Dentre estes resíduos, destaca-se o líquido chamado manipueira, que é gerado após a prensagem da massa de mandioca. (BARANA; CEREDA, 2000).

Ferreira *et al.* (2001) define a manipueira como “água de constituição da raiz ou do suco celular, misturada às águas de lavagem das raízes, que é gerada no momento da prensagem da massa ralada para a confecção da farinha de mesa”. A raiz da mandioca inicia um processo de hidrólise durante algumas horas após a colheita ou quando sofre qualquer fermento nos seus tecidos celulares, onde há presença de linamarina, glicosídeo que ao entrar em contato com enzimas decompõe-se formando, entre outras substâncias, o ácido cianídrico (HCN), reação química representada na Figura 4. (CEREDA; PANTAROTO, 2003; FIORETTO, 1994).

Figura 4 – Processo de hidrólise enzimática da mandioca.



Fonte: Salatino (1997).

Fioretto (1994), destaca que a manipueira tem alto poder de poluição, devido a elevada carga de demanda biológica de oxigênio (DBO), além da presença do ácido cianídrico. Uma tonelada de raízes de mandioca processadas por dia pode gerar aproximadamente 300 litros de manipueira, o que é equivalente à poluição produzida por uma população de 150-250 habitantes.

O Artigo 18 do Decreto nº 8.468 de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente, onde estão destacadas as condições para

que efluentes de qualquer fonte poluidora possam ou não ser lançados diretamente nas águas. Relacionando apenas os dados que interessam ao trabalho, este artigo prescreve:

- O pH entre 5,0 e 9,0;
- Temperatura inferior a 40°C (quarenta graus celsius);
- Concentrações de DBO (demanda biológica de oxigênio) de 5 dias, a 20°C no máximo de 60mg/l;
- Concentração máxima de 0,2 mg/l de cianeto.

Por meio da avaliação de 20 amostras, Cabello e Pinto (2011) relataram a composição química média da manipueira (Tabela 3), demonstrando que dados superam os estabelecidos pela legislação vigente.

Tabela3 – Composição física e química média da manipueira.

Variáveis	Valores
pH	6,63
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	12.215 mg/L
Demanda química de oxigênio (DQO)	14.300 mg/L
Carbono orgânico total (COT)	3.352 mg/L
Nitrogênio total (N)	360 mg/L
Relação Carbono:Nitrogênio (C:N)	9,3:1
Fósforo (P)	42 mg/L
Relação Carbono:Fósforo (C:P)	79,8:1
Potássio	1.268 mg/L
Cianeto total	12,6 mg/L
Sólidos totais (ST)	6,98 mg/L
Sólidos voláteis (SV)	3,86 mg/L
Sólidos Fixos (SF)	3,12 mg/L
Temperatura da amostra	26,7 °C
Temperatura ambiente	29,8 °C

Fonte: adaptado de Cabello e Pinto (2011).

2.4.2 Demanda Química de Oxigênio e Demanda Biológica de Oxigênio

Segundo “Companhia Ambiental do Estado de São Paulo” (CETESB) (2009), a demanda química de oxigênio (DQO) “é a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica de uma amostra por meio de um agente químico, como o dicromato de potássio.” Tal parâmetro é indispensável para a realização de estudos e análises de esgotos e efluentes industriais, devendo ser utilizada conjuntamente com a DBO, a fim de estimar a biodegradabilidade dos despejos. Comparando-se os índices, quanto mais o valor da DBO aproxima-se da DQO, mais biodegradável é a matéria em análise. Com o grande desenvolvimento de sistemas de tratamento anaeróbios e de esgotos a partir da década de 70, observou-se o uso primordial da DQO para o controle das cargas aplicadas ao sistema e da eficiência obtida pelo mesmo.

A demanda biológica de oxigênio (DBO) de uma água “é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável”. Assim a DBO considera a quantidade de oxigênio consumido durante determinado tempo e temperatura de incubação, geralmente considerando tempo de 5 dias e 20°C de temperatura, sendo referido como DBO_{5,20}. No caso da DBO os microrganismos desempenham função essencial no tratamento de esgotos e efluentes, porém a análise da DBO não demonstra a quantidade de matéria não biodegradável e não considera materiais tóxicos ou inibidores da atividade microbiana.

Elevados índices de DBO sugerem grande quantidade de matéria de origem orgânica presentes no efluente, o que pode provocar um esgotamento do oxigênio na água e, conseqüentemente, podendo causar a morte de peixes e de outras formas de vida aquáticas. Além dos prejuízos descritos, elevados índices de DBO provocam odores desagradáveis na água. A unidade mais comumente utilizada para medir a quantidade de DQO e DBO é expressa em miligramas por litro (mg/l). (CETESB, 2009).

2.5 Geração de Biogás

Ferraz e Marriel (1980) definem que o biogás “é uma mistura gasosa com predominância do gás metano resultante da fermentação de resíduos orgânicos na ausência de oxigênio”. Diversos materiais podem ser utilizados na geração de biogás, como: esterco (suínos, aves, gados etc.), resíduos orgânicos (residencial, frigoríficos, usinas de açúcar e álcool entre outros) e efluentes (esgotos de fábricas, residências, curtumes etc.).

Segundo Sganzerla (1983), o biogás possui uma composição química variável, pois depende do tipo de biomassa que está sendo utilizada na fermentação. No entanto, sua composição básica é mostrada na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição química média do biogás.

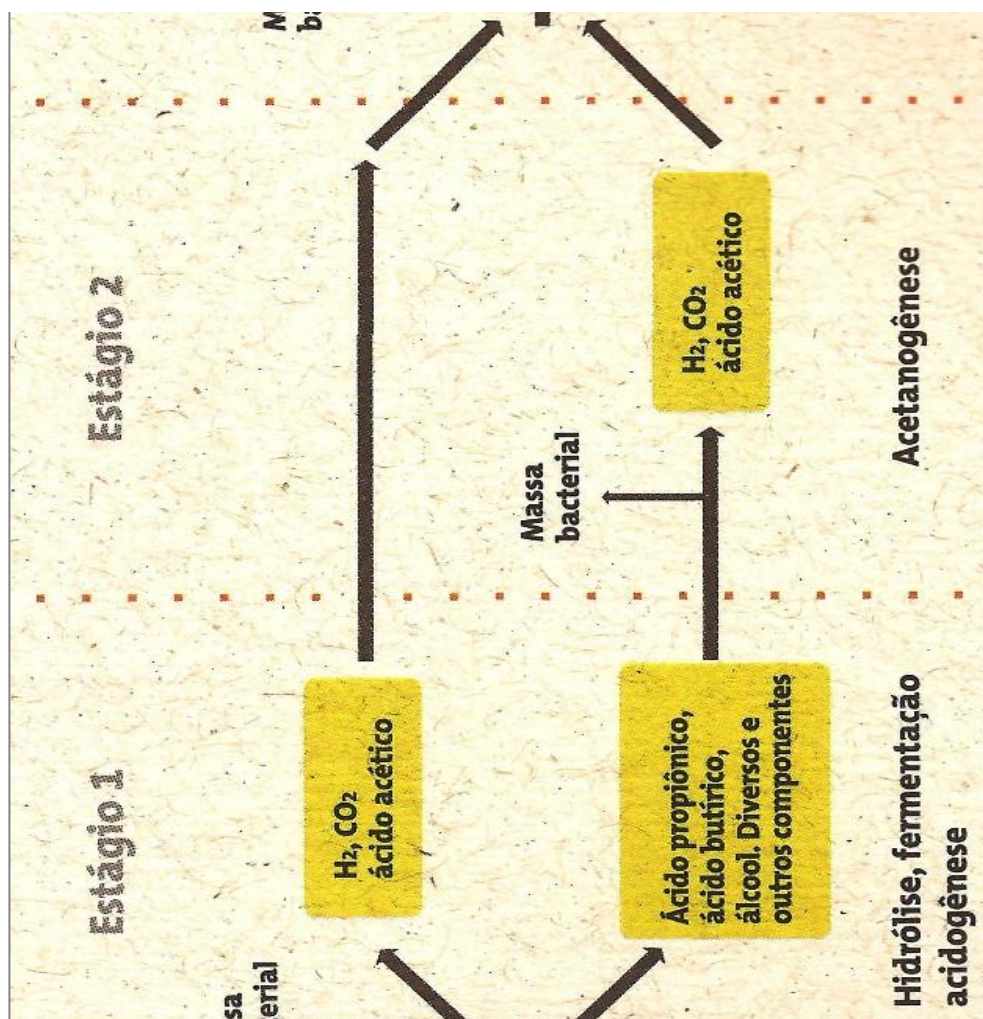
Quantidade (%)	Substância
60 a 70	Metano (CH ₄)
30 a 40	Dióxido de Carbono (CO ₂)
Traços	Nitrogênio (N)
Traços	Hidrogênio (H)
Traços	Gás Sulfídrico (H ₂ S)

Fonte: adaptado de Sganzerla (1983, p. 10).

Segundo Bley Júnior *et al.* (2009), a biodegradação anaeróbia ocorre em três fases que estão detalhadamente explicadas abaixo e ilustradas na Figura 5.

- Hidrólise: as bactérias liberam enzimas provocando a hidrólise das partículas e degradação dos sólidos em suspensão, sintetizando as moléculas.
- Acetogênese: durante a transformação das moléculas de proteínas, carboidratos e gorduras presentes na biomassa, as bactérias produzem ácidos orgânicos, como ácido butílico e ácido láctico, além de etanol, dióxido de carbono, hidrogênio, amônia, entre outras substâncias.
- Metanogênese: o hidrogênio e dióxido de carbono produzidos durante a fase anterior são consumidos por bactérias metanogênicas, que transformam-nos em metano (CH₄).

Figura 5 – Fases da produção de biogás.



Fonte: Bley Júnior *et al.* (2009, p. 42).

IANNICELLI (2008 apud AVELLAR, 2001), apresenta as variações do poder calorífico inferior (P.C.I.) do biogás em relação ao percentual de metano e carbono existente (Tabela 5).

Tabela 5 – Variações do poder calorífico do biogás

Composição Química Biogás	Peso Específico (kg/Nm ³)	P.C.I. (kcal/kg)
10% CH ₄ , 90% CO ₂	1,8393	465,43
40% CH ₄ , 60% CO ₂	1,4643	2.338,52
60% CH ₄ , 40% CO ₂	1,2143	4.229,98
65% CH ₄ , 35% CO ₂	1,1518	4.831,14
75% CH ₄ , 25% CO ₂	1,0268	6.253,01
95% CH ₄ , 5% CO ₂	0,7768	10.469,60
99% CH ₄ , 0,1% CO ₂	0,7268	11.661,02

Fonte: Iannicelli (2008 apud Avellar, 2001).

Coelho *et al.* (2006), retrata que a energia química das moléculas do biogás pode ser convertida em outras formas de energia. Utilizando um gerador a biogás, a energia química é transformada em energia mecânica na combustão e posteriormente em energia elétrica. Além disso, por conter traços de gás sulfídrico (H_2S) e água (H_2O) em sua composição, o biogás deve passar por uma etapa de purificação antes de ser queimado no gerador, a fim de evitar danos ao mesmo, como corrosão e redução da vida útil.

O sistema de purificação consiste na utilização de um compartimento com dois tipos de peneiras moleculares, uma que retira a umidade e outra para a retirada do ácido sulfídrico (H_2S), dispondo de sílica gel azul como indicador, e outra com cavaco de ferro, visando assegurar a retirada de todo H_2S que não tenha reagido com a sílica gel.

Segundo a “Companhia Paranaense de Energia Elétrica” (COPEL) (2014), a utilização do ciclo combinado proporciona uma eficiência energética de até 58% na conversão do biogás em energia elétrica. De acordo com a “United States Environmental Protection Agency” (EPA) (2010), o metano (CH_4) é um hidrocarboneto presente em maior parte na composição do gás natural. Globalmente, mais de 60% do total das emissões provém das atividades humanas (indústria, agricultura, pecuária, aterros sanitários). Sua vida na atmosfera é mais curta do que do dióxido de carbono (CO_2), porém seu potencial de retenção da radiação solar é maior. Desta forma, comparando o impacto sobre o aquecimento global durante um período de 100 anos, o metano é 21 vezes mais potente que o dióxido de carbono (Tabela 6).

Tabela 6 – Potencial de aquecimento global – Metano e Dióxido de Carbono

Nome	Fórmula Química	Vida (Anos)	Eficiência Radiativa (Wm^2 ppb)	Potencial Aquecimento Global		
				20 anos	100 anos	500 anos
Dióxido de Carbono	CO_2	Variável	$1,4 \times 10^{-5}$	1	1	1
Metano	CH_4	12	$3,7 \times 10^{-4}$	72	21	7,6

Fonte: adaptado de Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2007).

2.5.1 Biodigestor

Biodigestores são estruturas elaboradas e construídas a fim de proporcionar um ambiente mais favorável possível para a degradação da matéria orgânica, sem que haja contato com o ar. Esta condição facilita a proliferação de bactérias altamente destrutivas em relação a matéria orgânica, possibilitando sua degradação de forma acelerada. (BLEY JÚNIOR, *et al.*, 2009).

Sganzerla (1983), relata que existem dois sistemas mais usuais de biodigestores, o contínuo, que é adequado para grande parte das biomassas existentes, podendo receber cargas periódicas e com capacidade de descarga dos compostos fermentados durante o funcionamento. O biodigestor intermitente é apropriado quando a matéria orgânica decompõe-se mais lentamente, necessitando assim que seja utilizada a carga total, armazenando-a até se completar toda a decomposição, podendo assim ser esvaziado e utilizado novamente.

Barana e Cereda (2000), por meio de um experimento laboratorial, utilizando dois biodigestores, um de fase acidogênica e outro metanogênica, e a manipueira como substrato, obtiveram um rendimento máximo de 65% de metano em 2,05 litros de gás por grama de DQOd (demanda química de oxigênio dissolvido) no biogás gerado, com a entrada de 12,54 gramas de DQO/L.d (demanda química de oxigênio por litro dissolvido).

Dartora, Perdomo e Tumelero (1998), relatam que a principal função das lagoas de biodigestão é diminuir a carga orgânica dos resíduos. É interessante que o comprimento e a largura das lagoas obedeçam a ordem de 2:1 até 3:1. O sistema de biodigestão pode ser dimensionado utilizando equações específicas para os cálculos, que estão evidenciadas a seguir:

- Cálculo da carga aplicada: é necessário para avaliar a quantidade de DQO em quilos que é aplicado na lagoa diariamente, dado pela equação 1.

$$L = S_0 * Q \quad (1)$$

Onde:

L = carga aplicada na lagoa (kgDQO/dia)

S₀ = DQO do afluente (mg/L ou kg/m³)

Q = Vazão do afluente(m³/dia)

- Estimativa do volume requerido para lagoa: dados significativo para avaliar a capacidade do sistema de biodigestão de tratar os efluentes gerados, demonstrado na equação 2.

$$V = \frac{L}{Cv} \quad (2)$$

Onde:

V = volume requerido para lagoa (m³)

L = carga aplicada na lagoa (kgDQO / dia)

CV = Carga volumétrica aceitável (kg DQO / m³ / dia)

- Avaliação da área média requerida para lagoa: essencial para o dimensionamento das geomembranas de impermeabilização utilizadas no biodigestor, dado pela equação 3.

$$A = \frac{V}{P} \quad (3)$$

Onde:

A = área média requerida para lagoa (m²)

V = volume requerido para lagoa (m³)

P = profundidade útil (m)

- Cálculo do tempo de retenção hidráulica: demonstra aproximadamente quantos dias o sistema de biodigestão mantém o efluente em processo, desde a entrada do mesmo no sistema até sua saída, demonstrado na equação 4.

$$T_R = \frac{V}{Q} \quad (4)$$

Onde:

TR = tempo de retenção hidráulica (dias)

V = volume requerido para lagoa (m³)

Q = Vazão do efluente (m^3/dia)

- Estimativa da DQO do efluente que sai do sistema: item fundamental na comparação entre a quantidade de DQO existente no efluente antes e após o tratamento no sistema de biodigestão. Este cálculo é dado pela equação 5.

$$S = \frac{S_0}{1+(k \cdot T_R)} \quad (5)$$

Onde:

S = DQO do efluente que sai do sistema (mg/l)

T_R = tempo de retenção hidráulico (dias)

S_0 = DQO do efluente que entra no sistema (mg/l)

K = Constante de degradação (0,12)

- Estimativa da eficiência de remoção da DQO: demonstra quanto eficaz é o sistema de biodigestão no tratamento do efluente gerado, em percentual, dado pela equação 6.

$$E = \frac{(S - S_0) \cdot 100}{S} \quad (6)$$

Onde:

E = Estimativa da eficiência de remoção da DQO (%)

S = DQO do efluente que sai do sistema (mg/l)

S_0 = DQO do efluente que entra no sistema (mg/l)

2.6 Viabilidade Econômica

2.6.1 Projeto

Antes de definir as técnicas de análise da viabilidade econômica do projeto, é necessário definir o que é um projeto. Segundo o Guia PMBOK (2008) “um projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo”.

Projetos podem ser aplicados em diversos níveis organizacionais e possuem características exclusivas a cada execução, mesmo que utilizando procedimentos similares e repetitivos.

Bordeaux-Rêgo *et al.* (2010) destaca que os fundos limitados influenciam no processo de decisão sobre qual ou quais projetos deverão realizados, fazendo com que outros sejam rejeitados. Ao optar por projetos que tenham alta rentabilidade, conseqüentemente assumem-se maiores riscos, desta forma a análise de investimentos necessita de um alto índice de raciocínio econômico além de cenários das condições futuras.

Na elaboração de projetos, existem métodos e ferramentas importantes no processo de mensuração e análise da rentabilidade e viabilidade econômica, respectivamente, que utilizam informações conhecidas, a fim de se obter uma estimativa do capital necessário para a realização do projeto. (Guia PMBOK, 2008; SAMANEZ, 2009).

Segundo Bordeaux-Rêgo *et al.* (2010), existem diversos modelos capazes de auxiliar no processo de decisão em projetos, alguns mostrando-se muito eficazes na simulação de investimentos.

2.6.2 Valor Presente Líquido (VPL)

O valor presente líquido (VPL) “tem como finalidade calcular, em termos de valor presente, o impacto dos eventos futuros associados a uma alternativa de investimento” (SAMANEZ, 2009). Desta forma, esta ferramenta possibilita quantificar os fluxos de caixa obtidos com o projeto ao longo da sua vida útil. A equação 7 define o cálculo do VPL.

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} + \frac{VR}{(1+r)^n} \quad (7)$$

Onde:

I = investimento inicial

FC_t = fluxo de capital líquido na data “t”

r = custo de capital definido pela empresa

VR = valor residual do projeto ao final do período analisado

Samanez (2009), destaca que a decisão de realizar ou não o investimento resume-se simplifcadamente da seguinte forma:

- VPL > 0, o projeto é aceito;

- $VPL = 0$, é indiferente aceitar ou não;
- $VPL < 0$, o projeto é rejeitado.

2.6.3 Payback Descontado

“O payback descontado mede o tempo necessário para que o somatório das parcelas descontadas, seja, no mínimo, igual ao investimento inicial”. (CASAROTTO FILHO; KOPPITKE, 2010). O cálculo do payback auxilia o investidor a encontrar o tempo máximo que o projeto vai levar para retornar o valor investido, e assim analisar a viabilidade do projeto. O cálculo do payback descontado considera o valor do dinheiro no tempo, dando maior credibilidade aos resultados (BORDEAUX-RÊGO *et al.*, 2010). Determinando o valor de t na equação 8, podemos encontrar o valor do payback descontado.

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} \quad (8)$$

CAPÍTULO 3 – ESTUDO DE CASO

Este estudo de caso foi desenvolvido em uma empresa da região, que atua no mercado de produção de farinhas à base de mandioca, consumindo aproximadamente 25.940.788,00 kg de raízes por ano. O presente capítulo apresentará o processo produtivo da empresa até a etapa de eliminação dos resíduos líquidos, as quantidades geradas do mesmo, além da proposta de implantação de um sistema de geração de biogás e energia a partir do reaproveitamento sustentável destes resíduos.

3.1 Análise Parcial do Processo

A empresa conta com um processo totalmente automatizado, trabalhando em turnos alternados de terça à sábado. As etapas descritas à seguir não correspondem todo o processo produtivo, mas apenas a parte que interessa ao estudo, ou seja, desde a geração até o descarte dos resíduos líquidos do processo.

- Lavagem e Descascamento: a matéria-prima (mandioca) chega à empresa e passa por pesagem e análises, sendo posteriormente depositada nos reservatórios para aguardar seu processamento (Figura 6).

Figura 6 – Reservatório de mandioca



Fonte: A empresa.

Após isso a matéria-prima é enviada do reservatório até a máquina de lavagem e descascamento por esteiras de transporte (Figura 7).

Figura 7 – Esteira de transporte



Fonte: A empresa.

Finalmente a matéria-prima chega ao processo de lavagem e descascamento, que compreende retirar todos resíduos e cascas da mandioca (Figura 8).

Figura 8 – Lavagem e descascamento



Fonte: A empresa.

Os resíduos descartados neste processo são canalizados até uma centrífuga, que separa a água das cascas de mandioca. Posteriormente esta água é descartada nas lagoas e as cascas são secas ao sol, sendo comercializadas para fins de alimentação animal. As raízes descascadas e limpas são enviadas para a trituração.

- Trituração: Neste processo as raízes de mandioca descascadas e limpas são totalmente desintegradas pela cevadeira (Figura 9), produzindo uma massa fina e uniforme que, posteriormente, é bombeada até um silo. Este silo tem a função de abastecer a prensa em períodos intermitentes.

Figura 9 – Cevadeira de mandioca



Fonte: A empresa.

- Prensagem: Este processo consiste em retirar parte da umidade da massa (cerca de 30%) para facilitar a secagem nos fornos. A massa armazenada no silo é bombeada até a prensa (totalmente automatizada e controlada por CLP), onde fica aproximadamente 25 minutos sobre pressão (Figura 10).

Figura 10 – Prensa automática



Fonte: A empresa.

Após isso a prensa recua e abre todas as placas, depositando a massa na caixa coletora. O líquido extraído da massa de mandioca neste processo, conhecido como manipueira, é bombeado por dutos e descartado nas lagoas sem tratamento (Figura 11).

Figura11 – Lagoas da empresa

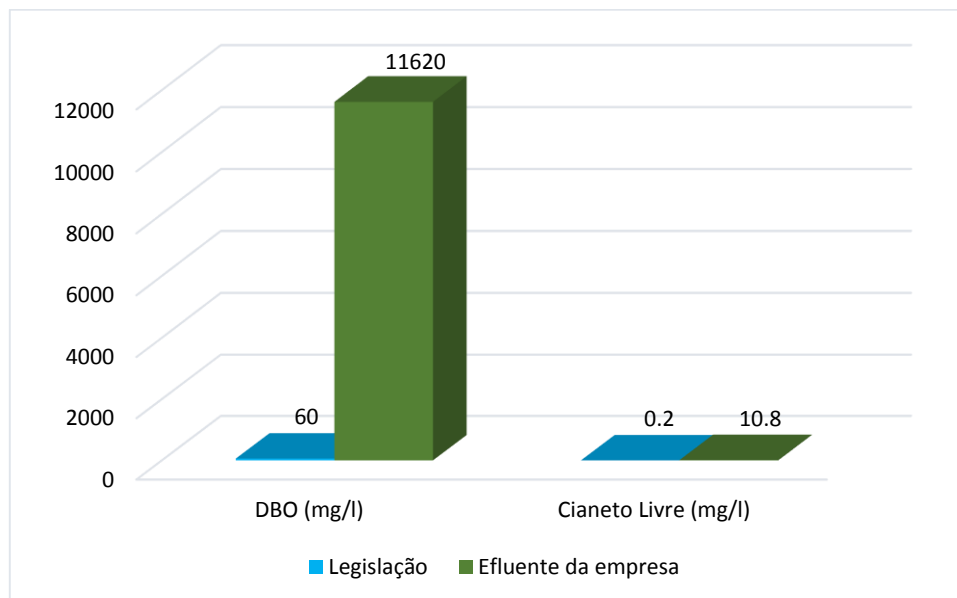


Fonte: Adaptado doGoogle Maps.

3.2 Identificação do Problema

A empresa não conta com nenhum sistema de tratamento de efluentes, despejando aproximadamente 380 mil litros por dia, de efluentes industriais, em lagoas comuns, sem impermeabilização alguma. O efluente da empresa, considerando o laudo de análise laboratorial do ano de 2010, possui DQO de 14.715 mg/L, DBO de 11.620 mg/L e 10,8 mg/L de concentração de cianeto total. Estes valores superam em muito os valores da legislação quanto à emissão de efluentes (Gráfico 1), descrita no Artigo 18 do Decreto nº 8.468 de 8 de setembro de 1976.

Gráfico 1 – Comparativo de efluente



Fonte: O autor

A opção de adotar um sistema capaz de tratar os efluentes oriundos do processamento da mandioca e simultaneamente gerar biogás e energia para utilização na indústria mostrou-se como uma boa alternativa, visto o potencial energético dos resíduos. A questão sustentável da proposita redução da carga poluidora do efluente é de grande importância, frente ao potencial de degradação ambiental do mesmo. Mas como dimensionar o sistema, seus custos e o retorno do investimento? Para responder ao questionamento foram utilizadas pesquisas, visita empresa que possui o sistema, orçamento dos custos da proposta

e, por fim, utilização de indicadores de viabilidade econômica: valor presente líquido (VPL) e Payback Descontado.

3.3 Cálculo do Cenário Atual

A coleta dos dados é de fundamental importância, pois os mesmos são utilizados como parâmetros de dimensionamento do sistema de biodigestão, além de servirem como indicadores do cenário atual e da simulação com o sistema em funcionamento.

3.3.1 Matéria-Prima

A matéria-prima utilizada é a mandioca, que foi calculada com base nos consumos dos meses de junho, julho e agosto de 2014. A média trimestral foi estimada em um ano, como mostra a tabela 7:

Tabela 7 – Estimativa de matéria-prima

Meses	Quantidade (kg)	Média Trim.	Média Anual
Junho	2019184,16		
Julho	1997869,16	2161732,35	25940788,16
Agosto	2468143,72		

Fonte: A empresa.

3.3.2 Energia Elétrica

Para o cálculo da energia elétrica, foi utilizado o histórico anual de consumo em kWh, de junho de 2013 à maio de 2014, estando representados na tabela 8:

Tabela 8 –Consumo de energia elétrica

MESES	KWH	VALOR
Junho/13	23960	R\$ 8.088,94
Julho/13	17940	R\$ 6.056,58
Agosto/13	37560	R\$ 12.680,33
Setembro/13	19560	R\$ 6.603,50
Outubro/13	45960	R\$ 15.516,19
Novembro/13	22620	R\$ 7.636,56
Dezembro/13	48240	R\$ 16.285,92
Janeiro/14	25140	R\$ 8.487,31
Fevereiro/14	25800	R\$ 8.710,13
Março/14	36540	R\$ 12.335,98
Abril/14	27360	R\$ 9.236,79
Mai/14	28980	R\$ 9.783,71
MÉDIA	29.971,67	R\$ 10.118,49

Fonte: A empresa

3.3.3 Efluentes da Indústria

A geração de efluentes no processamento da mandioca foi calculada com base em análises de consumo de água no processo de lavagem e prensagem da matéria-prima, utilizando como parâmetros de cálculo dados técnicos e estudos anteriores. O abastecimento da água do processo de lavagem é realizado por uma bomba com vazão de 15.000 litros por hora, ligada durante todos turnos de terça à sábado, totalizando 360.000 litros por dia, e 93.600.000 litros por ano de efluente (Tabela 9).

Tabela 9 – Quantidade de efluente no processo de lavagem

Capacidade		Período de Funcionamento
15.000,00	l/hora	19:00 de segunda à 19:00 dos sábados
1.800.000,00	l/semana	120 horas/semana
93.600.000,00	l/ano	6240 horas/ano (52 semanas)

Fonte: O autor

No processo de prensagem foi considerado uma retirada de 30% de líquidos da massa de mandioca. Fioretto (1994) relata que 1 tonelada de mandioca contém aproximadamente 600 litros de água, dentre as quais contém 300 litros de manipueira. Além disso o processo de prensagem retira em média 30% de líquidos da matéria-prima. Utilizando essas relações foi possível estimar a quantidade de efluente do processo de prensagem (Tabela 10).

Tabela 10 – Quantidade de efluente no processo de prensagem

Mandioca (kg/ano)	Líquido (l/ano)	Manipueira (l/ano)	Prensa (l/ano)
1000,00	600,00	300,00	180,00
100%	60%	30%	
25940788,16	15564472,90	7782236,45	4669341,87

Fonte: O autor

Desta forma, tem-se um total de 98.269.341,87 litros (aproximadamente 100 milhões) de efluentes despejados anualmente nas lagoas.

3.3.4 Poluição

A poluição gerada pelos resíduos líquidos, principalmente pela presença da manipueira, gera grandes riscos ao ambiente. Ainda segundo Fioretto (1994), o processamento de uma tonelada de raízes de mandioca por dia é equivalente à poluição gerada

por 150 à 250 habitantes diariamente. Assim foi realizado um comparativo com os dados anuais de processamento de mandioca (Tabela 11).

Tabela 11 – Estimativa de poluição diária dosefluentes

Mandioca (kg/dia)	Poluição (habitantes/dia)	
1000,00	150	250
99772,26	14966	24943

Fonte: O autor

3.4 Proposta do Sistema

A proposta do sistema foi elaborada com base no projeto técnico de uma empresa especializada em projeto de biodigestores para a Fecularia Rudolf Sizing, sediada em Ibirarema - SP (Anexo A), utilizando dados e análises da empresa em estudo.

O objetivo da proposta é apresentar um sistema para transformação das lagoas anaeróbias em biodigestores, utilizando o biogás produzido na alimentação de geradores elétricos e produção de energia para a empresa.

3.4.1 Dimensionamento da Lagoa

Para o dimensionamento da lagoa, foram utilizados dados da descrição técnica (DARTORA; PERDOMO; TUMELERO, 1998). A vazão do efluente anual, 98.269.341,87 litros, dividida pela quantidade em dias trabalhados anualmente, 260 dias, resulta numa vazão diária de 377.960,00 litros, ou 377,96 m³. O valor da efluente analisado em laboratório (laudo 2010) obteve um DQO de 14,72 kg/m³. Considerando ainda a remoção de 1 kg DQO/m³/dia, temos os seguintes valores da empresa estudada (Tabela 12):

Tabela 12 – Dados para dimensionamento da lagoa

Dados	Quantidade	Unidade
Vazão do afluente (Q)	377,96	m ³ /dia
DQO do efluente (S ₀)	14,72	kg/m ³
Carga volumétrica aceitável (CV)	1	kgDQO/m ³ /dia

Constante de degradação (K)	0,12
-----------------------------	------

Fonte: O autor.

Utilizando os dados da tabela 12 e as equações para o dimensionamento do sistema de biodigestão, tem-se:

- Cálculo da carga aplicada, utilizando a equação 1.

$$L = S_0 * Q = 14,72 * 377,96 = 5.563,57 \text{ kgDQO/dia}$$

- Estimativa do volume requerido para lagoa, utilizando a equação 2.

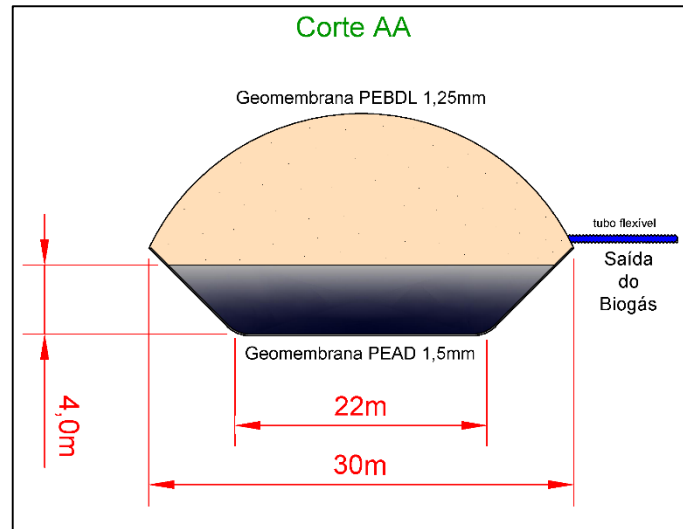
$$V = \frac{L}{Cv} = \frac{5.563,57}{1} = 5.563,57 \text{ m}^3$$

- Estimativa de área média requerida para lagoa, utilizando a equação 3.

$$A = \frac{V}{P} = \frac{5.563,57}{4} = 1.390,90 \text{ m}^2$$

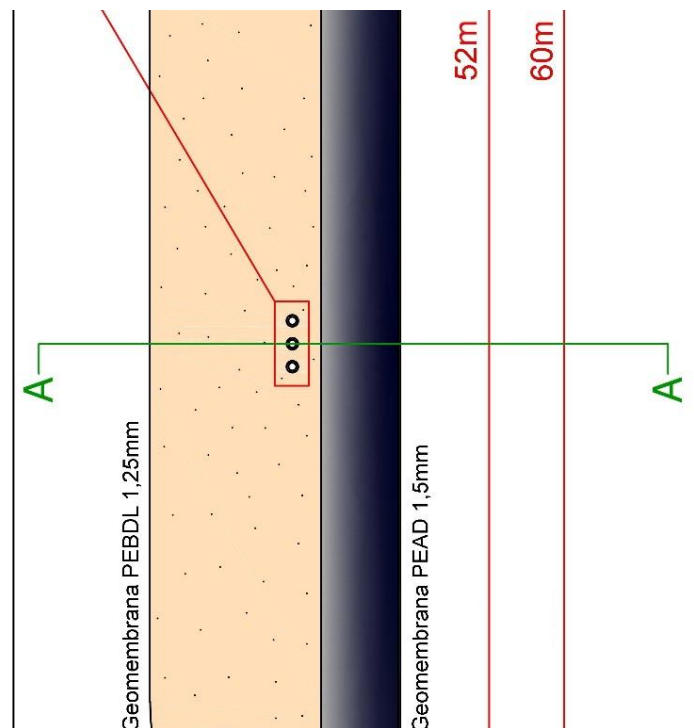
Desta forma, para armazenar o volume de 5.563,57 m³ a lagoa deve possuir as características da figura 12 e figura 13, respectivamente.

Figura 12 – Lagoa de biodigestão – Corte AA



Fonte: O autor.

Figura 13 – Lagoa de biodigestão



Fonte: O autor.

Além disso, os cálculos referentes ao tempo de retenção hidráulica na lagoa, cálculo da DQO do efluente após passar pelo sistema de biodigestão e o potencial de remoção de DQO são importantes para avaliação e controle do sistema, seguindo abaixo:

- Estimativa do tempo de retenção hidráulica, utilizando a equação 4.

$$T_R = \frac{V}{Q} = \frac{5.563,57}{377,96} \approx 15 \text{ dias}$$

- Cálculo da DQO do efluente que sai do sistema, utilizando a equação 5.

$$S = \frac{S_0}{1+(k*T_R)} = \frac{14.715,00}{1+(0,12*15)} = 5.255,36 \text{ mg/l}$$

- Estimativa da eficiência de remoção da DQO, utilizando a equação 6.

$$E = \frac{(S-S_0)*100}{S} = \frac{(14.715-5.255,36)*100}{14.715} = 64,3\%$$

3.4.2 Potencial de Geração de Biogás

A vazão atual de efluentes industriais da empresa é de 377.960,00 l/dia ou 377,96 m³/dia. O cálculo da produção de biogás foi realizado conforme a metodologia utilizada pela empresa especializada em biodigestores (Anexo A) e utilizando os valores da tabela 13.

$$BE_{ww,treatment,y} = \sum_i Q_{ww,i,y} * COD_{removed,i,y} * MCF_{ww,treatment,BL,i} * B_{o,ww} * UF_{BL}$$

Tabela 13 – Valores padrão IPCC Fator de Correção para Metano (MCF)

Tipo de tratamento e descarga de águas residuais ou sistema	Valor MCF
Descarga de águas residuais para o mar, rio ou lago	0,1
Tratamento aeróbio, bem gerida	0,0

Tratamento aeróbio, mal gerido ou sobrecarregada	0,3
Digestor anaeróbio de lodo sem recuperação de metano	0,8
Reator anaeróbio sem recuperação de metano	0,8
Lagoa anaeróbia rasas (profundidade inferior a 2 metros)	0,2
Lagoa anaeróbia profundas (profundidade superior a 2 metros)	0,8
Sistema Séptico	0,5

Fonte:Projetotécnico – Empresa especializada em biodigestores (Anexo A)

Assim, a quantidade de gás metano que o sistema pode produzir segue na tabela 14.

Tabela 14 – Produção de Metano

Produção de Metano		$B_{ey} = Q_{y,ww} * COD_{y,ww,untreated} * B_{o,ww} * MCF_{ww,treatment} * UF$
Qy	Volume de efluente tratado por dia	377,96 m ³ /dia
COD removal efficiency	DQO removida pelo sistema de tratamento	0,009 ton/m ³
Bo,	Capacidade de produção de metano	0,25 tonCH ₄ /tonDQO
MCF, treatment	Fator de correção de metano	0,8
UF	Fator de correção devido às incertezas	0,89
Produção de Metano		0,605 ton CH ₄ /dia

Fonte: Projetotécnico – Empresa especializada em biodigestores (Anexo A)

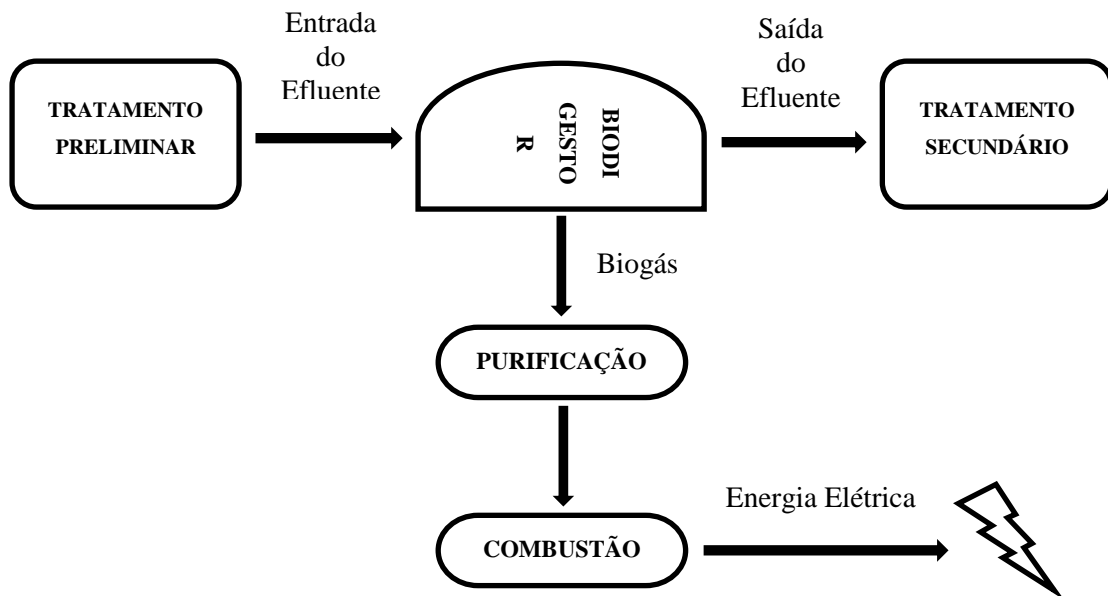
A capacidade de produção é de 605 kg metano/dia, e utilizando a densidade do metano que é de 0,722 kg/m³ (CNTP), a produção diária é de 837,95 m³/dia. Porém, como o biogás é uma mistura basicamente composta por metano e dióxido de carbono, o teor de metano pode variar. Considerando um biogás com 65% de metano, temos:

$$Biogás = 837,95 \text{ m}^3 * 0,65 = 544,67 \text{ m}^3 / dia$$

3.4.3 Utilização do Biogás

A proposta de utilização do biogás é a queima do mesmo em geradores de energia elétrica à base de gás, visando a diminuição total ou parcial da energia elétrica utilizada atualmente pela empresa (Figura 14).

Figura 14 – Fluxograma do sistema



Fonte: O autor.

O tratamento preliminar consiste no despejo dos resíduos líquidos do processamento dentro da lagoa de decantação, para que parte dos sólidos em suspensão sejam removidos, a fim de evitar grande sedimentação dentro do biodigestor, fato que diminui sua vida útil. Logo após, a bomba de entrada capta o efluente da lagoa de decantação, enviando-o para dentro do biodigestor. O efluente fica aproximadamente durante 15 dias dentro do sistema (tempo de retenção hidráulica - TRH), enquanto as bactérias anaeróbias decompõem a matéria orgânica, produzindo o biogás. O efluente então é bombeado para fora do sistema, devendo ainda passar pelo tratamento. Este processo de captação, entrada e saída do biodigestor é contínuo, o tempo de retenção hidráulica nos dá apenas uma noção do período que o efluente é decomposto. O biogás produzido no sistema é captado por tubulações de PVC, até um sistema de purificação, a fim de evitar danos ao mesmo, como corrosão e redução da vida útil do gerador (COELHO

et al., 2006). Livre de umidade e do ácido sulfídrico (H₂S), o biogás é enviado ao gerador para queima e geração de energia elétrica.

Utilizando dados da Tabela 5, o biogás com 65% de metano tem um peso específico de 1,1518 kg/Nm³ e poder calorífico inferior (P.C.I.) de 4.831,14 kcal/kg. Desta forma, transformando unidades de quilos para metros cúbicos temos:

$$P.C.I. = 4.831,14 \left(\frac{kcal}{kg} \right) * 1,1518 \left(\frac{kg}{Nm^3} \right) = 5.564,5 kcal/Nm^3$$

A quantidade de biogás gerada no sistema é de 22,69 m³/h, porém, para efeito dos cálculos, é necessário converter a quantidade gerada em unidades de Normal metro cúbico (Nm³), que considera pressão de 1 atm., temperatura de 0°C e umidade relativa de 0%. Os dados da cidade onde a empresa está situada são de 506 metros de altitude, temperatura média de 22°C e umidade relativa média de 75%. A tabela 15 demonstra a conversão:

Tabela 15 – Conversão de unidade do biogás

Dados	Quantidade
Altitude no local	506 m
Temperatura	25 °C
Umidade Relativa	75 %
Metro cúbico	22,69 m ³ /h
Normal metro cúbico	19 Nm ³ /h

Fonte: Adaptado de Fargon (2014).

O produto do poder calorífico inferior (5.564,5kcal/Nm³) pela quantidade de biogás gerado por hora no sistema (19,00Nm³/h) é igual à 105.725,5 kcal/h. Convertendo a energia disponível em potencial elétrico (Tabela 16):

Tabela 16 – Potência elétrica do biogás

Energia (kcal/h)	Potência Elétrica (kW/h)
1	1,164 x10 ⁻³

105.725,5

123

Fonte: O autor.

Utilizando o ciclo combinado (COPEL, 2014), que tem um potencial de conversão do biogás em energia elétrica de 58%, alcançamos um rendimento de 71,34 kW/h. Para efeito de comparação, calcula-se a potência elétrica mensal que o sistema pode gerar:

$$PE = \frac{71,34 \left(\frac{kW}{h}\right) * 6.240 (h)}{12 \text{ meses}} = 37.096,80 \text{ kW/mês}$$

Onde:

PE = Potência elétrica (kW/mês);

6.240 = Horas trabalhadas por ano;

O consumo de energia elétrica é calculado pela potência instantânea utilizada em certo tempo (kWh). Desta forma, não podemos converter a potência elétrica gerada a partir do sistema de biodigestão em energia elétrica disponível, pois isto depende do período de utilização. Para fins de comparação, dividindo-se o custo mensal de R\$ 10.118,49 pela quantidade de energia elétrica mensal utilizada pela empresa, 29.971,67 kWh, temos um custo de R\$ 0,337 por kWh de energia.

Utilizando a potência elétrica gerada ao mês a partir do biogás, temos:

$$37.096,80 \text{ kW} * 0,337 = \text{R\$ } 12.501,62$$

Conclui-se assim que o sistema tem a capacidade de proporcionar uma economia média de 121.421,88 anual e R\$ 10.118,49 mensal (valores pagos à concessionária de energia elétrica), ou seja, uma redução de 100% dos gastos envolvidos com energia elétrica, pois o sistema é capaz de gerar uma potência elétrica superior à necessidade da empresa.

3.4.4 Custos da Proposta

Os custos da proposta do sistema foram elaborados pelo autor, por meio de pedidos de orçamentos, e também baseados em um projeto técnico de uma empresa especializada em biodigestores (Anexo A), (Tabela 17).

ITENS	QTD	CARACTERÍSTICAS	CUSTO (un)	CUSTO (total)
Projeto		Demais instalações (biodigestor, tubulação PVC Azul PN 80, 100mm para bombeamento de água para o biodigestor, tubo 20mm esgoto para retorno da água do biodigestor, sistema de drenagem e transporte do biogás), mão-de-obra.	R\$ 145.000,00	R\$ 145.000,00
Gerador	1	Potência Nominal 100 kVA/80kW, à biogás	R\$ 60.730,00	R\$ 60.730,00
Decantador		Construído em concreto, com 5m, 10m, 15m (AxLxC)	R\$ 46.000,00	R\$ 46.000,00
Geomembrana	2.180 m ²	Geomembrana PEBDL 1.25mm, lisa, bob 5,90 x 100m	R\$17,30	R\$ 37.714,00
	2.180 m ²	Geomembrana PEAD 1.5mm, lisa, bob 5,90 x 50m	R\$16,90	R\$ 36.842,00
Terraplanagem		Abertura da lagoa (dimensões – Figura 12 e Figura 13)	R\$ 17.600,00	R\$ 17.600,00
Instalações do Gerador		Painel elétrico, cabeamentos, adequação do local	R\$ 5.540,00	R\$ 5.540,00
Bomba	2	Sucção 4", recalque 4", vazão máxima de 30 m ³ /h	R\$ 960,00	R\$ 1.920,00
Manutenção			R\$ 700,00	R\$ 700,00
Energia Elétrica			R\$ 75,00	R\$ 75,00
				R\$ 352.121,00
Margem de incerteza		10% do investimento		R\$ 35.212,10
TOTAL				R\$ 387.333,10

Tabela 17 – Orçamento da proposta

Fonte: O autor.

3.5 Análise de Viabilidade Econômica

3.5.1 Payback Descontado

O cálculo do Payback Descontado demonstra quanto tempo a proposta levará, se for aceita, para recuperar o capital investido. Utilizando uma taxa mínima de atratividade (TMA) de 12% ao ano, tem-se o payback descontado (Tabela 18).

Tabela 18 – Payback Descontado

Ano	Fluxo Bruto		Fluxo Descontado		Fluxo Líquido	
0	-R\$	387.333,10	-R\$	387.333,10	-R\$	387.333,10
1	R\$	121.421,88	R\$	108.412,39	-R\$	278.920,71
2	R\$	121.421,88	R\$	96.796,78	-R\$	182.123,93
3	R\$	121.421,88	R\$	86.425,70	-R\$	95.698,23
4	R\$	121.421,88	R\$	77.165,80	-R\$	18.532,43
5	R\$	121.421,88	R\$	68.898,04	R\$	50.365,60
PaybackDescontado = 4 anos e 3 meses e 7 dias						

Fonte: O autor.

3.5.2 Valor Presente Líquido

O valor presente líquido da análise financeira está representado na tabela 19.

Tabela 19 – Valor Presente Líquido

Valor Presente Líquido (VPL)	50.365,60
Índice de Lucratividade (IL)	1,13
Taxa de Retorno (TR)	13%

Fonte: O autor.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS

A realização deste estudo proporcionou avaliar economicamente e sustentavelmente a proposta de utilizar o sistema de biodigestão anaeróbica no tratamento dos resíduos líquidos do processo. O embasamento teórico e a descrição técnica fornecida pela empresa especializada em biodigestores foram de grande auxílio nos cálculos de dimensionamento do sistema e da eficiência do biodigestor anaeróbio, visto a dificuldade de encontrar estudos técnicos detalhados na área.

Tendo em vista a demanda química de carbono, que trata-se da quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por meio de um agente químico, a redução teórica alcançada nos cálculos técnicos, de 64,3% (14.715,00 mg/L para 5.255,36 mg/L) com um tempo de retenção hidráulica de aproximadamente 15 dias, demonstra que o sistema de biodigestão anaeróbia é eficiente, frente à quantidade carga orgânica reduzida em um curto período, diminuindo o potencial de poluição do efluente bruto do processamento. A continuidade no tratamento pós biodigestão é importante para se reduzir ainda mais estes níveis e reduzir os impactos ambientais, além disso, caso o sistema seja implantado, é interessante considerar a realização de uma análise laboratorial do efluente de entrada e saída do biodigestor, a fim de avaliar a eficiência prática do sistema.

A análise técnica do potencial energético dos resíduos líquidos do processamento da mandioca mostraram-se com um potencial de geração de biogás e posteriormente de energia elétrica favorável. Reiterando que não se pode converter a potência elétrica gerada a partir do sistema de biodigestão em energia elétrica disponível, pois a quantidade consumida depende do período de utilização, apenas para fins comparativos, o sistema é vantajoso devido ao potencial de geração do sistema de biodigestão, de 37.096,80 kW ao mês, ser maior que a energia elétrica consumida pela empresa, de 29.971,67 kWh ao mês.

A empresa paga em média R\$ 0,337 por kWh de energia, valor dado pela divisão do custo total e da quantidade consumida, ambos mensalmente. Prosseguindo o raciocínio:

- Custo da proposta = R\$ 387.333,10
- Payback Descontado = 4 anos e 3 meses (51 meses)

Tem-se:

$$Pot\ elét\ gerada = 37.096,80 \frac{kW}{mês} * 51\ meses = 1.891.936,80\ kW$$

Utilizando os dados acima evidenciados, e dividindo-se o custo da proposta pela quantidade de potência elétrica gerada, considerando o período para o pagamento total da proposta:

$$\frac{R\$ 387.333,10}{1.891.936,80 \text{ kW}} = R\$ 0,204 \text{ por kW}$$

Admite-se então que o custo para geração de energia elétrica pelo sistema é R\$ 0,133 por kW menor do que o custo pago à concessionária, o que torna a proposta economicamente viável. A utilização do payback descontado e do valor presente líquido, de R\$ 50.365,60, foram essenciais na análise econômico-financeira da proposta, mostrando-se viável sua implantação.

Apesar da quantidade de energia elétrica produzida pelo sistema superar a demanda da empresa, ou seja, obtendo um superávit de produção, essa diferença não é significativa a ponto da empresa optar pela comercialização com a concessionária do excedente de energia elétrica do sistema, principalmente pelos fatores econômicos quanto à necessidade de instalações adequadas a este tipo de serviço.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO

A realização do presente trabalho atendeu às expectativas quanto aos objetivos previamente determinados, face aos resultados obtidos que demonstraram-se favoráveis à implantação da proposta do sistema de biodigestão anaeróbia, sustentavelmente e economicamente viável.

Atualmente o tema sustentabilidade não é tido mais como novidade, mas sim como uma necessidade real de incorporação às políticas das empresas, pois a redução de emissão de poluentes e desenvolvimento de tecnologias limpas são imprescindíveis para a sobrevivência no mercado.

A metodologia adotada e o auxílio da empresa do setor foi essencial à execução do trabalho, visto à grande dificuldade em se encontrar descrições técnicas seguras capazes de fornecer cálculos concretos para o dimensionamento do sistema e análise do potencial energético do mesmo, pois grande parte dos trabalhos encontrados tratavam-se de análise em biodigestores de laboratório, dificultando a mensuração do sistema em condições reais de funcionamento.

Com a aplicação das ferramentas de análise de viabilidade econômico-financeira, os resultados mostram-se muitos mais claros e confiáveis, possibilitando ao empresário uma base sólida para a tomada de decisão, quanto à aceitação ou não da proposta. É evidente a importância da correta mensuração dos dados da proposta para possibilitar uma maior confiabilidade dos resultados obtidos pelas ferramentas de análise econômica.

Além de todo fator econômico da proposta, a questão ambiental não se restringe apenas à não interdição da empresa frente às normas vigentes de preservação ambiental, pois os benefícios obtidos são muito superiores a este fato. A adoção de práticas ambientais sustentáveis desperta o interesse de outras organizações e da sociedade ao seu redor sobre a importância do desenvolvimento e da continuidade de práticas ambientais, podendo vir à tornar-se uma referência de gestão ambiental no mercado e na sociedade.

O estudo realizado se mostrou com grande potencial para alavancar novas pesquisas e desenvolvimento de tecnologias no seguimento de reaproveitamento energético dos resíduos, além da importância quanto às questões sustentáveis, que se mostram cada dia mais necessárias para a sociedade em geral.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Maria Margarida de. **Introdução à metodologia do trabalho científico: elaboração de trabalhos na graduação**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 1997.

ASHLEY, Patricia, et al. **Ética e Responsabilidade Social nos Negócios**. São Paulo: 2ª ed. Saraiva, 2005.

BARANA, Ana C.; CEREDA, Marney Pascoli. **Avaliação do tratamento de manipueira de farinhas em biodigestores fase acidogênica e metanogênica**. Revista Energia na Agricultura, Botucatu, vol. 15, n. 4, p. 69-81, 2000.

BARBIERI, José Carlos. **Gestão Ambiental Empresarial: Conceitos, Modelos e Instrumentos**. 2ª ed. São Paulo: Saraiva, 2007.

BARBIERI, José Carlos; CAJAZEIRA, Jorge Emanuel R. **Responsabilidade Social Empresarial e Empresa Sustentável: da Teoria à Prática**. 2ª ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

BERVIAN, P. A.; DA SILVA, R.; CERVO, A. L. **Metodologia Científica**. 6ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

BLEY JÚNIOR, Cícero, *et al.* **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais**. Revista Itaipu Binacional/FAO, Foz do Iguaçu, 2ª ed., 140 p., 2009.

BORDEAUX-RÊGO, Ricardo; PAULO, G. P.; SPRITZER, I. M. P. A.; ZOTES, L. P. **Viabilidade Econômico-Financeira de Projetos**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2010, 164 p.

CABELLO, Claudio; PINTO, P. H. M. **Tratamento de manipueira de feccularia em biodigestor anaeróbio para disposição em corpo receptor, rede pública ou uso em fertirrigação**. Revista Energia na Agricultura, Botucatu, v. 26, n. 3, 2011.

CASAROTTO FILHO, Nelson; KOPITKE, Bruno Hartmut. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. 10ª ed. São Paulo: Atlas, 2010, 468 p.

CEREDA, Marney Pascoli. **Resíduos da Industrialização da Mandioca no Brasil**. São Paulo: Paulicéia, 1994, 174 p.

CEREDA, Maney Pascoli, PANTAROTO, Suzan. **Adaptação microbiana e capacidade de redução do conteúdo cianogênico de manipueira, utilizando-a como fonte de energia.** Revista Energia na Agricultura, Botucatu, vol. 18, n. 1, p. 13-21, 2003.

CETESB. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo.** Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente – Série Relatórios. São Paulo, 2009.

CHISTÉ, Renan Campos; COHEN, Kelly de Oliveira. **Estudo do Processo de Fabricação da Farinha de Mandioca.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006, 75 p.

COELHO, Suani Teixeira, *et al.* **Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás Proveniente do Tratamento de Esgoto Utilizando um Grupo Gerador de 18 kW.** In: Anais do Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Políticas públicas para a Energia: Desafios para o próximo quadriênio. Brasília – DF, 2006 A. p.140-144.

COPEL. **Térmica.** Curitiba: 2014. Disponível em: <<http://www.copel.com/>>. Acesso em: out. 2014.

DARTORA, Valmir; PERDOMO, Carlos C.; TUMELERO, Ivone Lopes. **Manejo de dejetos de suínos.** Boletim Informativo BIPERS, vol.7, n.11, p.4-33, 1998.

DEL BIANCHI, Vanildo Luiz; CEREDA, Marney Pascoli. **Balanco de Massa de uma Fábrica de Farinha de Mandioca de Médio Porte do Estado de São Paulo.** Revista Energia na Agricultura, Botucatu, vol. 14, n.3, p. 34-48, 1998.

FARGON ENGENHARIA E INDÚSTRIA LTDA. Disponível em: www.fargon.com.br/conversao_mh.htm. Acesso em: out. 2014.

FERRAZ, J. M. G.; MARRIEL, I. E. **Biogás: uma fonte alternativa de energia.** Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1980, 27 p.

FERREIRA, Waldemar de Almeida;*et al.* **Manipueira: Um Adubo Orgânico em Potencial.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 22 jul. 2014.

FIORETTO, Roberto Antunes. **Uso Direto da Manipueira em Fertirrigação.** In: CEREDA, Marney Pascoli (Org). Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca. São Paulo: Fundação Cargill, 2001. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, v.4).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Cassava Processing (FAO Plant Production and Protection Series)**. Roma: FAO, 1977, 155 p.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 1991.

IANNICELLI, André Luiz. **Reaproveitamento energético do biogás de uma indústria cervejeira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) -Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté. Taubaté, 2008. Disponível em: <<http://www.btdt.unitau.br/>>. Acesso em: 26 set. 2014.

IPCC. **Direct Global Warming Potentials**. IPCC. 2007. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 29 jul. 2014.

PEREIRA, A. C.; SILVA, G. Z.; CARBONARI, M. E. E. **Sustentabilidade, Responsabilidade Social e Meio Ambiente**. São Paulo: Saraiva, 2011.

SALATINO, Antônio. **Plantas Tóxicas**. Universidade de São Paulo – USP, Instituto de Biociências. Disponível em: <<http://felix.ib.usp.br>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

SAMANEZ, Carlos Patricio. **Engenharia Econômica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. Aprova Regulamento que disciplina a execução da Lei 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente. São Paulo, Diário Oficial do Estado de São Paulo, n. 171, 1976.

SEBRAE. **Uso de resíduos e de dejetos: como fonte de energia renovável**. SEBRAE. 2008.

SGANZERLA, Edilio. **Biodigestor, uma solução**. Porto Alegre: Agropecuária, 1983, 88 p.

Um guia do conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK). Project Management Institute, 4 ed., 2008.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Cleaner Production (CP)**. Disponível em: <<http://www.unido.org/en/what-we-do/environment/resource-efficient-and-low-carbon-industrial-production/cp/cleaner-production.html>>. Acesso em: 18 jul. 2014.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Overview of Greenhouse Gases – Methane Emissions.** Disponível em: <<http://epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/ch4.html>>. Acesso em: 26 jul. 2014.

VALLE, Cyro Eyer do. **Qualidade Ambiental: ISO 14000.** 12^a ed. São Paulo: Senac, 2012.

**ANEXO A – PROJETO TÉCNICO - EMPRESA ESPECIALIZADA EM
BIODIGESTORES**

Biodigestores – Fecularia Rudolf Sizing

Unidade Industrial de Ibirarema - SP



23 de Abril de 2012

SUMÁRIO

OBJETIVO	3
1 DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE TRATAMENTO	4
PRODUÇÃO DE BIOGÁS	4
RETORNO ECONÓMICO	6

OBJETIVO

O objetivo deste documento é apresentar proposta para transformação das lagoas anaeróbias em biodigestores, da Fecularia Rudolf Sizing – Unidade Industrial de Ibirarema-SP.

1 SISTEMA DE TRATAMENTO

A Unidade Industrial de Mandioca, localizada em Ibirarema -SP., onde a vazão do efluente nessa indústria é de atualmente 585m³/dia com previsão para aumento na vazão para 1.000m³/dia de efluente bruto com carga orgânica equivalente a DQO (demanda Química de Oxigênio) removida na lagoa anaeróbia de 12.000 mg/L.

O sistema de tratamento é constituído por um pré-tratamento realizado com decantadores para remoção de terra, seguida é bombeado para o biodigestor.

PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Conforme metodologia das Nações Unidas, **AMS - III.H. Methane Recovery in Wastewater Treatment** (Recuperação de metano em Tratamento de Águas Residuais), segue o memorial de cálculos de produção diária de biogás.

O potencial de emissões de metano dos sistemas de tratamento de águas residuais é dado por:

$$BE_{ww,treatment,y} = \sum_i Q_{ww,i,y} * COD_{removed,i,y} * MCF_{ww,treatment,BL,i} * B_{o,ww} * UF_{BL}$$

Onde:

$Q_{ww,i,y}$ - Volume de águas residuais tratadas no atual sistema de tratamento de águas residuais em i ano y (m³)

$COD_{removed,i,y}$ - DQO Removida pelo atual sistema de tratamento de i no ano y (ton/ m³), medido como a diferença entre a entrada e a saída DQO no sistema i

$MCF_{ww,treatment,BL,i}$ - Fator de correção de Metano para atual sistemas de tratamento de águas residuais i (MCF valores, como por tabela 1.)

$B_{o,ww}$ - Capacidade produtiva de Metano das águas residuais (IPCC 0,25 kg CH₄/kg DQO)

UF_{BL} - Modelo fator de correção para ter em conta as incertezas (0,89)

Tabela 1. Os valores padrão IPCC Fator de Correção para Metano (MCF)

Tipo de tratamento e descarga de águas residuais ou sistema	Valor MCF
Descarga de águas residuais para o mar, rio ou lago	0,1
Tratamento aeróbio, bem gerida	0,0
Tratamento aeróbio, mal gerido ou sobrecarregada	0,3
Digestor anaeróbio de lodo sem recuperação de metano	0,8
Reator anaeróbio sem recuperação de metano	0,8
Lagoa anaeróbia rasas (profundidade inferior a 2 metros)	0,2
Lagoa anaeróbia profundas (profundidade superior a 2 metros)	0,8
Septic system	0,5

Assim temos o seguinte resultado na produção de metano:

Produção de Metano		Bey = Qy,ww * CODy,ww,untreated * Bo,ww * MCFww, treatment, * UF	
Qy,	Volume de efluente tratado por dia	1000	m3/dia
COD removal efficiency	DQO removida pelo sistema de tratamento, mensurada antes e após as lagoas	0,012	ton/m3
Bo,	Capacidade de produção de metano	0,25	ton CH4/ ton DQO
MCF, treatment	Fator de correção de metano	0,8	
UF	Fator de correção devido às incertezas.	0,89	
Produção de Metano		214	Toneladas de metano / dia

A densidade do metano é 0,722 kg/m³ portanto temos:

$$\text{CH}_4 = 2140 \text{ kg de metano} / 0,722 \text{ kg/m}^3 \gg \text{CH}_4 = 2963 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

Como o biogás é uma mistura basicamente de CH₄ + CO₂, os teores de metano no mesmo pode variar. Para sermos mais conservadores na produção de biogás admitimos um biogás com 55% de metano, assim temos:

$$\text{Biogás} = 2963 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 / 0,55 \gg \text{Biogás} = 5.389,0 \text{ m}^3 \text{ de biogás} / \text{dia}$$

Cada m³ de biogás a 55% de metano na sua composição (4500kcal/m³) equivale a 1,5kg de cavaco, portanto, a economia diária de cavaco seria de 8 toneladas.

RETORNO ECONÔMICO

Custo Biodigestor : Composto por - Biodigestor, tubulação PVC Azul PN 80, 100mm para bombeamento da água ao biodigestor, tubo 200mm esgoto para retorno da água do biodigestor, sistema de drenagem de biogás, sistema de transporte e queima do biogás e tempo de garantia de 12 meses a partir do início da queima do biogás.

R\$ 186.905,44

Despesas Operacionais

- ✓ Energia Eletrica Compressor Radial
- R\$ 75,00 mensal

- ✓ Manutenção de equipamentos e biodigestores
- R\$ 300,00 mensal

- ✓ Mão de Obra para Acompanhamento do Biodigestor
- R\$ 800,00 mensal (é possível aproveitar o pessoal que atualmente leva a lenha pra caldeira, para operações de manutenção do biodigestor).

A principal operação de manutenção é a retirada de água, quando ocorrem chuvas e o biodigestor não estiver totalmente inflado devido ao alto consumo do biogás.

Receitas

- ✓ Economia Diaria de Cavaco
- 8 ton./dia x R\$ 120,00 = R\$ 960,0 /dia

Tempo de Retorno do Investimento

✓ Economia de Cavaco

- Custo Diario Aperação Biodigestor: R\$ 47,00/dia

- Receita Diaria Lenha: R\$ 960,0 /dia

- Tempo de Retorno do Investimento

207 dias de Moagem de Mandioca