

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO

CELSO EDUARDO GUIMARÃES

**Avaliação do Desempenho Ambiental do Aproveitamento do Biogás
em Fecularias de Mandioca no Estado do Paraná: Um Estudo de
Casos Múltiplos**

São Paulo

2014

CELSO EDUARDO GUIMARÃES

**Avaliação do Desempenho Ambiental do Aproveitamento do Biogás
em Fecularias de Mandioca no Estado do Paraná: Um Estudo de
Casos Múltiplos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Administração da Universidade Nove de Julho – UNINOVE como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental e Sustentabilidade.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cláudia Echevengúá
Teixeira

São Paulo, 2014

Guimarães, Celso Eduardo.

Avaliação do desempenho ambiental do aproveitamento do biogás em feculárias de mandioca no Estado do Paraná: um estudo de casos múltiplos./ Celso Eduardo Guimarães. 2014.

101 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2014.

Orientador (a): Profa. Dra. Cláudia Echevengúá Teixeira.

1. Biodigestor. 2. Biogás. 3. Resíduos de mandioca. 4. Indicadores de desempenho ambiental GRI.

I. Teixeira, Cláudia Echavengúá. II. Título

CDU 658:504. 6

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DO APROVEITAMENTO DO
BIOGÁS EM FECULARIAS DE MANDIOCA NO ESTADO DO PARANÁ: UM
ESTUDO DE CASOS MÚLTIPLOS**

Por
Celso Eduardo Guimarães

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Nove de Julho, para a obtenção do título de Mestre em Gestão Ambiental e Sustentabilidade, sendo a Banca examinadora formada por:

Presidente: Prof. Dra. Claudia Echevengá Teixeira– Orientador, UNINOVE

Membro: Prof. Dr. Flavio Hourneaux Junior, UNINOVE

Membro: Prof. Dr. Silas Derenzo, IPT

São Paulo, 31/03/2014.

AGRADECIMENTOS

... a Deus, pela benção de me permitir perseguir esse caminho e me proteger em todos os momentos;

... à Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES), pela credibilidade e apoio ao Projeto Pró-Estratégia.

... à minha esposa, que sempre me incentivou nessa dura caminhada, me apoiou e, em tantas e tantas vezes, suportou difíceis condições para que eu chegasse até aqui;

... à minha orientadora, Prof. Dra. Cláudia Echevengá Teixeira, pelos ensinamentos, pela paciência e compreensão em tantos momentos e pelas oportunidades que me abriu para esse projeto de pesquisa;

... aos demais professores do corpo docente da Uninove, especialmente aos professores Dr. Mauro Ruiz, que foi o responsável por eu começar a caminhada do mestrado e a Dra. Claudia Brito Silva Cirani que também acreditou em mim e proporcionou a oportunidade de ingresso ao projeto;

... ao colega Mário R. Santos, que contribuiu com várias revisões e formatações dos textos;

... à Kharolyn e Eduardo (Planotec Biodigestores), pela cordialidade e todas as informações compartilhadas que possibilitaram acontecer o projeto;

RESUMO

Para produção de farinha e fécula de mandioca, são executados os processos de lavagem, descascamento, ralação e prensagem do tubérculo para obtenção dos produtos. Esses geram quantidades significativas de resíduos com alta carga orgânica e componentes tóxicos, como a água amarelada, conhecida como manipueira. Tradicionalmente, esses resíduos são tratados em lagoas de estabilização por processos anaeróbios, que gera biogás e esse é liberado para a atmosfera. Os principais constituintes do biogás são o metano (CH₄) e o gás carbônico (CO₂). Em iniciativa de empresas do estado do Paraná, uma tecnologia vem sendo instalada para transformar as lagoas em biodigestores com captação do metano, dentro da perspectiva de uma alternativa para o tratamento de resíduos e a promoção de inovação ambiental. No entanto, esta tecnologia é recente neste tipo de indústria, necessitando de avaliação de seus benefícios técnicos, econômicos e ambientais. Dentro deste contexto, têm-se a seguinte questão de pesquisa: que vantagens e desvantagens a tecnologia de aproveitamento de biogás traz do ponto de vista ambiental e como caracterizá-los e avaliá-los? O presente trabalho avaliou o desempenho ambiental em três indústrias, aplicando a metodologia de estudo de casos múltiplos. Como suporte ao processo de coleta e interpretação de dados, foram selecionados indicadores de desempenho ambiental do *framework* para relatórios de sustentabilidade da GRI, relacionados aos aspectos consumo de materiais, emissões atmosféricas, consumo de água, consumo de energia, e emissão de efluentes. Como resultado da aplicação desses indicadores, foram observados alguns resultados positivos, como economia de combustível lenha e diminuição das emissões atmosféricas de gases de efeito estufa (GEE's). A pesquisa mostrou, com os números apresentados nos indicadores avaliados, que o aproveitamento de biogás no setor de agronegócios é um tipo de iniciativa promissora, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, com resultados práticos positivos expressivos, ressaltando que uma das empresas pesquisadas teve um decréscimo no consumo de lenha na ordem de 95%. Outra foi menos considerável, poupando metade da lenha com o aproveitamento do biogás. Em todos os casos, porém, houve melhora considerável no desempenho, com a diminuição dos custos produtivos e das emissões de poluentes atmosféricos, principalmente em relação aos GEE's. Dessa forma, a pesquisa contribui para um melhor conhecimento da tecnologia e uma possível fomentação do seu uso no país.

Palavras-chave: Biodigestor; Biogás; Resíduos de Mandioca; Indicadores de Desempenho Ambiental GRI, Estudo de Casos Múltiplos, Avaliação de Desempenho Ambiental; Inovação; Ecoinovação.

ABSTRACT

For the production of starch and cassava flour occurs the steps of washing, peeling, grating and pressing in order to obtain the product. These phases generate large amounts of waste with high content of organic matter and toxic components, such as the yellow water resulting from pressing cassava, known as *manipueira*. Usually these residues are treated in settling ponds, where the degradation occurs by anaerobic processes, generating biogas which is released into the atmosphere. The main constituents of biogas are methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂). In an initiative by companies from the state of Paraná, Brazil, a new technology has been installed to turn the lagoons in digesters to capture methane from the perspective of an alternative for the treatment of waste and promotion of environmental innovation. However, this technology is new in this kind of industry, still requiring evaluation of their technical, economic and environmental benefits. Within this context, the following research question can be presented: what advantages and disadvantages of the use of biogas the technology brings in the environmental point of view and how to characterize them and evaluate them? This study evaluated the environmental performance in three industries, applying the methodology of multiple case study. In order to support the collection and interpretation of data processing, it was selected environmental performance indicators from the framework for sustainability reporting GRI, related to aspects of material consumption, air emissions, water consumption, energy consumption, emission and effluent. As a result of the application of these indicators, some positive results, such as reduction consumption of fuel wood and of the atmospheric emissions of greenhouse gas (GHG) were observed. Research has shown, using the numbers presented on the indicators evaluated, that the use of biogas in the agribusiness sector is a kind of promising initiative by the points of views economically and environmentally, with significant positive practical results, noting that one of the companies surveyed had a decrease in the consumption of firewood in the order of 95%. Another was less considerable, saving half of the wood with the use of biogas. In all cases, however, there was considerable improvement in performance, with a reduction of costs production and of the emissions of air pollutants, especially in relation to GHGs. In this way, the research contributes to a better understanding of technology and a possible fomentation to use it.

Keywords: Digester; Biogas; Cassava waste; Environmental Performance Indicators GRI, Multiple Case Study, Environmental Performance Evaluation; innovation; Eco-innovation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Digestão anaeróbia de material orgânico	19
Figura 2 – Vistas gerais de uma lagoa de estabilização: a) sem cobertura e combustão espontânea b) lagoa coberta com PEAD	21
Figura 3 – Pirâmide de informações	23
Figura 4 - Localização das indústrias processadoras de mandioca participantes do estudo de casos.....	43
Figura 5 - Lagoas de estabilização de tratamento de efluentes coberta com PEAD e com mangueiras aparentes para captação do biogás.....	47
Figura 6 – Lagoas de estabilização de tratamento de efluentes coberta com PEAD e com mangueiras enterradas para captação do biogás.....	48
Figura 7 – Ventilador para exaustão do biogás produzido na lagoa de estabilização anaeróbia da fecularia.....	49
Figura 8 – Recipiente de queima de combustível para alimentar a caldeira da fecularia..	50
Figura 9 – Valas para retenção de sedimentos de efluentes de fecularia.....	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Indicadores de desempenho GRI na esfera econômica.....	31
Quadro 2 – Indicadores de desempenho GRI na esfera ambiental.....	31
Quadro 3 – Indicadores de desempenho GRI na esfera social.....	32
Quadro 4 - Fontes de obtenção de evidência nas pesquisas conforme metodologia de estudo de casos.....	38
Quadro 5 – Indicadores de desempenho ambiental GRI selecionados.....	52
Quadro 6 – Critérios e conteúdos dos indicadores GRI de desempenho ambiental	53
Quadro 7 – Fonte de informações dos indicadores selecionados	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais características dos substratos contidos em águas residuárias de fécula de mandioca	15
Tabela 2 – Consumo de lenha ou cavaco de lenha por caso de estudo – Indicador EN1 (Materiais usados por massa e volume).....	62
Tabela 3 – Energia derivada de lenha e cavaco de lenha consumida por empresa por unidade de produção – indicador EN3.....	64
Tabela 4 – Energia derivada de lenha e cavaco de lenha economizada por empresa por unidade de produção com a recuperação e utilização do biogás produzido nas lagoas de estabilização – indicador EN5	66
Tabela 5 – Geração média de biogás e percentual de metano por caso estudado – Indicador EN16.....	67
Tabela 6 – Geração média de CH₄ e emissões de CO_{2e} evitadas com a queima do gás.....	68
Tabela 7 – Concentração de H₂S, tempo de exposição e Efeitos.....	69
Tabela 8 – Valores de H₂S mensurados no biogás gerado pelas lagoas de estabilização – Indicador EN20.....	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAM	Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COT	Carbono Orgânico Total
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETE	Estação de Tratamento de Efluente
FAO	Food and Agriculture Organization
GeAS	Gestão Ambiental e Sustentabilidade
GEE	Gás de Efeito Estufa
GPS	Global Positioning System
GRI	Global Reporting Initiative
HAP	Hazardous Air Pollutants
IES	Instituto de Ensino Superior
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OD	Oxigênio Dissolvido
ONU	Organização das Nações Unidas
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
POP	Poluente Orgânico Persistente
PTI	Parque Tecnológico de Itaipu
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
TRH	Tempo de Retenção Hídrica
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VOC	Volatile Organic Compounds

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	5
1.2 OBJETIVO	5
1.2.1 Objetivos específicos	6
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	6
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	8
2.1 A ORIGEM E AS CARACTERÍSTICAS DA MANDIOCA.....	8
2.2 A INDÚSTRIA DA MANDIOCA	10
2.2.1 O processo produtivo das fecularias de mandioca	11
2.2.2 Aspectos e impactos ambientais associados às fecularias de mandioca.....	13
2.2.3 Tratamento de efluentes por processos anaeróbicos nas fecularias de mandioca	14
2.2.4 A biodigestão como tecnologia ambiental e a produção de metano.....	16
2.2.5 Biogás resultante do tratamento de efluentes em lagoas de estabilização anaeróbicas.....	18
2.3 INDICADORES DE DESEMPENHO AMBIENTAL	22
2.3.1 Indicadores de poluição hídrica com matéria orgânica	25
2.3.2 Indicadores de emissões atmosféricas para biodigestores de fecularias de mandioca	27
2.4 DIRETRIZES GRI PARA INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE	29
2.4.1 Indicadores de sustentabilidade segundo as diretrizes GRI.....	30
3 MÉTODO.....	34
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	35
3.2 DEFINIÇÃO DAS EMPRESAS PESQUISADAS E A ESTRUTURA DO PROJETO	39
3.3 COLETA DE DADOS	39
3.3.4 Artefatos utilizados na pesquisa	40
3.4 ESCOLHA DOS INDICADORES GRI PARA APLICAÇÃO NA AVALIAÇÃO AMBIENTAL.....	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS EMPRESAS ESTUDADAS	43
4.1.1 Amidonaria C. Vale – unidade Assis Chateaubriand	44
4.1.2 Amidos Pasquini.....	45
4.1.3 Alimentos do Zé	45
4.2 BIODIGESTORES DESENVOLVIDOS PELA EMPRESA PLANOTEC	46
4.2 INDICADORES AMBIENTAIS SELECIONADOS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL.....	52
4.3.1 Materiais usados por massa ou volume (EN1)	55
4.3.2 Consumo de energia direta e economizada por melhoria de processos (EN3 e EN5)	55
4.3.3 Total de água retirado por fonte (EN8)	57
4.3.4 Total de emissões diretas e indiretas de gases causadores do efeito estufa por massa (EN16 e EN18).....	57
4.3.5 Outras emissões atmosféricas (EN20).....	58
4.3.6 Descarte total de água por qualidade e destinação (EN21)	59
4.3 AVALIAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS INDICADORES POR EMPRESA.....	59
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
REFERÊNCIAS	78
ANEXO I: RELATÓRIO EMITIDO PELA PLANOTEC COM OS DADOS COLHIDOS NAS EMPRESAS PARTICPANTES DA PESQUISA	84
ANEXO II: INDICADORES DE DESEMPENHO GRI NA ESFERA AMBIENTAL	89
APÊNDICE I: ROTEIRO DE ENTREVISTA	90

1 INTRODUÇÃO

A mandioca e seus derivados, como a fécula e a farinha, são produtos de destacada importância econômica e cultural no Brasil. É um produto consumido desde os tempos pré-colombianos, antes da chegada dos portugueses no século XV, pois os indígenas já o cultivavam e faziam uso da mandioca (OTSUBO; LORENZI, 2004). As novas culturas que afloraram após o início da colonização portuguesa, com as ondas de imigrações europeias e o tráfico de escravos africanos, absorveram o hábito de se fazer uso do produto. Segundo Souza e Fialho (2003), o Brasil ocupa a posição de segundo maior produtor mundial, com importância significativa na alimentação da população, seja para consumo *in natura*, seja para seus derivados como a farinha e a fécula, ou ainda para alimentação de animais criados com o objetivo de produção de alimentos à base de carne.

A mandioca é muito apreciada na culinária brasileira por todo o país, principalmente nas formas cozida ou frita. É uma importante fonte nutricional, pois, por se adaptar às condições climáticas e ambientais de praticamente todo o país, tornou-se um produto de subsistência de destaque nos meios rurais. Além de ser cultivada para utilização *in natura*, a sua produção também dá início a uma importante cadeia produtiva agroindustrial. Ela entra como insumo nas produções de farinha e fécula de mandioca. Essa cadeia produtiva gera mais de um milhão de empregos diretos, sendo a maior parte em atividades de cultivo da mandioca, onde 85% são provenientes da agricultura familiar. A produção nacional de mandioca supera os 20 milhões de toneladas, gerando receita bruta anual na faixa de dois bilhões e meio de dólares, com contribuição tributária em torno de cento e cinquenta milhões de dólares (BRASIL SEM MISÉRIA, 2013; ESPM; SEBRAE, 2008; SOUZA; FIALHO, 2003).

Na cadeia da mandioca, desde a colheita até os diferentes processamentos, são gerados aspectos ambientais potenciais causadores de impactos. Dentre estes, destacam-se diferentes resíduos que podem ser tóxicos ao meio ambiente, caso sejam emitidos sem os devidos tratamentos. Esses processos produtivos também são caracterizados por serem grandes consumidores de água e energia. (CASSONI; CEREDA, 2011; COLIN *et al.*, 2007).

Um importante subproduto desta cadeia é a fécula, que é uma substância farinácea composta de grãos que se extrai das sementes e órgãos vegetais subterrâneos como a mandioca e a batata. Seu uso é variado, destacando-se a indústria alimentícia, a indústria química e de transformação. Ela pode ser usada para fabricação de polvilho pelo processo de fermentação ou, quando modificada, a fécula de mandioca pode virar insumo nos produtos pré-gelatinizados (pudins, sorvetes, gelatinas entre outros), na produção de glucose (xarope),

vitamina C, plásticos biodegradáveis, adoçantes, entre outros subprodutos. A fécula *in natura* é um importante material básico na produção de várias cadeias produtivas industriais como a de papel, de papinhas de bebês, álcool, fermento químico, goma para tecidos e ainda para alimentos como tapioca e sagu (ESPM; SEBRAE, 2008).

Na produção da fécula, em uma de suas primeiras etapas, são realizados os processos de lavagem e descascamento, para depois passar pela ralação e prensagem da mandioca. Essas fases geram grandes quantidades de resíduos, inclusive a manipueira. Segundo Oliveira, Ide e Paulo (2005, p. 1), a manipueira é “a água resultante da prensagem da massa ralada em farinheiras ou a água resultante da extração da fécula, que carrega a maioria dos solúveis presentes nas raízes incluindo a linamarina”. Para Barana e Cereda (2000), a manipueira é um dos resíduos mais problemáticos dos processos das fecularias, por possuir elevadas cargas de poluentes.

Esses resíduos, em muitos casos, são tratados em lagoas de estabilização. Isso é possível pelo fato de estarem diluídos nos efluentes resultantes dos processos de lavagem, descascamento e prensagem. Essas lagoas, na maioria dos casos, não possuem sistemas de aeração, muito comum em estações de tratamento de efluentes (ETE's) e que aceleram o processo de biodecomposição dos compostos orgânicos, uma vez que o metabolismo das bactérias aeróbias é mais rápido que das anaeróbias. A aeração das lagoas é um processo que visa manter o nível de oxigênio no meio, e requer equipamentos que demandam investimento e consumo de energia. Dessa forma, o tratamento do efluente ocorre principalmente de forma anaeróbia nas indústrias processadoras de mandioca. Esse sistema de tratamento de efluentes é também conhecido como sistema de biodigestor anaeróbio.

O processo de tratamento de efluentes de fecularias por meio de biodigestores anaeróbios tem, como um de seus aspectos ambientais, a geração de biogás. Os principais constituintes do biogás são o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2). O biogás tem características inflamáveis devido à presença do CH_4 e por isso traz a potencialidade de, ao entrar em combustão, gerar calor que pode ser aproveitado na geração de energia. Essa energia, por sua vez, pode ser reaproveitada nos processos produtivos das próprias fecularias. Para isso, algumas agroindústrias do estado do Paraná receberam a instalação de coberturas nas lagoas de tratamento de efluentes, compostas por geomembranas de polietileno de alta densidade (PEAD). Com esse sistema, é possível canalizar o biogás para possibilitar seu aproveitamento energético. É comum as fecularias de mandioca se utilizarem de lenha como combustível para aquecimento de caldeiras e, nesse caso, o biogás é utilizado em substituição à lenha.

Dessa forma, observam-se dois potenciais benefícios: o econômico, devido ao aproveitamento energético, gerando economia na compra de lenha; e o ambiental, uma vez que ao se queimar o CH₄, mitigam-se os impactos ambientais em relação às emissões de CO₂ equivalente, devido ao fato do CH₄ ser 21 vezes mais poluente que o CO₂ para efeitos de aquecimento global (IPCC, 2007). A economia de consumo de lenha também pode trazer outros benefícios ambientais, como o de conservação de recursos e menores emissões atmosféricas, principalmente em relação ao material particulado.

É de grande importância o entendimento, em nível científico, dos impactos ambientais ocasionados pelas atividades agroindustriais, sejam de características negativas ou positivas. Apesar de o Brasil ser um dos principais produtores de mandioca do mundo, os estudos que analisam aspectos relativos ao tema da sustentabilidade são escassos, porém de importância a ser considerada. No caso das atividades estudadas pelo projeto “EcoInovação: Um estudo para implementação de uma tecnologia aplicada a biodigestores com desempenho ambiental e econômico”, apresenta-se a necessidade de análise da variável ambiental no emprego desse tipo de tecnologia em feccularias.

Dentre os principais aspectos ambientais relacionados aos processos produtivos dessa atividade, está a geração de resíduos presentes nos efluentes com alta carga orgânica. O tratamento antes da emissão desses efluentes é requisito legal. Já as emissões ocasionadas pelo biogás das lagoas de estabilização usadas nos processos de tratamento não possui tratamento legal, exceção feita a casos relacionados a incômodos da vizinhança por mau odor. Uma vez que esse gás tem alto potencial poluente quanto ao efeito estufa, adicionando ao fato de ser desperdício econômico emiti-lo sem aproveitamento energético, presume-se que uma tecnologia que mitigue esses pontos negativos seja altamente benéfica do ponto de vista econômico e ambiental, sendo também, por consequência, socialmente justa.

Pela contemporaneidade da tecnologia de aproveitamento do biogás nas feccularias e farinheiras de mandioca no Brasil, justifica-se avaliar seus impactos ambientais e econômicos, positivos e negativos, possibilitando, dessa forma, melhor entendimento a respeito da melhoria nos processos produtivos e, em caso afirmativo, de quanto foi essa melhoria.

Observa-se a importância de efetuar levantamento dos aspectos ambientais relativos às etapas de tratamento de efluentes de feccularias de mandiocas por biodigestores, assim como seus impactos ambientais. Trata-se principalmente, de avaliar o quanto uma inovação tecnológica, como é o caso dos sistemas de biodigestores com cobertura de lagoas de estabilização, pode ser considerada uma ecoInovação, em termos de benefícios ambientais aportados por ela.

É destacada a importância que o processo inovativo tem para o desenvolvimento sustentável, principalmente em relação à dimensão ambiental. Também conhecido como inovação tecnológica ambiental, ecoinovação é um termo que surgiu na publicação “*Driving Eco-Innovation: A Breakthrough Discipline for Innovation and Sustainability*” (FUSSLER; JAMES, 1996). Segundo os autores, ecoinovação aplica-se a produtos e processos novos que agregam valor ao cliente e aos negócios, diminuindo significativamente os impactos ambientais.

Com o tempo, a conceituação sobre ecoinovação foi se expandindo e, com trabalhos como o de Kemp e Foxon (2007), buscou-se atribuir ao termo não somente as iniciativas que buscam reduzir danos ambientais. Os autores apresentam ecoinovação como a produção, aplicação ou utilização de um bem, serviço, processo produtivo, estrutura organizacional ou métodos gerenciais que são novos para a organização ou usuário. O resultado é que, no seu ciclo de vida, ocorra redução de riscos ambientais, poluição e impactos negativos do uso de recursos, inclusive energia, quando comparados com as alternativas relevantes.

De acordo com Rundquist e Halila (2011), ecoinovação tem a mesma definição de outros conceitos usados, como inovação ambiental, inovação verde ou inovação sustentável. Esses existem para se referirem às novidades que colaboram para um desempenho ambientalmente melhor, que ocorre por meio de melhorias ecológicas colocadas em prática em produtos e processos.

Mas como avaliar se um processo novo em determinada organização pode ser chamado de ecoinovação? Após o entendimento dos conceitos relativos à inovação e desempenho ambiental mais sustentável, é necessário avaliar se o processo ou produto é realmente novo para a empresa ou usuário e se, depois de instituído, teve bons resultados sob a perspectiva da variável ambiental.

É recente o uso da tecnologia de aproveitamento energético a partir do biogás nas fecularias e farinheiras de mandioca. Percebe-se, portanto, a importância da avaliação qualitativa e quantitativa dos benefícios técnicos, econômicos e ambientais nessa cadeia produtiva, assim como sinalizar as potencialidades de usos similares nas cadeias agroindustriais. Dentro deste contexto, têm-se a seguinte questão de pesquisa: que vantagens e desvantagens a tecnologia de aproveitamento de biogás traz do ponto de vista ambiental e como caracterizá-los e avaliá-los? Dentro dessa perspectiva, o presente trabalho tem como finalidade avaliar os benefícios ambientais e as restrições associadas ao aproveitamento energético de biogás em indústrias processadoras de mandioca. Para isso, utiliza-se da metodologia de estudo de casos múltiplos, com aplicação de uso de indicadores baseados na

metodologia de relatórios de sustentabilidade da organização internacional Global Reporting Initiative (GRI). Com as informações coletadas e aplicadas aos indicadores ambientais selecionados, procura-se avaliar o desempenho ambiental da tecnologia, possibilitando uma análise dos resultados obtidos do desempenho na dimensão ambiental do desenvolvimento sustentável.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Alunos do curso de pós-graduação da Universidade Nove de Julho em gestão de projetos, buscando iniciativas de inovações tecnológicas na área ambiental, iniciaram contatos com uma empresa de engenharia do estado do Paraná que desenvolveu um sistema de captação e aproveitamento de biogás. Esse sistema foi desenhado e posto em prática em algumas indústrias produtoras de farinha e fécula de mandioca. Observou-se que, a partir de uma ideia simples, o projeto trouxe, à primeira vista, ganhos econômicos e ambientais, pois mitigou emissões atmosféricas e reduziu o consumo de lenha e cavaco como combustível.

A partir disso, desenvolveu-se um projeto multidisciplinar dentro da área de Administração para estudar o sistema, de forma a explorar os ganhos decorrentes da inovação, por meio de pesquisas que pudessem divulgar, fomentar e, se possível, indicar melhorias de progresso no uso do sistema.

O projeto foi submetido ao programa Pró-estratégia do Governo Federal, o qual promove o incentivo à pesquisa de Institutos de Ensino Superior (IES) juntamente com outras instituições de pesquisa e com a iniciativa privada (CAPES, 2013). O projeto foi batizado de “EcoInovação: um estudo para implementação de uma tecnologia aplicada a biodigestores com desempenho ambiental e econômico”.

Em relação ao viés ambiental da proposta do projeto nasceu a presente pesquisa. O problema que o trabalho pretende elucidar é em relação a verificar se, de fato, pode-se considerar a instalação dos sistemas biodigestores como um exemplo de ecoinovação no setor agroindustrial brasileiro. Para isso, a pesquisa persegue o desafio de encontrar e aplicar um método para mensurar o desempenho ambiental da tecnologia.

1.2 OBJETIVO

Avaliar o desempenho ambiental da tecnologia de aproveitamento energético de biogás em lagoas de tratamento de efluentes em fecularias e farinheiras de mandioca.

1.2.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) Analisar os aspectos e impactos ambientais de consumo de materiais e emissões atmosféricas e de efluentes, com relação aos processos e produtos resultantes do tratamento de efluentes em lagoas de estabilização das feculárias estudadas.
- b) Analisar, de forma comparativa, o desempenho ambiental de três indústrias processadoras de mandioca estudadas.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado da seguinte forma: introdução apresentando a justificativa e os objetivos da pesquisa.

O capítulo dois apresenta a fundamentação teórica, abordando sobre a mandioca e as indústrias processadoras desse produto, com foco em seus aspectos ambientais, principalmente aqueles relacionados às emissões atmosféricas e efluentes. Na revisão bibliográfica que esse capítulo transcreve, é apresentada também pesquisas sobre biodigestores, biogás e indicadores de desempenho ambiental.

O capítulo três transcorre com o delineamento metodológico da presente pesquisa. Apresenta os métodos aplicados e referenciais teóricos sobre eles, descrição dos casos estudados, procedimentos para escolha dos mesmos e de coleta de dados. O capítulo se encerra com o método de avaliação ambiental com o uso de indicadores de desempenho utilizados na pesquisa.

O capítulo quatro apresenta os resultados e discussões da pesquisa. Inicialmente traz as três empresas selecionadas para participarem como casos de estudo. Em sequência, apresenta os indicadores selecionados pelo trabalho, com o objetivo de serem utilizados como ferramenta de suporte para avaliação ambiental na inovação, cujo propósito é o de proporcionar o aproveitamento energético do biogás gerado em biodigestores de efluentes de indústrias processadoras de mandioca. No decorrer do capítulo, cada indicador é apresentado juntamente com os seus atributos (valores apurados durante a pesquisa). Esses valores são comentados e comparados dos pontos de vista de desempenho antes e depois do

aproveitamento do biogás nas caldeiras em cada indústria e entre as empresas. O foco na avaliação do desempenho é baseado no viés ambiental da sustentabilidade.

O último capítulo, de número cinco, encerra a presente pesquisa apresentando as considerações finais, tendo na sequência a lista das referências bibliográficas, anexos e apêndice mencionados nos textos do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Inicialmente, o presente trabalho aborda pesquisas sobre a mandioca e sua indústria, que é a principal matéria-prima que abastece as empresas que são estudadas. Além de suas origens e características, descreve um pouco sobre a indústria processadora da mandioca, com foco nas farinheiras e fecularias. Os aspectos ambientais relacionados a esses ramos de atividade também é objeto da pesquisa bibliográfica do capítulo.

Em sequência, a fundamentação teórica traz abordagens sobre os processos de tratamento de efluentes da atividade, com foco em lagoas de estabilização anaeróbias e geração de biogás. Após apresentar as principais características desse gás, o referencial entra com teorias sobre indicadores de desempenho ambiental, com detalhamento sobre indicadores de efluentes e emissões atmosféricas.

O capítulo encerra-se com as diretrizes GRI para elaboração de indicadores de sustentabilidade, uma vez que elas fazem parte como uma das ferramentas utilizadas na presente pesquisa.

2.1 A ORIGEM E AS CARACTERÍSTICAS DA MANDIOCA

O gênero da planta conhecida como mandioca é o *Manihot* (Euphorbiaceae). Tem origem na região neotropical e possui 98 espécies, com variações que vão de herbáceas a arbustos (CARVALHO, 2005). A espécie mais conhecida, aquela que é cultivada para fins comerciais, é a *Manihot esculenta* Crantz (ESPM; SEBRAE, 2008). Segundo Carvalho (2005), a espécie tem origem nas regiões de transição entre o cerrado e a floresta amazônica, nas cercanias das fronteiras entre o Brasil e o Peru. Alguns estudos, porém, trazem outras versões para a origem da mandioca, como os Andes no Peru e o continente africano (ESPM; SEBRAE, 2008).

O seu cultivo é feito no Brasil desde antes do descobrimento do país pelos europeus, pois quando os portugueses aqui chegaram, os indígenas já dominavam o plantio para fins alimentícios. Com a chegada dos povos da Europa no continente americano, esses carregaram a planta em suas viagens e a disseminaram para outras partes do planeta (OTSUBO; LORENZI, 2004). Segundo os autores, o cultivo hoje é bastante disseminado principalmente na Ásia e na África, sendo que esse último responde por mais da metade da produção mundial (53%), seguido pela Ásia (28%) e Américas (18%), sendo o Brasil o maior produtor do continente e segundo no mundo, atrás apenas da Nigéria.

Para sua produção, o clima mais favorável é aquele com médias de temperaturas anuais entre 20 e 27 °C, com variação pluviométrica entre 1.000 e 1.500 mm/ano (faixa mais adequada). Porém, pode ser cultivada em regiões tropicais com alto volume de chuvas e também em regiões semiáridas (OTSUBO; LORENZI, 2004). A mandioca mantém uma maior produtividade quando cultivada sob exposição direta do sol, e não sobrevive em regiões sujeitas a congelamento ou alagamento do solo (ESPM; SEBRAE, 2008).

O solo é um elemento de fundamental atenção, uma vez que o principal produto utilizado da planta são as raízes. Para um bom crescimento e desenvolvimento dos tubérculos, é importante um solo mais solto (friável). Aqueles mais arenosos, com maior permeabilidade e drenagem são ideais, enquanto os mais argilosos e compactados os menos indicados (OTSUBO; LORENZI, 2004).

Respeitando-se os requisitos mínimos de clima e solo para sua produção, a planta se adapta bem a certas condições ambientais mais severas, como estiagem e aridez. Isso faz dessa planta uma importante fonte de carboidratos em regiões como o Nordeste brasileiro (ESPM; SEBRAE, 2008). É uma cultura também conhecida como “rústica” ou de “quintal”, sendo historicamente muito utilizada na agricultura de subsistência e na produção por pequeno produtor rural, que vende sua produção no mercado local. É, portanto, um produto de grande importância nas pequenas economias locais em lugares interioranos do país.

De um modo geral, as mandiocas cultivadas possuem uma classificação popularmente conhecida como “mandiocas bravas” ou “mandiocas doces ou mansas” (ESPM; SEBRAE, 2008). Essas últimas também são chamadas de variedades de mesa e sua produção na maior parte se destina ao consumo *in natura*, para cozimento ou fritura. Já as chamadas “mandiocas bravas” possuem um sabor amargo, altas concentração de cianogênicos, que a tornam extremamente tóxicas para consumo direto. Porém, elas são do tipo mais indicado para a produção de farinha e fécula em escala industrial, isso porque apresentam maior concentração de amido em relação às variedades de mesa. O ácido cianídrico, que se apresenta em níveis elevados, é eliminado pelos processos produtivos utilizados nas produções de farinha e fécula (ESPM; SEBRAE, 2008).

Apesar das regiões Norte e Nordeste serem os maiores destaques quando se fala em valores absolutos de produção de mandioca no Brasil, é no Sul e Sudeste que se encontram as maiores taxas de produtividade por hectare. O estado do Paraná se destaca principalmente pelas fecularias, tanto por ter uma boa produtividade, como por arranjos produtivos locais, principalmente na região do município de Paranaíba, que concentra milhares de produtores e dezenas de indústrias farinheiras e fecularias de mandioca. O estado de São Paulo se destaca

com a maior produtividade (23,2 toneladas/ha), enquanto o Paraná tem a segunda posição (21,4 toneladas/ha) (ESPM; SEBRAE, 2008).

2.2 A INDÚSTRIA DA MANDIOCA

Um dos principais produtos derivado da mandioca “amarga” é a fécula. A palavra fécula só existe nas línguas portuguesa e francesa (CEREDA, 2005). Segundo a autora, em espanhol e inglês a palavra utilizada é somente amido. Portanto, fécula é sinônimo de amido porém, em português, se distinguem o amido proveniente de plantas que o produzem no subsolo, como é o caso da mandioca, daquele produzido acima do solo, como o de milho.

A *Food and Agriculture Organization* (FAO), entidade ligada às Organizações das Nações Unidas (ONU), demonstra, em estudo realizado com Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), que a fécula é um excelente produto, o qual promove uma grande oportunidade para se agregar valor às cadeias produtivas de mandioca nos países em desenvolvimento, dada às inúmeras oportunidades de uso que proporcionam como matéria-prima para a indústria (FAO, 2006).

Na indústria alimentícia, a fécula de mandioca é amplamente utilizada como matéria-prima para massas em geral, molhos, sopas, pudins, sorvetes, embutidos, pães de queijo, comidas de bebês, bebidas alcoólicas, entre outras (ESPM; SEBRAE, 2008). Particularmente, a fécula produzida a partir da mandioca, em alguns casos, se torna mais especial, como cita Cereda (2005), “sopas tipo creme, translúcidas, e com muito corpo, só serão obtidas com fécula de mandioca”. Outra característica importante é que ela não contém glúten. Essa é uma substância que, em alguns casos, quando ingerida por pessoas com alta sensibilidade ao mesmo, devido a predisposições genéticas, pode causar a doença celíaca. É uma enteropatia autoimune, que pode causar inflamação crônica da mucosa e submucosa do intestino delgado, chegando a atingir entre 1 e 2% da população (NOBRE; SILVA; CABRAL, 2007). A fécula de mandioca ainda tem a característica de ter um custo mais baixo no mercado brasileiro que outros tipos de amido, como por exemplo, o de milho (ESPM; SEBRAE, 2008).

Outras aplicações industriais também utilizam a matéria-prima fécula de mandioca. Podemos destacar o álcool que, por ser inodor e insípido (sem sabor), o torna um ótimo insumo para a indústria de perfumes. Outro uso importante destacado por Leonel (2007) é nas indústrias de papel, de mineração e têxtil.

Com tantas aplicações na indústria de transformação, a demanda pelo produto fécula de mandioca está em expansão tanto no mercado interno brasileiro como a para exportação.

De acordo com a Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca (ABAM), o Brasil tem atraído gigantescas multinacionais que exportam a fécula de mandioca brasileira para todos os continentes (ABAM, 2013).

2.2.1 O processo produtivo das fecularias de mandioca

A produção da fécula de mandioca segue normalmente oito etapas básicas, conforme relatam Matsuura, Folegatti e Sarmiento (2003): recepção, lavagem, descascamento, ralação, extração de fécula, secagem, moagem, acondicionamento e armazenamento.

Ainda antes das fronteiras das empresas produtoras de fécula de mandioca, é importante destacar a colheita e o transporte da mandioca. Após a colheita ser efetuada, os caules são eliminados e a mandioca deve ser transportada em, no máximo, vinte e quatro horas, evitando-se assim o início da degradação do produto devido ao início da ação de micro-organismos nos vegetais (ABAM, 2013).

Na fecularia ocorre a recepção das mandiocas, onde a primeira providência é a pesagem das raízes, seguido do descarregamento e encaminhamento aos depósitos. Dessas, as mandiocas seguem para os lavadores, os quais normalmente já são projetados para que, simultaneamente, processem a lavagem e o descascamento. Esse descascamento ocorre pela raspagem da mandioca, a qual tem a função de retirar somente a pele. No final dessa etapa, é feita a classificação e a inspeção em esteiras que direcionam os produtos para as etapas de trituração e remoção de resíduos, como pedras. A trituração permite padronizar as raízes em tamanho que varia entre dois e três centímetros (ABAM, 2013).

A ralação, também conhecida como desintegração, tem como objetivo o rompimento celular das raízes, o qual gera a liberação do amido. Isso, segundo ABAM (2013), ocorre por meio do contato direto das raízes trituradas com um cilindro rotativo, o qual possui lâminas na superfície. Essas lâminas são dentadas proporcionando a ralação da mandioca e produzindo uma massa que é bombeada para peneiras cônicas rotativas.

Nessas peneiras acontece a extração da fécula, segregando o amido das fibras da mandioca. A fécula é, portanto, separada e encaminhada para a purificação. Como resíduo dessa etapa é gerado uma polpa contendo principalmente as fibras da mandioca. Esse resíduo, que já está diluído em água, é canalizado diretamente para as lagoas de estabilização.

A fécula está agora concentrada em um líquido leitoso e é necessário purificá-lo. Para isso ocorrer, é acrescentada água e encaminhado a uma centrífuga que proporcionará a extração das partículas estranhas e do amido solúvel. Esse processo possibilita a melhora da

qualidade do produto, possibilitando se obter uma maior concentração da fécula numa densidade que varia de 20 a 22 graus Baumé (ABAM, 2013). Segundo Schwengber, Schiedeck e Gonçalves (2007) a escala de densidade Baumé (Be) é utilizada para medir a quantidade de materiais sólidos dispersos na solução.

A próxima etapa é a filtração. Para isso, bombeia-se a fécula concentrada para um desidratador a vácuo. Segundo ABAM (2013), esse equipamento consiste em uma “uma tela cilíndrica, perfurada e coberta por tecidos, removível a cada oito horas em média”. Ao término do processo, a fécula fica com uma umidade em torno de 45%.

Na última etapa de produção da fécula de mandioca é feita a secagem. Essa consiste em um processo que permite ao produto final ter uma umidade em torno de 12 a 13%. Para que isso ocorra, a fécula recém-saída do desidratador é conduzida para um secador pneumático, onde uma corrente de ar quente que atinge até 150 °C proporciona a secagem do produto. A fécula é então transportada para ensacadeiras e acondicionada em embalagens que normalmente variam entre 10, 25 e 50 kg que podem ser armazenadas para serem vendidas aos clientes.

Durante os processos de lavagem e extração da fécula são gerados os principais efluentes. Conforme Alves e Vedovoto (2003), parte desses, muitas vezes, são reaproveitados no processo de lavagem inicial das mandiocas. Porém, quando o efluente se torna um residual, sem poder ser reaproveitado, ele precisa ser tratado antes de ser despejado em cursos d’água ou no solo. O resultado do tratamento pode gerar adubo orgânico e biogás, que tem poder de valorização comercial, seja para uso dentro do próprio processo produtivo ou para venda. O trabalho de Felipe, Rizato e Wandalsen (2009) apontam a grande potencialidade de utilização dos resíduos de fecularia de mandioca para geração de energia.

Com o objetivo de aproveitamento e utilização do biogás, algumas fecularias e farinheiras do estado do Paraná receberam a instalação de sistemas biodigestores, os quais canalizam esse gás gerado nas lagoas diretamente para queimá-lo em caldeiras, em substituição à lenha. Essa iniciativa inovou o processo e trouxe benefícios econômicos e ambientais ao mesmo. No item seguinte, são abordados conceitos sobre aspectos e impactos ambientais e os principais destaques em relação às indústrias estudadas.

2.2.2 Aspectos e impactos ambientais associados às fecularias de mandioca

Conforme define a norma ISO 14001:2004, aspecto ambiental é todo “elemento das atividades ou produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente” (ABNT, 2004). Segundo Barbieri (2007), eles podem ser resultados de usos de matéria-prima, água, energia, entre outros recursos demandados pelos processos produtivos. Podem, ainda, ser decorrentes dos resíduos desse mesmo processo. O autor define o “aspecto ambiental como a causa e o impacto ambiental o efeito”. Ou seja, impacto ambiental é o resultado maléfico ou benéfico causado pelo aspecto ambiental de determinado processo produtivo. A definição de impacto ambiental, segundo a norma ISO 14001:2004 é “qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, em todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização” ABNT (2004).

A literatura recomenda que a organização que deseje ter um bom desempenho ambiental, tenha um bom sistema de gestão ambiental (SGA). Segundo Barbieri (2007), um SGA requer a formulação de diretrizes, definição de objetivos, coordenação de atividades e monitoramento de resultados. Seiffert (2010) apresenta a identificação de aspectos ambientais associados a atividades, processos e produtos da organização, como uma das fases mais importantes na elaboração do SGA. Isso pode ser facilmente entendido pois, quando se pensa em gestão, a definição do escopo do que se pretende administrar é essencial, uma vez que, para cuidar bem de algo, é necessário primeiramente saber do que devemos cuidar. Até para organizações que não pretendam implantar um SGA, é fundamental pelo menos ter o objetivo de manter-se dentro dos parâmetros mínimos de desempenho ambiental quanto aos requisitos legais.

Nesse sentido, as atividades de levantamento dos aspectos e impactos ambientais, assim como suas prioridades por grau de relevância, se faz importante. Numa atividade de fecularia de mandioca, o aspecto de geração de resíduos aparece como um dos destaques, pois, como contém ácido cianídrico, que é tóxico, tem grande potencial de impacto altamente negativo (FELIPE, RIZATO e WANDALSEN, 2009). Com o objetivo de mitigar os impactos, esse tipo de atividade trata esses resíduos pelo uso de lagoas de estabilização, de onde são emitidos como efluentes.

Cunico, Cirani e Souza (2012) fizeram uma pesquisa em três fecularias e, ao analisarem as informações levantadas, observaram que essas indústrias, aos poucos, vem se preocupando em entender e gerenciar seus aspectos e impactos ambientais. Dessa forma, vem

buscando o uso de práticas tecnológicas que suportem suas operações de forma a atender a legislação ambiental, principalmente em relação aos resíduos gerados.

Conforme Campos et al. (2006), os principais resíduos gerados nos processos de industrialização de mandioca são as partes lenhosas e deterioradas das raízes, a crueira (fragmentos da mandioca ralada que não passam pelas malhas da peneira), bagaços, resíduos líquidos da água de lavagem das raízes e manipueira. Essa última se destaca por ser a mais problemática, tendo elevada concentração de poluentes de efeitos tóxicos. Segundo o artigo dos autores, o estado do Paraná, em sua região oeste, enfrenta problemas ambientais por esse tipo de impacto.

De acordo com o trabalho de Pinto e Cabello (2011), ainda é prática comum o despejo de efluentes da indústria de mandioca sem tratamento. Porém, devido à fiscalização dos órgãos ambientais, tais indústrias estão cada vez mais se preocupando em adaptar seus processos para reduzir a quantidade de resíduos, assim como tratá-los antes de serem dispostos. Os autores destacam, também, que há pouco investimento em tecnologias novas para tratamento de efluentes nesse tipo de indústria e ressalta que, em alguns casos, o pós-tratamento também é um problema, por não haver disponibilidade de corpos hídricos receptores com capacidade adequada para aquele despejo. A alternativa para essas situações normalmente é a fertirrigação.

Nesse cenário, o tratamento por processos biológicos são os que têm se mostrado mais eficientes, do ponto de vista econômico, pela sua simplicidade. Dentro desses processos, destaca-se o tratamento por meio de lagoas de estabilização utilizando processos anaeróbios para remoção de matéria orgânica.

2.2.3 Tratamento de efluentes por processos anaeróbios nas feculárias de mandioca

Os poluentes orgânicos presentes na fase aquosa, quando despejados nos sistemas hídricos em grandes concentrações, alteram significativamente os aspectos físico-químicos do meio, interferindo de forma grave nas condições ambientais que suportam a biodiversidade nativa daquele meio (CREMONEZ *et al.*, 2001; SANT'ANNA JR, 2010).

Conforme mencionado anteriormente, um dos grandes resíduos do processamento da mandioca é a manipueira, cuja composição evidencia o potencial poluidor desta indústria, em função das concentrações elevadas em termos de demanda química e demanda bioquímica de oxigênio (DQO e DBO) nutriente (nitrogênio e fósforo), substâncias tóxicas (cianetos) e material particulado (sólidos), conforme apresentado na Tabela 1.

Parâmetro	Valor – Intervalo (COLIN <i>et al.</i> , 2007)	Valor (FELDEN, 2001)
pH	3,6 – 6,5	6,8
DQO	4.200 – 7.000 mg L ⁻¹	11.484 mg L ⁻¹
DBO	1.100 – 3.900 mg L ⁻¹	--
Sólidos Totais	2.300 – 6.600 mg L ⁻¹	9.200 mg L ⁻¹
Nitrogênio Total	80 – 150 mg L ⁻¹	420 mg L ⁻¹
Fósforo Total	20 – 35 mg L ⁻¹	74 mg L ⁻¹
Cianeto Total	3 – 5 mg L ⁻¹	19 mg L ⁻¹
Água utilizada/ton de manipueira gerada (m ³)	10 – 14	--

Tabela 1 – Principais características dos substratos contidos em águas residuárias de fécula de mandioca

Fonte: Colin et al. (2007) e Feiden (2001).

Entre os micro-organismos que agem na decomposição orgânica, destacam-se as bactérias, as arqueas (fundamentais nos processos de tratamento anaeróbios), as algas, os fungos, os protozoários, os rotíferos, os nematódeos e os anelídeos. A diversidade microbiana e suas interações são fatores importantes para determinar o sucesso do tratamento biológico (SANT'ANNA JR, 2010).

Os sistemas anaeróbios de tratamento de efluentes se caracterizam por um processo de biodegradação da matéria orgânica que ocorre mais lentamente, quando comparados aos sistemas de tratamento aeróbios. Isso ocorre principalmente porque a velocidade de crescimento de micro-organismos anaeróbios é, de um modo geral, mais lenta do que dos micro-organismos aeróbios (SANT'ANNA JR., 2010). Quando a vazão de efluente a ser tratado é grande, os tratamentos aeróbios são os mais escolhidos como, por exemplo, nos tratamentos de efluentes domésticos em grandes cidades. Para isso, são instalados dispositivos de aeração forçada para garantir a disponibilidade de oxigênio, que é o agente redutor e que permite a degradação das moléculas orgânicas pelos microrganismos aeróbios.

Nos casos das fecularias de mandioca, devido ao alto custo de energia necessária para promover a aeração, a opção normalmente é por processos anaeróbios como sistema de tratamento.

Sant'anna Jr. (2010, p. 25) descreve o processo de metabolização que regula o andamento da biodegradação anaeróbia, que é de mais alta complexidade quando comparada à aeróbia:

No processo de biodegradação estão envolvidos diferentes grupos microbianos [...]. As substâncias orgânicas poluentes são transformadas por via fermentativa, gerando produtos ácidos, que são posteriormente transformados em substâncias orgânicas com um ou dois átomos de carbono (metanol, formiato, gás carbônico e acetato) com geração de hidrogênio. A mais significativa etapa de biodegradação ocorre, entretanto, quando esses compostos são transformados em metano e gás carbônico. Tal etapa, denominada metanogênica, é conduzida por um grupo muito específico de micro-organismos: as arqueas (outrora classificadas como bactérias) hidrogenotróficas e acetotróficas. As arqueas hidrogenotróficas e as bactérias homoacetogênicas (outro tipo microbiano envolvido na biodegradação anaeróbia) utilizam o CO₂ como aceptor de elétrons e realizam a respiração anaeróbia.

O autor ainda descreve um benefício do processo anaeróbio em relação ao aeróbio, que é o fato do primeiro gerar um menor volume de biomassa no final do tratamento. Isso ocorre por causa da menor taxa de crescimento microbiano, gerando menor quantidade de resíduo a ser destinado ou disposto.

Nas fecularias de mandioca, esses processos ocorrem dentro de lagoas. Com disponibilidade de áreas de construção, essas possuem poucas exigências quanto a requisitos de construção (PARIZOTTO, 1999; PARIZOTTO, 2002). São feitas com a escavação em terrenos, necessitando possuir impermeabilização com argila ou manta plástica e as bordas devem ser reforçadas a fim de diminuir riscos de desmoronamento e consequentes vazamentos. Nos casos das lagoas anaeróbias para tratamento de efluentes industriais, o tempo de retenção pode ter uma ampla variação de três a cinquenta dias, de acordo com as características do material orgânico e os aspectos construtivos da lagoa. Quanto à remoção de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), esse tipo de tratamento atinge entre 40% e 70% para efluentes industriais (SANT'ANNA JR., 2010).

2.2.4 A biodigestão como tecnologia ambiental e a produção de metano

O biodigestor é constituído por uma câmara onde ocorre a acumulação de gás. Esse gás é resultado da degradação de matéria orgânica, a qual pode ser constituída por esterco de animais como porcos, gado, galinhas, ovelhas, de excrementos humanos ou de restos vegetais de culturas (SEIXAS et al., 1980). Os materiais orgânicos depositados na câmara são consumidos por bactérias anaeróbias. Esse processo de consumo do material orgânico pelas bactérias anaeróbias resulta no biogás e nos restos digeridos. Os restos digeridos podem ser utilizados na agricultura como composto orgânico de boa qualidade.

No tratamento de água residuária de fecularia de mandioca, o mais comum é utilizar lagoas de estabilização anaeróbias principalmente por uma questão econômica. Nesse processo seria possível a instalação de algum tipo de oxigenação, que aceleraria o tempo da

biodigestão, caracterizando-o como degradação aeróbia (presença de O_2). Um exemplo de oxigenação é a agitação das águas residuárias utilizando-se pás mecânicas. Porém, esse tipo de procedimento torna o processo muito oneroso financeiramente, pois é necessária grande quantidade de energia para se oxigenar as lagoas. Com isso, o mais comum é o despejo dos efluentes nas lagoas, permitindo que a biodecomposição do material orgânico siga pelo processo anaeróbio. Esse sistema é o que mais tem sido utilizado no oeste do estado do Paraná, segundo Campos et al. (2006), pois se adaptou melhor às condições locais.

Para aproveitamento do biogás gerado nas lagoas de estabilização, algumas fecularias estão instalando uma manta que cobre a lagoa. Dessa forma, cria-se um sistema de biodigestor, com a câmara formada por essa cobertura sobre as lagoas.

Alguns fatores influenciam diretamente no processo da biodigestão. O aspecto principal, o qual determinará maior sucesso ou não do biodigestor, é o “balanceamento entre as bactérias que produzem gás metano a partir dos ácidos orgânicos e este, é dado pela carga diária (sólidos voláteis), alcalinidade, pH, temperatura e qualidade do material orgânico, ou seja, da sua operação” (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006, p. 11).

A transformação da biomassa por meio da biodigestão da matéria orgânica em condições anaeróbias em metano é conhecida como biometanização. Há três tipos de biometanizações, que são classificadas de acordo com a temperatura a qual ocorre a biodecomposição dos resíduos orgânicos. Dependendo dessa temperatura, determinados tipos de espécies bacterianas agem na biodecomposição. Os três tipos são (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006; CHERNICHARO, 1997; SANCHEZ et al., 2005):

- a) Termofílica: biometanização que ocorre em temperaturas entre $45^{\circ}C$ e $60^{\circ}C$, com atuação principal das bactérias conhecidas como termófilas. Para se operar um biodigestor nessa faixa, normalmente é necessário o consumo de energia objetivando o aquecimento do equipamento. Por esse motivo ele é pouco comum, pois não se torna economicamente satisfatório;
- b) Mesofílica: biometanização que ocorre em temperaturas entre $20^{\circ}C$ e $45^{\circ}C$, com atuação principal das bactérias conhecidas como mesófilas. É a mais comum a ser utilizadas nos projetos de biodigestores por ter o melhor custo-benefício;
- c) Psicofílica: biometanização que ocorre em temperaturas abaixo de $20^{\circ}C$, com atuação principal das bactérias conhecidas como psicrotróficas. Nessas temperaturas o funcionamento do biodigestor cai consideravelmente em eficiência.

A temperatura de um biodigestor, quando oscila muito, gera uma instabilidade ao processo, uma vez que micro-organismos diferentes começam a entrar em ação ou parar o processo. Portanto, a continuidade da biodigestão e da geração do biogás dependem

diretamente da temperatura ambiente (PARKIN; OWEN, 1986). Em sistemas de biodigestores baseados em lagoas de estabilização isso é ainda mais acentuado, uma vez que o controle artificial térmico do processo, com o emprego de mecanismos de aquecimento, é ainda mais difícil, se comparado a biodigestores com sistemas de caixas fechadas, de menor tamanho.

A qualidade e a quantidade da biomassa depositada no biodigestor também tem influência direta no sistema. A ação dos micro-organismos, quando se desintensifica o fornecimento de matéria orgânica também diminui (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006). Portanto, quando o sistema opera dentro de sistemas em que o processo como um todo depende de matérias-primas sazonais, isso deve ser levado em conta em projetos de biodigestores. Esse é o caso das fecularias de mandioca, pois os biodigestores operam com resíduos orgânicos provenientes de produtos agrícolas, que tem produção mais intensificada em certas épocas do ano e menos em outras. Dessa forma, verifica-se a importância de apuração do desempenho do sistema de biodigestão por um longo período de tempo, abrangendo os diferentes períodos do ano com as variações de volume de produção e de temperatura.

2.2.5 Biogás resultante do tratamento de efluentes em lagoas de estabilização anaeróbicas

O biogás resultante da digestão de material orgânico por micro-organismos anaeróbios já é conhecido pelo homem há muito tempo. Ele acontece no meio natural, como em lagoas onde são gradativamente depositados materiais orgânicos como restos vegetais e animais mortos, processo esse muito característico de regiões pantanosas. Também ocorre em larga escala resultante das atividades produtivas antropogênicas, como os efluentes domésticos e industriais, aterros sanitários, entre outros. O seu potencial energético começou a ser mais amplamente aproveitado, principalmente no meio rural. Segundo Massotti (2005), a China é o país que mais desenvolveu a utilização desse potencial energético, principalmente para cozimento e iluminação doméstica. Menciona ainda que se estima que atinjam oito milhões de unidades de biodigestores com aproveitamento do biogás no país. Aponta, também, que a Índia é outro exemplo de larga utilização e que o Brasil começou a utilizar essa técnica em meados da década de 1970.

Massotti (2005, p. 102) define o biogás da seguinte forma:

É um gás natural resultante da fermentação anaeróbica (na ausência de ar) de dejetos animais, de resíduos vegetais e de lixo industrial ou residencial em condições adequadas de umidade. O biogás é composto basicamente de dois gases, o metano que representa 60-80% da mistura e gás carbônico que representa 40-20% restantes. Outros gases participam em proporções menores, destacando-se o gás sulfídrico que pode chegar a 1,5%. A pureza do biogás é avaliada pela presença de metano. Quanto maior o percentual de metano mais puro é o gás.

Durante a digestão da matéria orgânica, os micro-organismos conseguem garantir o fornecimento de nutrientes e energia para sua reprodução e crescimento (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006). Eles atacam as estruturas complexas de material orgânico, transformando-os em compostos simples como o CO_2 e o CH_4 . Na Figura 1, a seguir, é possível se verificar a sequência, em nível macro, do processo de decomposição de matéria orgânica no processo anaeróbio.

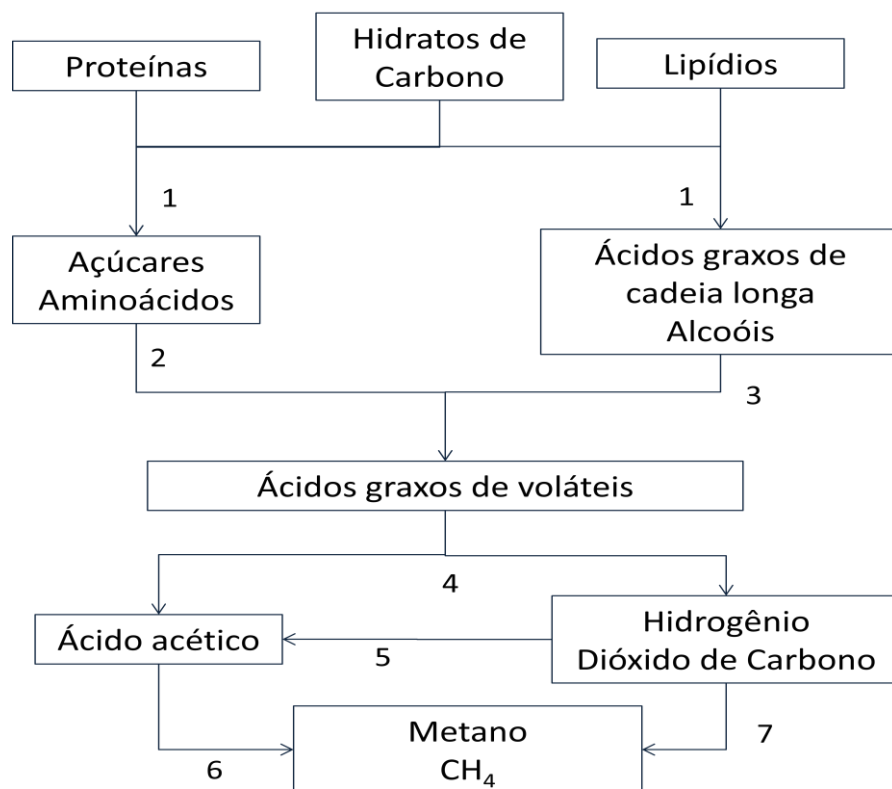


Figura 1 – Digestão anaeróbica de material orgânico

Fonte: Adaptado de Oliveira e Higarashi (2006).

Oliveira e Higarashi (2006, p. 14) descrevem o processo da Figura 1 da seguinte forma:

Os principais passos do processo de digestão anaeróbia: hidrólise de proteínas, lipídios e hidratos de carbono; fermentação de aminoácidos e açúcares; oxidação anaeróbia de ácidos graxos de cadeia longa e alcoóis; oxidação anaeróbia de ácidos graxos voláteis (exceto acético); conversão de CO_2 e H_2 em ácido acético; conversão do acético em CH_4 ; conversão do H_2 em CH_4 .

Esses passos estão presentes em quatro fases. A primeira é denominada de hidrólise, estando representada no passo 1 da Figura 1 e é composta pela ação de bactérias fermentativas. A segunda fase é conhecida como acidogênese, tendo também ação das bactérias fermentativas e está representado na Figura 1 como os passos 2 e 3. Nos passos 4 e 5, ocorre a fase de acetogênese e tem como característica a atuação das bactérias acetogênicas. E por fim, a quarta e última fase, representada na Figura 1 como passos 6 e 7, possui ação das bactérias metanogênicas e a fase é conhecida como metanogênese.

Uma característica importante no CH_4 , principal componente do biogás, é o seu poder de aquecimento molecular, que resulta em alta absorção de radiação solar na atmosfera terrestre. Ele tem um poder 21 vezes maior que o CO_2 como agente de efeito estufa (IPCC, 2007). Portanto, queimá-lo antes de ser liberado na atmosfera, já torna a atividade produtiva menos poluente, mesmo que não se aproveite o seu potencial energético pela liberação de calor.

O aquecimento global provocado pelas atividades antrópicas desponta como uma das maiores ameaças à sustentabilidade. Os seus efeitos podem ser negativos em termos de sustentabilidade ambiental e, em decorrência desses efeitos, espera-se danos também nas dimensões social e econômica em nível global (BARATA, 2007). Dado o alto grau de risco a que se expõe o homem com essa situação, toda ação que venha a mitigar o problema, como diminuir ou eliminar a emissão atmosférica de gás metano dentro dos processos produtivos, traz um indicador de sustentabilidade positivo para a operação.

Conforme publicado pelo Banco Mundial (2010), as emissões de CH_4 , dentro das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE), já representavam 14,3% no ano de 2004. O relatório evidencia, por intermédio de extensa exploração de aspectos econômicos e tecnológicos que, com a incorporação de utilização de energia renovável aos processos produtivos, assim como mitigando as emissões dos gases de longa duração na atmosfera, como é o caso do CH_4 , é possível minimizar as consequências mais devastadoras em função das mudanças climáticas. O grande esforço é para impedir que as temperaturas médias globais se elevem acima de 2°C , porque abaixo desse patamar já se acredita ser inevitável de ser atingido. Para isso, nas próximas décadas, as emissões de GEE precisam diminuir, em nível global na ordem de 50% a 80%.

A Figura 2 mostra imagens do processo de tratamento de águas residuárias de uma fecularia visitada durante a elaboração deste projeto.



Figura 2 – Vistas gerais de uma lagoa de estabilização: a) sem cobertura e combustão espontânea b) lagoa coberta com PEAD

Fonte: Fotos da pesquisa.

Na imagem à esquerda da figura 2, se observa a combustão de gás metano (CH_4) sem utilização de biodigestor e, portanto, todo o potencial poluente desse gás era liberado para a atmosfera. Na imagem à direita, mostra-se a lagoa após a instalação da cobertura sobre o biodigestor passando, assim, a ser efetuada a captura do biogás e aproveitamento na caldeira.

A queima do CH_4 , portanto, tem a possibilidade de trazer maior sustentabilidade às operações de fecularia de mandioca. Primeiro, porque se evita a emissão desses GEE na atmosfera. Segundo, porque pode trazer benefícios econômicos quando se instala equipamentos capazes de aproveitar a energia calorífica dessa queima, seja para gerar eletricidade, seja para substituir outros combustíveis em processos que requerem energia térmica para operar. Em consequência desse segundo benefício, pode-se inferir que há um terceiro benefício, esse ambiental, que é obtido pela economia de consumo de energia ou matéria-prima utilizada como combustível. No caso das fecularias de mandioca, pode-se economizar lenha, pois é muito comum a utilização dessa matéria-prima nas caldeiras.

Para uma utilização eficaz do biogás para produção energética, alguns aspectos devem ser levados em consideração. Por exemplo, o excesso de vapor d'água e gases corrosivos trazem problemas ao sistema de queima em sua operação. Isso pode ser mitigado com a utilização de filtros e dispositivos de resfriamento (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006). Segundo os autores, ainda há pouca pesquisa em equipamentos para um melhor aproveitamento do biogás nas atividades produtivas brasileiras. Verifica-se, portanto, que há

uma grande oportunidade para pesquisa e desenvolvimento nessa área, que pode ter uma grande colaboração com as dimensões econômica e ambiental na agricultura.

Mensurar a operação por intermédio de indicadores de desempenho pode contribuir na avaliação de determinados processos e produtos. Na medida em que os esforços se concentram em diminuir os impactos ambientais de produtos em seus ciclos de vida, e sendo esses esforços considerados novos dentro de uma organização ou no mercado como um todo, isso traz características dentro da esfera da inovação ambiental. Apurar a eficácia da inovação e o seu desempenho ambiental é crucial dentro do escopo da gestão ambiental. Nesse sentido, os autores Kemp e Arudel (1998) destacam a importância de se desenvolver indicadores de inovação ambiental. Esses devem envolver os aspectos produtivos, como o uso de materiais, as características do processo de produção e dos produtos fabricados, extrapolando para todo o ciclo de vida de um produto.

Em sequência, a pesquisa traz conceitos relativos ao tema indicadores de desempenho ambiental.

2.3 INDICADORES DE DESEMPENHO AMBIENTAL

Para os autores Carvalho e Barcellos (2010, p. 99), indicadores e índices podem ser maneiras de mensurar a sustentabilidade ainda que “pelo atual estado da arte, a sustentabilidade é imensurável”. Eles acrescentam que “[...] não existe uma definição universalmente aceita sobre sustentabilidade que possa ser aplicada a todas as situações e que não seja excessivamente genérica e pouco precisa”.

Mesmo assim, nos dias atuais, é reconhecida a importância de se traduzir o desempenho de uma organização quanto à atuação sustentável em números e estatísticas.

As estatísticas disponíveis para o tema sustentabilidade não atingem o valor necessário para mensurá-lo por completo (CARVALHO; BARCELLOS, 2010). Ainda assim, os indicadores podem trazer luz à benefícios, como o da comparabilidade indicativa de quais organizações trilham caminhos mais ou menos sustentáveis.

Desse modo, os indicadores e índices são ferramentas cada vez mais úteis e usadas pelas mais diversas organizações para mensurar, planejar e replanejar sua forma de gestão, assim como para comunicar seu desempenho aos seus públicos. Para Gallopín (1997) o aspecto mais importante de se utilizar indicadores como ferramenta para gerenciamento de informações, é pela sua relevância para a formulação da política e no processo de tomada de decisão.

Não há consenso sobre quais são todas as dimensões necessárias a serem apuradas para a mensuração da sustentabilidade de uma organização. Isso ocorre porque a própria definição sobre sustentabilidade não possui uma uniformidade de opiniões entre os especialistas. Segundo Van Bellen (2005), as diferenças entre as definições para diversos autores podem chegar a mais de 160. Isso decorre de uma variação de entendimentos do que seja a própria sustentabilidade. Apesar disso, podemos dizer que a variável ambiental é uma constante nas diversas linhas de pesquisa sobre o tema.

Apurar os indicadores de desempenho ambiental é, entretanto, um grande desafio. Isso porque esse ato requer, muitas vezes, conhecimento de técnicas e equipamentos tecnológicos sofisticados para que se possa desenvolver um bom trabalho.

Um ponto de partida importante é saber exatamente o que é um indicador de desempenho. Os autores D. McQueen e H Noak apud Van Bellen (2005, p. 41) indicam que um indicador é “uma medida que resume informações relevantes de um fenômeno particular ou um substituto dessa medida”. Para Holling apud Van Bellen (2005, p. 42) “[...] um indicador é uma medida do comportamento do sistema em termos de atributos expressivos e perceptíveis”.

Para os autores Carvalho e Barcellos (2010), uma melhor maneira de entendimento conceitual sobre indicadores, índices e dados estatísticos é pela utilização de demonstração gráfica, com uma pirâmide dividida em quatro partes (Figura 3). Na base, estão os dados primários, que são aqueles brutos, sem qualquer compilação ou agregação. Acima, está o subconjunto das estatísticas, que é o agrupamento metódico de séries, de fatos ou de dados numéricos. Na terceira divisão, estão os indicadores, que são subconjuntos das estatísticas e no topo, os índices, onde os indicadores são consolidados.



Figura 3 – Pirâmide de informações

Fonte: Adaptado de Hammond et al. (1995) apud Van Bellen (2005).

Os indicadores são uma espécie de parâmetros ou valores derivados de parâmetros, os quais servem para dar base à análise para determinado estado de um fenômeno. Eles possuem o objetivo de comunicar uma situação histórica atual ou de tendência futura (OECD, 1993). O autor Gallopín (1997) apresenta suas principais funções:

- a) Avaliar as condições e tendências;
- b) Comparar lugares e situações;
- c) Avaliar as condições e tendências em relação aos objetivos e metas;
- d) Fornecer informações de alerta precoce;
- f) Antecipar condições futuras e tendências.

Indicadores permitem comparabilidade por séries históricas dentro de uma entidade e/ou com outras entidades (entre países, instituições, organizações). Mostram a situação em relação a alguma meta e traz insumos indicativos para tomadas de decisões gerenciais (OECD, 1993; CARVALHO; BARCELLOS, 2010).

Segundo Carvalho e Barcellos (2010), um bom indicador é aquele que possui um maior apelo, ou seja, aquele que, para um determinado assunto, possua os dados estatísticos que forem mais importantes. As principais qualidades de um bom indicador são:

- a) Precisa ser confiável, ou seja, ser obtido por meio de processos e por organismos que possuam os requisitos para obter resultados confiáveis;
- b) Tratar de um tema relevante, que dê um significado a aspectos de importância para quem lê o indicador;
- c) Ter boa base teórica, utilizando as melhores metodologias que puderem ser aplicadas para apurar os valores;
- d) Ter uma boa cobertura estatística. Se for um indicador sobre a população brasileira, por exemplo, deve-se buscar boa representatividade em todas as regiões do país;
- e) Ser sensível às mudanças do objeto;
- f) Ser específico em relação ao objeto que está sendo mensurado;
- g) Ser facilmente compreendido pelo público alvo, sendo construído para ser comunicado e entendido de acordo com a audiência proposta, seja ela especializada ou não. O bom indicador deve comunicar pelos seus atributos, exatamente em relação ao que foi proposto na elaboração do mesmo;
- h) Ser periodicamente atualizável e ter uma base histórica, principalmente para se verificar progressos e tendências. Para isso, devem ser atualizados constantemente com intervalos de tempo definidos de acordo com a necessidade em questão.

No caso dos indicadores de desempenho ambiental, esses possuem papel fundamental nas organizações, principalmente naquelas consideradas potencialmente poluidoras. Eles servem como parâmetro para analisar se as emissões estão dentro dos padrões exigidos pela legislação, pelas normas internas estabelecidas por um plano de objetivos e metas, ou para que a comunidade afetada pelas atividades (comunidade do entorno, clientes, acionistas, entre outros) acompanhe o desempenho dessa organização (SEIFFERT, 2010; GALLOPÍN, 1997; SENAI.RS, 2003).

Um bom método de se identificar o conjunto de indicadores ambientais, os quais uma organização deve monitorar, deve ter um mapeamento das principais atividades potencialmente poluidoras, com a identificação das entradas, saídas e processos centrais principais que possam gerar emissões atmosféricas e efluentes, consumo de matéria-prima, de água e energia, entre outros aspectos importantes. As Diretrizes GRI (2006) recomendam que, em relação aos indicadores ambientais, a organização deve abordar seus desempenhos relativos a consumo de insumos (material, energia e água), e os aspectos relativos às emissões (atmosféricas, efluentes e resíduos) derivadas de seus processos produtivos.

Para o presente estudo, é dado foco aos conceitos dos indicadores de efluentes e emissões atmosféricas de GEE. Isso porque o escopo do trabalho é a avaliação da instalação de biodigestores nas lagoas de estabilização para captação de biogás. Dessa forma, os indicadores permitem a possibilidade de comparação entre os resultados do desempenho ambiental dos aspectos aqui tratados com e sem a captação do biogás.

2.3.1 Indicadores de poluição hídrica com matéria orgânica

A grande maioria dos cursos d'água e lagoas possui oxigênio dissolvido (OD) na composição química. Algumas exceções ocorrem em ambientes específicos, como pântanos, fossas abissais e fundos de alguns grandes lagos, que podem apresentar teores quase nulos de OD. Na água, ele é fundamental para suporte da biodiversidade em meios aquáticos.

Fatores naturais, como variação da temperatura e da pressão atmosférica, influenciam diretamente a quantidade de OD, porém nada comparado ao potencial de influência que as cargas orgânicas contidas em efluentes despejados por atividades antrópicas podem causar.

Ao se despejar efluentes com grande quantidade de compostos biodegradáveis em um rio, por exemplo, micro-organismos contidos na água entram em ação rapidamente, degradando os compostos e se reproduzindo de forma acelerada enquanto houver alimento

para eles. Um dos resultados desse processo é um alto consumo do OD por parte desses micro-organismos, que pode comprometer a sobrevivência de seres que dependem de oxigênio, como é o caso de peixes, por exemplo.

Em um ambiente aquático sem poluição, com uma temperatura de 20°C, a solubilidade do O₂ é por volta de 9 mgO₂/L (SANT'ANNA JR., 2010). Portanto, a quantidade de oxigênio na água não é grande e a mesma cai consideravelmente quando cargas massivas de poluentes orgânicos são despejadas.

Com a degradação dos compostos orgânicos, os micro-organismos vão diminuindo e a água vai recuperando o nível de OD, desde que o despejo de efluentes poluentes seja cessado. A capacidade de recuperação do O₂ está diretamente ligada à agitação da água que o meio aquático tem. Rios, por exemplo, possuem maior rapidez em recuperar o O₂ do que lagoas.

Desse modo, o ponto de lançamento dos efluentes em um rio é marcado por ser altamente afetado com a diminuição da biodiversidade enquanto que, ao decorrer do curso desse rio, as variadas formas de vida vão voltando, conforme se pode constatar no processo descrito por Sant'anna Jr. (2010, p. 38):

Nas proximidades do ponto de lançamento ocorre proliferação das bactérias. Nessa região a água pode apresentar-se turva e os sólidos mais densos acumulam-se no leito do rio. Nas regiões onde é menor o nível de OD, desaparecem os organismos que dependem de oxigênio. Por fim, o rio só recupera o nível de OD quilômetros abaixo do ponto de lançamento.

Pela relevância do parâmetro OD, os principais indicadores de teor de matéria orgânica na água estão relacionados à demanda de oxigênio. Os dois principais indicadores são demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). Outro indicador de relevância é o carbono orgânico total (COT). Para o presente trabalho, são utilizados como indicadores somente o DBO e o DQO, que são mensurados nas feclurias a serem estudadas.

Sant'anna Jr. (2010, p. 41) conceitua DBO como “[...] a quantidade de oxigênio requerida por micro-organismos (predominantemente bactérias) para oxidar os compostos presentes na amostra. A DBO é geralmente expressa em mg de oxigênio/L”.

As análises são feitas por meio de ensaios de laboratório utilizando amostras do meio aquoso ao qual se pretende analisar. Esse ensaio é realizado a uma temperatura de 20°C e por um período fixo, que consiste em cinco dias de incubação onde micro-organismos biodigestores são inseridos ao meio (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997). Os autores descrevem o processo da seguinte forma:

[...] uma amostra é coletada em duplicata, e em uma das amostras é medido o oxigênio dissolvido após a coleta; o oxigênio da outra amostra é medido após 5 dias, período em que a amostra fica em uma incubadora a uma temperatura de 20°C. A diferença de concentração de oxigênio representa a demanda bioquímica de oxigênio (oxigênio consumido para oxidar a matéria orgânica via respiração dos microrganismos).

Esses cinco dias de diferença entre as análises das amostras é o padrão mais comumente utilizado. O indicador nesse caso é conhecido como DBO₅.

Já o conceito e o processo de apuração do indicador DQO é apresentado por Sant'anna Jr. (2010, p. 47) da seguinte maneira:

É a quantidade de oxigênio necessária à oxidação química dos poluentes presentes na amostra nas condições de ensaio. A DQO é geralmente expressa em mg de oxigênio/L. Para determinação da DQO utiliza-se um oxidante químico (dicromato de potássio) em meio ácido (ácido sulfúrico) em balão de refluxo. A oxidação é conduzida por duas horas. Uma variante desse método emprega tubos de vidro, nos quais se processa a oxidação, com posterior leitura colorimétrica do líquido submetido à oxidação.

O teste de DQO possibilita a verificação da demanda por oxigênio exercida tanto por substâncias biodegradáveis como não biodegradáveis. Quando o teste é executado em amostras que apresentem maior quantidade de substâncias biodegradáveis, os valores de DBO₅ e DQO são muito próximos. Porém, quando há grande quantidade de substâncias não biodegradáveis, a diferença entre os indicadores se acentua. A razão entre DQO/DBO pode trazer informações sobre a biodegradabilidade de um efluente.

2.3.2 Indicadores de emissões atmosféricas para biodigestores de feculárias de mandioca

Os principais gases que compõem o biogás, segundo Balat e Balat (2009), são o CH₄ – 55 a 65%, o CO₂ – 35 a 45%, o nitrogênio (N) – 0 a 3% e o gás sulfídrico (H₂S) – 0 a 3%. Quando ocorre a queima do biogás, esse tem sua composição química alterada. Uma das principais consequências é a destruição do CH₄ que, no processo de oxidação, gera CO₂ e vapor d'água.

O gás metano é 21 vezes mais poluente que o CO₂ para efeitos de aquecimento global (IPCC, 2007). Esses gases são indicadores de grande relevância para apuração de aspectos e impactos ambientais, pois, dessa forma, pode-se avaliar o quanto o processo de biodigestão, seguido da queima do biogás, pode melhorar o desempenho ambiental em relação ao aquecimento global, em comparação ao da emissão do biogás pura e simples.

A determinação de valores de emissões atmosféricas por lagoas de estabilização, sem que essas tenham algum tipo de cobertura para canalizar os gases, é feita por estimativas. Isso porque os gases se dispersam por toda a superfície da lagoa, tornando a sua mensuração muito difícil.

A ONU, por intermédio da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC – sigla em inglês), possui uma série de metodologias para estimar emissões de GEE. Essas metodologias visam contribuir com inventários de emissões. A metodologia denominada AMS-III.H.: *Methane recovery in wastewater treatment --- Version 16.0* (Recuperação de metano no tratamento de águas residuais) proporciona uma maneira de estimativa de emissões de CO₂ equivalente (CO_{2e}), incluindo aquele derivado de lagoas de tratamento de efluentes com carga orgânica de forma anaeróbia.

Segundo os critérios estabelecidos pela metodologia, para cada quilograma de DQO que o sistema de tratamento remove, 0,25 quilograma de CH₄ é emitido devido ao processo biológico de biodegradação que ocorre. Deve-se observar que é uma estimativa, ou seja, não há precisão quanto aos valores quantitativos de um indicador abastecido pela aplicação direta dessa metodologia. Isso porque os valores podem variar de acordo com o tipo de produção que gerou a matéria orgânica que está sendo tratada (UNFCCC, 2013).

Outra metodologia da UNFCCC é a conversão de diferentes GEE para uma mesma base. Para melhor entendimento do potencial de aquecimento global de cada gás, eles são convertidos para CO_{2e}. Com esse objetivo, o UNFCCC desenvolveu um quadro que apresenta o quão potente é o gás para causa de efeito estufa em relação ao CO₂. Isso sob uma perspectiva de tempo de 20, 100 e 500 anos, que considera o tempo de degradação natural de cada gás na atmosfera. O CH₄, na perspectiva de 20 anos, é 56 vezes mais potente, de 100 anos, 21 vezes mais potente e de 500 anos, seis vezes e meia mais potente (UNFCCC, 2013). Convencionou-se utilizar a perspectiva de 100 anos para apresentação de indicadores em inventários. Por esse motivo, considera-se o CH₄ 21 vezes mais poluente que o CO₂.

Dessa forma, podem-se obter informações para abastecer um indicador de emissões de GEE em processos de tratamento de efluentes de feculárias e farinheiras de mandioca, com e sem o sistema de biodigestor, utilizando-se para isso a metodologia da UNFCCC AMS III H, a conversão do CH₄ para CO_{2e} e a apuração *in loco*, realizando medições das emissões antes e depois da queima do biogás.

2.4 DIRETRIZES GRI PARA INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

A organização sem fins lucrativos CERES, com base em Boston (Estados Unidos da América - EUA), concebeu um mecanismo para divulgação de informações sobre sustentabilidade. Essa iniciativa teve a adesão do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e o fruto foi o projeto de criação das Diretrizes para Relatórios de Sustentabilidade GRI (*Global Reporting Initiative*).

Em 2000, a primeira versão das diretrizes foi publicada e, por volta de 50 organizações em todo o mundo passaram a utilizá-las. A organização GRI, até esse momento ainda ligado ao CERES, se tornou independente em 2001 e transferiu sua sede para a Holanda em 2002, formando nesse país uma fundação.

As diretrizes GRI foram atualizadas sucessivamente, sendo que a versão utilizada com o referencial no presente trabalho é a G3.1. Essa começou a ser desenvolvida em 2005, envolveu a participação de 100 pessoas em todo o mundo e foi publicada em 2006.

Segundo Hourneaux Jr e Hrdlicka (2006, p. 7):

O GRI é uma rede com a participação de peritos e representantes de 40 países e de diversos setores da sociedade (empresas, organizações não governamentais, agências governamentais, entre outros). Eles constituem os grupos de trabalho e órgãos de governança do órgão e determinam suas diretrizes.

Houve um grande crescimento no número de organizações em todo o mundo, e também no Brasil, que tem utilizado as diretrizes GRI para comunicar suas formas de gestão e seus respectivos indicadores de sustentabilidade. No mundo, eram 11 organizações em 1999 e, em 2010, já eram registradas 1866 organizações. No Brasil, houve uma publicação em 2000 da empresa Natura e em 2010 eram 135 no total (GRI, 2011), e a cada ano aumenta o número de organizações que aderem a essas diretrizes.

As diretrizes da GRI para elaboração e publicação de relatórios de sustentabilidade foram concebidas visando garantir uma abordagem consistente do desempenho das empresas, possibilitando permitir acompanhamento e intercomparações. Dessa forma, foi formulada uma estrutura padrão de relatório, embasado em princípios, que pode ser utilizada por organizações de qualquer porte, setor ou localidade. Levam em conta as questões práticas enfrentadas por uma série de organizações, desde pequenas empresas até grupos com operações variadas e geograficamente espalhados. Visa, ainda, oferecer a quem produz os relatórios e, aos seus usuários, os princípios e conceitos que suportam a definição do conteúdo

do relatório e a qualidade de coleta e divulgação das informações, incluindo os indicadores das esferas econômica, ambiental e social.

Essas diretrizes foram baseadas no *triple bottom line*, uma vez que proporciona espaço para relatos nas três esferas de sustentabilidade. Vale ressaltar que não pretende dar o tom da estratégia de sustentabilidade, mas sim proporcionar um modelo que forneça apoio com orientações. Fornece, portanto, um padrão que auxilia a quem relata e também aos leitores, principalmente na comparabilidade entre concorrentes (DIRETRIZES GRI, 2006).

2.4.1 Indicadores de sustentabilidade segundo as diretrizes GRI

Os indicadores estão divididos em três blocos, segundo a abordagem do *triple bottom line*: econômico, ambiental e social, sendo esse último subdividido em cinco partes (emprego; relação entre trabalhadores e governança; saúde e segurança no trabalho; treinamento e educação; diversidade e igualdade de oportunidades).

Os aspectos considerados em cada uma das esferas dos indicadores estão relacionados nos Quadros 1, 2 e 3.

	Aspectos relacionados pelas Diretrizes GRI
Indicadores Econômicos	Desempenho Econômico (valores gerados e distribuídos, riscos e oportunidades para as atividades devido às mudanças climáticas, cobertura das obrigações do plano de pensão, ajudas significativas advindas do governo).
	Presença no Mercado (relação dos salários mais baixos comparado ao salário mínimo local, políticas de gastos com fornecedores locais, procedimentos para contratação local de membros da alta gerência).
	Impactos Econômicos Indiretos

Quadro 1 – Indicadores de desempenho GRI na esfera econômica

Fonte: Adaptado de Diretrizes GRI (2006).

	Aspectos relacionados pelas Diretrizes GRI
Indicadores Ambientais	Materiais (uso e reciclagem – renováveis e exauríveis)
	Energia (consumo direto e indireto)
	Água (retirada por fonte, reciclada, reutilizada).
	Biodiversidade (impactos em áreas de proteção ou administrados pela organização)
	Emissões, efluentes e resíduos.
	Produtos e serviços (mitigação de impactos ambientais, recuperação de produtos e embalagens).
	Conformidade (multas, sanções e outras não conformidades legais).
	Transporte (impactos significativos no transporte de produtos, bens, materiais e trabalhadores).
	Geral (investimentos e gastos com proteção ambiental)

Quadro 2 – Indicadores de desempenho GRI na esfera ambiental

Fonte: Adaptado de Diretrizes GRI (2006).

		Aspectos relacionados pelas Diretrizes GRI
Indicadores Sociais	Práticas Trabalhistas e Emprego Decente	Emprego (tipo de emprego, rotatividade, faixas etárias, gênero, região; diferenças entre benefícios para empregados registrados e temporários).
		Relação entre trabalhadores e governança (abrangência de acordos coletivos, notificações de mudanças operacionais aos empregados).
		Saúde e segurança no trabalho.
		Treinamento e educação (média de treinamentos com discriminação por categoria funcional, programas de gestão de competências, programas de análise de desempenho e carreira).
		Diversidade e igualdade de oportunidades.
	Direitos Humanos	Práticas de investimento e de processos de compras (cláusulas referentes a direitos humanos em contratos significativos, percentual de fornecedores que são submetidos a avaliações sobre o tema, treinamento a empregados em políticas de direitos humanos).
		Não discriminação.
		Liberdade de associação e negociação coletiva
		Trabalho infantil (identificação de operações com risco de ocorrência e medidas adotadas para a abolição)
		Trabalho forçado ou análogo ao escravo (identificação de operações com risco de ocorrência e medidas adotadas para a abolição)
		Práticas de segurança (treinamento de pessoal de segurança relativo a aspectos de direitos humanos).
		Direitos indígenas.
	Sociedade	Comunidade.
		Corrupção (unidades de negócio submetidas a avaliações de riscos, treinamentos e medidas tomadas em respostas a casos ocorridos).
		Políticas públicas (participações na elaboração, relações incluindo contribuição financeira para partidos políticos ou instituições relacionadas).
		Concorrência desleal (ações judiciais)
		Conformidade legal.
	Responsabilidade pelo Produto	Saúde e segurança do cliente.
		Rotulagem de produtos e serviços
		Comunicações de marketing
		Conformidade legal (inclui número de reclamações comprovadas relativa à privacidade e perda de dados de cliente)
		<i>Compliance</i> (multas por não conformidade)

Quadro 3 – Indicadores de desempenho GRI na esfera social

Fonte: Adaptado de Diretrizes GRI (2006).

O número total de indicadores é de 79, distribuídos entre as esferas da sustentabilidade e está assim distribuído:

- a) Econômicos: sete indicadores essenciais e dois adicionais;
- b) Ambientais: 17 indicadores essenciais e 13 adicionais;
- c) Sociais: Práticas trabalhistas e emprego decente: nove indicadores essenciais e cinco adicionais; Direitos humanos: seis indicadores essenciais e três adicionais; Sociedade: seis indicadores essenciais e dois adicionais; Responsabilidade do produto: quatro indicadores essenciais e cinco adicionais.

Cada indicador possui um protocolo que fornece a orientação básica para interpretação e compilação das informações. Segundo as Diretrizes GRI (2006, p. 4):

Os Protocolos de Indicadores fornecem definições, orientações para compilação e outras informações destinadas a auxiliar as organizações relatoras e a assegurar coerência na interpretação dos indicadores de desempenho. Os usuários das Diretrizes devem também usar os protocolos de indicadores.

Os indicadores de sustentabilidade sugeridos pelas diretrizes GRI são normalmente utilizados para suportar o relatório de organizações. No presente estudo, utiliza-se dessa mesma estrutura para avaliar um escopo mais restrito. No caso, os biodigestores instalados em lagoas de estabilização para tratamento de efluentes de agroindústrias da cadeia produtiva de mandioca. As diretrizes GRI apresentam a possibilidade de uso dessas diretrizes para avaliação de sustentabilidade tanto para grandes, médias e pequenas instituições (DIRETRIZES GRI, 2006). Aqui, propõe-se o uso de indicadores contidos nas diretrizes, com os seus respectivos protocolos de utilização, para avaliar parte das operações de três organizações.

Com a aplicação de estudo de casos múltiplos como procedimentos metodológicos, define-se um conjunto de indústrias para pesquisa. Estabelece-se, também, a formulação de indicadores de desempenho ambiental, os quais fornecem apoio à interpretação, do ponto de vista da gestão ambiental, de uma importante inovação na agroindústria.

3 MÉTODO

Esta pesquisa utiliza o método qualitativo, por meio de um estudo de casos múltiplos (três) em empresas processadoras de mandioca. As empresas estudadas foram duas fecularias e uma farinheira de mandioca da região oeste do Paraná. Uma empresa de engenharia, de nome Planotec, participou adicionalmente na pesquisa, colaborando com a coleta de dados junto aos casos em estudo e também com informações sobre o sistema de biodigestores desenvolvido por ela e que é o principal objeto de pesquisa do presente estudo. Ressalta-se que a Planotec é parceira no projeto de pesquisa que o presente trabalho também faz parte e que financiou as despesas de coleta de dados.

O projeto de pesquisa em questão, intitulado “EcoInovação: um estudo para implementação de uma tecnologia aplicada a biodigestores com desempenho ambiental e econômico”, foi elaborado dentro do programa de pós-graduação da Universidade Nove de Julho em São Paulo. Após confecção, esse foi submetido e aprovado junto à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por meio do Programa de Apoio ao Ensino e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Assuntos Estratégicos de Interesse Nacional (Pró-Estratégia). Esse programa tem financiamento com uma linha de crédito do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Nomeado dentro da Universidade Nove de Julho como projeto universal, foram criados subprojetos em diferentes programas dos cursos de pós-graduação da instituição em nível de doutorado, mestrado acadêmico e mestrado profissional. Todos dentro da linha de programas em ciências sociais e humanas, a qual possui cinco cursos de mestrados na área de administração. O presente trabalho é um desses subprojetos e está sob o Mestrado Profissional em Gestão Ambiental e Sustentabilidade (GeAS).

O trabalho de pesquisa do presente estudo dentro das empresas está restrito ao desenvolvimento e implantação do sistema de biodigestor. Esse sistema tem como objetivo o aproveitamento de biogás produzido em lagoas de estabilização para tratamento de efluentes das indústrias, o qual é utilizado nas caldeiras das empresas processadoras de mandioca em questão.

3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Os estudos de caso típicos são caracterizados, principalmente, por uma combinação de diferentes tipos de coleta de informações para a pesquisa. Entre elas se destacam as observações, as entrevistas, os questionários e os arquivos históricos (EISENHARDT, 1989). É um método de pesquisa que normalmente se classifica dentro do grupo de pesquisas qualitativas.

As pesquisas qualitativas são vistas, em princípio, como aquelas que se evidenciam pelo uso de métodos e ferramentas que não utilizam instrumentos com bases estatísticas para análise de dados (VIEIRA, 2006). Porém, conforme relata Yin (2005), existem projetos que se utilizam da metodologia de estudo de casos que incluem algumas evidências quantitativas nas suas estratégias. Conforme sugere o autor “o contraste entre evidências quantitativas e qualitativas não diferencia as várias estratégias de pesquisa” (YIN, 2005, p. 34). O autor menciona, como exemplo, estudos que se utilizam de evidências históricas, as quais “podem incluir enormes quantidades de evidências quantitativas”.

Em operações de manufatura, as metodologias de pesquisa baseadas em estudos de casos podem ser consideradas como ferramentas de grande valor, pois fornece relevante contribuição para a elaboração de teorias em campo (BARRAT; CHOI; MEI, 2011).

Leonard-Barton (1990, p. 249) descreve com propriedade como os estudos de casos tem potencial de dar uma grande contribuição nas pesquisas em operações:

Um estudo de caso é uma história de um fenômeno passado ou corrente, desenhado a partir de múltiplas fontes de evidências. Pode incluir dados de observação direta e entrevista sistemática como também arquivos públicos e particulares. Em realidade, todo fato relevante à cadeia de eventos descrevendo o fenômeno é um dado potencial num estudo de caso, desde que o contexto seja importante.

A aplicação da metodologia de estudo de caso pode envolver um único caso ou uma composição de casos únicos em uma mesma pesquisa. Quando há multipluralidade de objetos de estudo, identifica-se o processo metodológico como estudo de casos múltiplos (YIN, 2005). Para Joia (2006), a busca na comparação de resultados à partir da pesquisa em estudo de casos múltiplos possibilita, ao pesquisador, reconhecer certos padrões. Isso traz a condição de uma modelagem na pesquisa que possibilite melhor interpretação dos acontecimentos que estão sendo observados. O autor ressalta, porém, que é necessário verificar que os sujeitos estudados tenham algo em comum. Sem a similaridade entre os casos, a verificação com a aplicação de triangulação de resultados se torna praticamente inviável.

A investigação utilizando-se dos métodos de estudo de caso tem o propósito de responder às perguntas típicas do tipo “como” e “por que” (YIN, 2005, p. 19). Conforme o autor ressalta, o pesquisador busca, nesse tipo de pesquisa, manter o foco nas observações de acontecimentos contemporâneos de fenômenos da vida real. Para isso, é importante que se delimite a fronteira específica a qual a pesquisa pretende convergir. Para Stake (2000, p.436), o estudo de caso deve ser em cima de uma unidade específica, em um sistema cujas partes sejam delimitadas. Ele ainda destaca que o estudo de caso é uma escolha sobre o que será estudado, sendo que a intenção é representar exatamente o caso e não um universo maior que esse.

Conforme Ventura (2007, p. 384), o modo de pesquisa de estudo de caso deve ser compreendido como um método ao qual se escolhe um objeto de estudo. Esse precisa ser estabelecido conforme o interesse em um caso específico, dentro de fronteiras bem definidas em relação a aspectos como unidade temporal e localização física “para que se possa realizar uma busca circunstanciada de informações”. Os estudos se inclinam a procurar esclarecimentos sobre o motivo pelo qual se tomou certas decisões, assim como entender quais foram os resultados obtidos (YIN, 2005). Dentro desse contexto, a pesquisa deve apurar e analisar as informações obtidas e, conforme afirma Eisenhardt (1989), é importante observar os padrões entre os casos com os cruzamentos dos dados obtidos.

O escopo da presente pesquisa está delimitado em torno do estudo do sistema de biodigestores (objeto de estudo de casos). O objetivo é avaliar, do ponto de vista do viés ambiental da sustentabilidade das operações, o desempenho do sistema de aproveitamento energético do biogás, que é gerado nas lagoas de tratamento de efluentes derivados do processamento da mandioca para produção de fécula e farinha.

Dados quantitativos e qualitativos foram usados na pesquisa. Esses foram compilados e alimentaram indicadores específicos para suportar as análises e interpretações dos resultados do desempenho do objeto de estudo. Alguns exemplos de evidências quantitativas são: valores apurados pelos artefatos do projeto sobre a composição físico-química do biogás e quantidade de lenha utilizada antes e depois da instalação do sistema de captação de biogás. Outros resultados foram baseados nas percepções dos gestores das empresas, como no caso da situação de odor nas lagoas com o novo sistema. Dados como esse, de aspecto qualitativo, algumas vezes, não alimentam um indicador de forma direta, porém, na presente pesquisa, foram aproveitados e utilizados nas análises e comentários dos resultados.

Como todos os casos estudados foram indústrias processadoras de mandioca, isso possibilitou comparação de desempenho entre os diferentes processos produtivos, mesmo que os produtos sejam um pouco diferentes entre si: fécula, a farinha e o polvilho de mandioca, isso porque, além de usarem a mesma matéria-prima (mandioca), todas as indústrias possuem os mesmos processos básicos nas suas produções. Mesmo com variações nas tecnologias aplicadas em cada uma das empresas, e com o processo de produção de farinha sendo mais simples (menos etapas) que o processo da fécula, é possível trazer a base de comparação entre as empresas.

A busca pelo uso da metodologia de estudo de casos na pesquisa baseou-se na pergunta de como é o desempenho ambiental da nova tecnologia dentro dos processos produtivos de empresas que manufaturam produtos derivados de mandioca. Esse tipo de pergunta, conforme citado anteriormente na referência de Yin (2005), pode ser respondida com a aplicação dessa metodologia. Nos processos de capturação das informações, buscou-se por dados históricos junto aos gestores, em relação à antes da instalação do novo sistema e após. Isso proporciona à pesquisa uma base comparativa do desempenho da operação. Buscou-se então, obtenção de informações utilizando-se da coleta de dados nas empresas. Yin (2005) destaca seis tipos de fontes para obtenção de evidências, conforme consta na coluna 1 do quadro 4. Já a coluna 2 busca demonstrar como a evidência de pesquisa foi obtida.

Evidência de pesquisa em estudos de casos (YIN, 2005)	Forma de utilização na pesquisa
Documentos	<ul style="list-style-type: none"> • Manual de operação do equipamento GEM2NAV da empresa Landtec utilizado para leitura e interpretação as características físico-químicas do biogás; • Documento produzido pela Empresa Planotec com as informações colhidas nas leituras das características do biogás gerado nas empresas; • Sítio eletrônico da Associação Brasileira dos Produtores de Amido de Mandioca (ABAM), contendo a descrição, desenhos e fotos dos processo de manufatura para obtenção de fécula a partir da mandioca (http://www.abam.com.br/#!/producao/cvmk); • Protocolo de indicadores ambientais segundo as Diretrizes para Elaboração de Relatórios de Sustentabilidade da GRI; • Procedimento do sitio eletrônico da UNFCCC para conversão de potencial energético de GEE do CH₄ para CO_{2e} (http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php); • Sítio eletrônico da Empresa Linde Group para conversão de unidade de medida da vazão do CH₄ de normal metro cúbico por hora para quilogramas (http://www.aga.com.br/international/web/lg/br/likegbr.nsf/docbyalias/info_gascalc).
Registros em arquivos	Não aplicado na pesquisa.
Entrevistas	Foram realizadas entrevistas com os gestores das empresas processadoras de mandioca (casos em estudo) e com os gestores da Planotec, responsáveis pela criação do sistema de aproveitamento de biogás nas fecularias e farinheiras de mandioca. Essas entrevistas foram realizadas nas empresas, em uma diligência que visitou as suas instalações, e complementadas por trocas de correio eletrônico sanando dúvidas residuais.
Observação direta	Na diligência feita nas empresas estudadas, foram feitas visitas nas suas linhas de produção, incluindo observação aos sistemas de biodigestores. Foram gravadas conversas com explicações sobre o funcionamento dos processos, fotos foram registradas das lagoas de estabilização cobertas para captação do biogás, assim como das adaptações efetuadas nas caldeiras para aproveitamento do biogás.
Observação participante	Não aplicado na pesquisa.
Artefatos físicos	Equipamento para medição do biogás gerado nos biodigestores das empresas.

Quadro 4 – Fontes de obtenção de evidência nas pesquisas conforme metodologia de estudo de casos

Fonte: O autor; (YIN, 2005)

Com os procedimentos aplicados conforme coluna 2 do Quadro 4, foram levantadas e compiladas informações que evidenciam o desempenho dos biodigestores das empresas. No

item em sequência, é apresentado o processo de definição das empresas participantes da pesquisa.

3.2 DEFINIÇÃO DAS EMPRESAS PESQUISADAS E A ESTRUTURA DO PROJETO

Como objeto de estudo de casos múltiplos do presente trabalho, foram selecionados três clientes da empresa Planotec. Esses receberam a instalação do sistema de biodigestor.

A seleção dos casos ocorreu à partir dos seguintes considerações:

- a) Deveria ser avaliado mais que um caso para ter base comparativa em diferentes processos produtivos;
- b) Não poderia ser um número grande de empresas devido às restrições de cronograma e orçamento do projeto;
- c) As empresas deveriam ter diferentes tipos de estrutura político-administrativa para verificar se o sistema atende bem a diferentes modelos organizacionais;
- d) As empresas deveriam ter diferentes níveis estruturais tecnológicos de máquinas e equipamentos;
- e) As empresas deveriam ter uma distância física entre si que proporcionassem a logística para que, a cada diligência, todos os casos pudessem ser cobertos.

À partir dos critérios expostos, as três empresas foram selecionadas e contatadas pela empresa Planotec, que as convidou para participarem da pesquisa.

O trabalho apresenta no item subsequente, a descrição sobre o processo de coleta de dados utilizados na pesquisa, os quais tem objetivo de atribuir conteúdo aos indicadores de desempenho ambiental.

3.3 COLETA DE DADOS

As informações obtidas por esse trabalho junto aos casos de estudo foram realizadas por meio dos seguintes procedimentos:

- a) Entrevistas e visitas *in loco* com os responsáveis pela operação das indústrias para registro de observações e fotografias. As entrevistas foram realizadas em diligência feita no mês de agosto de 2013, onde o autor do presente trabalho, juntamente com um dos gestores da Planotec, visitaram as três indústrias processadoras de mandioca. No caso da C. Vale, participou também da entrevista o gestor ambiental da empresa. As outras duas indústrias não possuem uma pessoa específica para essa função devido aos seus respectivos portes. O roteiro

de entrevista aplicado às empresas está contido no apêndice I do trabalho. Esse roteiro foi um balizador para as entrevistas, porém as perguntas não se restringiram somente ao roteiro. No capítulo de resultados e discussão, são apresentados e comentados parte dos conteúdos dessas entrevistas.

b) Trocas de correspondências eletrônicas com perguntas e respostas com os responsáveis pela operação das indústrias. Algumas questões não respondidas totalmente durante as entrevistas nas empresas, ou que necessitavam de levantamento histórico de dados, foram respondidas por correspondências via correio eletrônico pelos gestores, ocorridas durante o mês seguinte à realização das entrevistas.

c) Entrevistas com os proprietários da empresa de projetos de biodigestores Planotec. Sem um questionário estruturado, em três oportunidades, o autor da pesquisa reuniu-se com o desenvolvedor do sistema de aproveitamento do biogás nas empresas e com uma gestora da Planotec. Nessas oportunidades, foram descritas a história de desenvolvimento da empresa Planotec, assim como o desenvolvimento do sistema de biodigestores com suas principais especificações técnicas e resultados práticos conseguidos por alguns clientes, dos pontos de vista econômico e ambiental.

d) Coleta de amostras e análises *in loco* e em laboratório da composição físico-química do biogás e dos efluentes das três indústrias processadoras de mandioca. O biogás foi analisado por medições efetuadas pela Planotec. As amostras de efluentes foram colhidas pela Planotec na entrada e na saída do biodigestor e repassadas para a pesquisa por documento, o qual está copiado no Anexo I da presente pesquisa.

3.3.4 Artefatos utilizados na pesquisa

Para mensuração da composição físico-química do biogás, o projeto, por intermédio do financiamento concedido pelo CAPES, alugou um equipamento específico para esse fim. Esse é um analisador de gás portátil para indústria e foi projetado para atender principalmente mensurações em aterros sanitários, que tem a característica de geração de grande quantidade de biogás. Pela portabilidade e facilidade para registrar as informações e transferências para computador, foi escolhido para utilização no projeto. O fornecedor do equipamento é a empresa Landtec, a partir de seu escritório no município de São Paulo.

O modelo do equipamento é o GEM2NAV que tem as seguintes características técnicas:

- a) Dispositivo de geo-posicionamento por satélite (GPS – sigla em inglês) incorporado ao analisador, permitindo registrar a localização exata da coleta analisada;
- b) Armazena até 1000 pontos de localização;
- c) Mede a porcentagem de CH₄, CO₂, e O₂, pressão estática e pressão diferencial;
- d) Mede o teor de H₂S em partes por milhão (ppm);
- e) Calcula o balanço de gás, fluxo e valor calorífico;
- f) Apresenta a porcentagem do limite de explosividade do CH₄;
- g) Possui bateria que permite uma operação de 10 a 14 horas.

Para medir o fluxo de gás, foi alugado o equipamento tubo de pitot que é utilizado pela Planotec em conjunto com o GEM2NAV. Segundo Jahn, Dadam e Nicolau (2006, p. 3), o tubo de Pitot “fornece uma medida de pressão dinâmica do escoamento; com a pressão estática e a temperatura do ponto medido, estima-se a densidade dos gases e calcula-se a vazão mássica”.

Para análise da vazão dos efluentes, foram adquiridas pelo projeto seis calhas Parshall. Segundo Marais e Haandel (1996), as calhas Parshall são dispositivos utilizados para medição de vazão de líquido proveniente de efluentes. Os autores descrevem que o líquido é forçado através de um vão estreito, sendo que o nível a montante é indicativo da taxa de fluxo através do dispositivo e é independente do nível de líquido a jusante. Essas calhas foram instaladas nas entradas e saídas da lagoa de estabilização que receberam a cobertura do sistema de biodigestor.

Abaixo é apresentado o processo de escolha dos indicadores de desempenho ambiental utilizados na pesquisa.

3.4 ESCOLHA DOS INDICADORES GRI PARA APLICAÇÃO NA AVALIAÇÃO AMBIENTAL

Os critérios adotados para seleção de cada um dos indicadores utilizados na pesquisa se basearam nas orientações contidas no protocolo de indicadores ambientais publicado pela GRI, pois cada um dos indicadores, nesse protocolo, possui as indicações de uso. A partir dessas indicações e, levando-se em consideração todos os processos envolvidos no sistema de biodigestor das indústrias estudadas, foram selecionados os indicadores de desempenho ambiental aplicáveis no presente trabalho. Observa-se a utilização do framework GRI para relatórios de sustentabilidade com um novo escopo de aplicação pois, ao invés de suportar à uma organização relatora, aqui ele é utilizado como base para avaliação de desempenho de

uma operação específica. Para isso, foi delineado um determinado processo de uma indústria e avaliado somente aquilo que está dentro da fronteira estudada pertinente a esse processo que, no caso, são os biodigestores com aproveitamento de biogás em caldeiras.

Uma vez delimitados os processos a serem estudados, foram analisados os 30 indicadores ambientais recomendados pela GRI para relatórios de sustentabilidade. O protocolo foi estudado e, a partir disso, verificado quais dos indicadores poderiam cobrir as perguntas de pesquisa. Os critérios apresentados que justificam a escolha de cada indicador são apresentados no capítulo seguinte, uma vez que, os indicadores selecionados, já são resultados práticos do presente estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O capítulo de resultados se inicia com uma apresentação das principais características das empresas estudadas. Depois, são apresentados os indicadores de desempenho ambiental selecionados das Diretrizes para Elaboração de Relatórios de Sustentabilidade GRI G3.1. Os resultados dos valores quantitativos atribuídos aos indicadores são apresentados em sequência, que são as bases para análises, discussões e conclusões em relação ao desempenho ambiental do sistema de captação e utilização de biogás, que é produzido à partir de resíduos em unidades processadoras de mandioca.

4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS EMPRESAS ESTUDADAS

Todas as empresas selecionadas estão localizadas nas regiões oeste e noroeste do estado do Paraná. Na Figura 4, observa-se o mapa com indicação geográfica dessas indústrias, destacadas com marcadores:

- a) Amidonaria C.Vale – unidade Assis Chateaubriand – PR;
- b) Amidos Pasquini – Cianorte – PR;
- c) Alimentos do Zé – Nova Esperança – PR.



Figura 4 – Localização das indústrias processadoras de mandioca participantes do estudo de casos

Fonte: Google Maps (2013).

4.1.1 Amidonaria C. Vale – unidade Assis Chateaubriand

A empresa faz parte de um forte conglomerado de indústrias agrícolas, atuante no Brasil, nos estados do Paraná, Santa Catarina, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e com unidades também no Paraguai. A C.Vale é uma cooperativa com 50 anos de existência que possui 106 unidades de negócios, mais de 13.700 mil associados e 5.600 funcionários. Seus principais produtos são a soja, o milho, o trigo, a mandioca, o leite, com destaque para frangos e suínos. Atua, também, na prestação de serviços à agricultores e à agroindústria (C.VALE, 2013).

A unidade estudada está localizada em Assis Chateaubriand, produz somente amido modificado à partir de fécula de mandioca para atender a indústria de papel. Possui um parque moderno, voltado a uma produção otimizada e enxuta, com vários pontos de reaproveitamento, reuso e reciclagem de água e materiais no processo produtivo. A produção média diária de amido modificado é na ordem de 70 toneladas, com um consumo médio de 400 toneladas de mandioca. Essa foi a primeira indústria que a Planotec instalou o sistema de biodigestor, o que ocorreu em agosto de 2011.

Como foi a pioneira a instalar o sistema, foi contemplada com o prêmio Expressão de Ecologia, concedido pela revista Expressão em agosto de 2013, como reconhecimento pela inovação, que foi considerada como uma ação positiva de sustentabilidade (C.VALE, 2013). A empresa não possui um sistema formal de gestão ambiental porém, durante entrevistas, observou-se que mesmo informalmente, ou seja, sem documentação própria para esse fim, a unidade produtora atua de forma orientada a ter uma boa gestão ambiental, com minimização do uso de matéria-prima, reuso e reciclagem de resíduos, economia de energia e reuso de água.

A unidade produtiva tem uma parceria com o Parque Tecnológico de Itaipu (PTI) pertencente à Usina de Energia Itaipu Binacional. Por meio desta parceria, uma equipe especializada do PTI realiza campanha de monitoramento da qualidade do biogás produzido pelo biodigestor. Com um cronograma definido, a cada 15 dias são feitas medições para coletar amostragem do CH₄, CO₂, O₂, H₂S, H₂ e temperatura. A C.Vale possui um termo de cooperação técnica assinado com o PTI e esses dados são repassados para a empresa após as medições, possibilitando, assim, que tanto o PTI quanto a C. Vale possam trabalhar as informações, seja para pesquisa de desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias, seja para gestão do negócio.

4.1.2 Amidos Pasquini

É uma empresa produtora de fécula de mandioca principalmente para fins alimentícios. Possui uma estrutura administrativa familiar e foi fundada no ano de 1990 para produção de farinha de mandioca. À partir de 2001, passou a produzir a fécula *in natura* e seus principais clientes são a indústria alimentícia, de papel e têxtil. Os clientes da indústria alimentícia e distribuidores compram da Pasquini para revender de forma pulverizada no mercado consumidor de fécula.

Sua produção média diária de fécula é da ordem de 80 toneladas, com um consumo de mandioca médio de 265 toneladas. O sistema de biodigestor foi instalado em setembro de 2012 com poucas adaptações e, depois de um ano de funcionamento, a empresa adquiriu uma nova caldeira, que foi desenvolvida com foco no uso do biogás, que deverá aumentar a capacidade produtiva em 45%. Durante a elaboração do presente trabalho, a nova caldeira estava sendo instalada.

Essa empresa não possui um sistema de gestão ambiental e para questões de atendimento à legislação ambiental, consultorias ambientais são contratadas pontualmente.

4.1.3 Alimentos do Zé

É uma empresa produtora de alimentos à base de mandioca cujos principais produtos são a farinha e o polvilho. Está estruturada administrativamente com gestão familiar e está no mercado desde o ano de 1967. A empresa possui campos ao redor da indústria com plantações de eucalipto para produção de lenha, pasto para criação de gado e cultivo de mandioca. Em princípio, a empresa produzia sua própria mandioca para a produção da farinha, mas hoje a maior parte da matéria-prima é comprada de fornecedores. O sistema de biodigestor foi instalado em maio de 2013 e passou a comercializar a lenha economizada a partir da utilização do biogás. A área destinada à cultivos agrícolas e pasto tem sido beneficiada com técnica de fertirrigação, com utilização dos efluentes tratados resultantes do beneficiamento da mandioca.

Essa empresa não possui sistema de gestão ambiental, mas nos últimos anos passou a ter certa preocupação em poupar recursos, principalmente por motivos econômicos. Desta forma, passou a praticar a fertirrigação e contratou a instalação do biodigestor. A produção diária média é de 53 toneladas de farinha e 5 toneladas de polvilho. Para essa produção há um consumo de mandioca como matéria-prima na ordem de 200 toneladas por dia.

4.2 BIODIGESTORES DESENVOLVIDOS PELA EMPRESA PLANOTEC

A criação do projeto dos biodigestores partiu de uma ideia simples, que seria a de cobrir a primeira lagoa de estabilização utilizada para o tratamento dos efluentes de fecularias de mandioca. Essa lagoa recebe o efluente da indústria de forma quase bruta, ou seja, com alta carga orgânica. De determinados pontos da cobertura, canaliza-se o biogás até o ponto de queima da caldeira com mangueiras e encanamentos. Instala-se um ventilador para forçar o deslocamento do biogás (por exaustão) e uma válvula para controlar o fluxo do gás. Dessa forma, com o calor proveniente da queima do biogás, menor quantidade de lenha ou cavaco é utilizada para produzir o calor necessário ao processo produtivo.

A empresa passou, então, a expor o projeto para fecularias da região oeste do Paraná, onde iniciou sua atuação. Uma das empresas apostou na ideia e resolveu investir no projeto, o qual deu o resultado esperado. Depois de dois anos do primeiro projeto implantado, já haviam mais outros 24 instalados.

A Figura 5 mostra a lagoa da Amidonaria C. Vale, que recebeu a cobertura para instalação do biodigestor. Para sua instalação é escavada uma vala ao redor de toda a lagoa com um metro de profundidade. Nessa vala é feito o ancoradouro da cobertura, que é composta por um material resistente conhecido como PEAD (Polietileno de Alta Densidade). Observam-se mangueiras conectas, sendo que os orifícios dessas conexões são as únicas saídas possíveis para o biogás.



Figura 5 – Lagoas de estabilização de tratamento de efluentes coberta com PEAD e com mangueiras aparentes para captação do biogás na Amendonaria C. Vale

Fonte: Fotos da pesquisa.

Algumas lagoas, quando são muito irregulares na sua forma, recebem uma reforma para colaborar com o projeto da cobertura. Porém, para os casos em que a lagoa já possui uma forma geométrica satisfatória, a interferência na mesma é mínima. Isso porque, além da economia financeira no projeto, quando uma lagoa é reformada, a mesma demora um pouco mais de tempo para estabilizar a produção do biogás, uma vez que os micro-organismos são afetados no processo da reforma, devido à necessidade de esvaziamento das mesmas e à fase de adaptação.

As primeiras coberturas instaladas possuíam o sistema de mangueiras conforme a Figura 5, porém, observou-se que, dessa forma, há um risco maior de rompimento da membrana de cobertura devido à ações do clima. Desse modo, foi implementada uma melhoria nos projetos, os quais passaram a enterrar as mangueiras. Conforme observa-se na Figura 6, as mesmas não podem ser vistas pois estão abaixo do nível do solo.



Figura 6 – Lagoas de estabilização de tratamento de efluentes coberta com PEAD e com mangueiras enterradas para captação do biogás na Amidos Pasquini

Fonte: Fotos da pesquisa.

As mangueiras que coletam o biogás em vários pontos são conectadas a encanamentos, esses são ligados a uma única saída, a qual conduz o biogás por encanamento até um ponto próximo à caldeira. Nesse ponto, há um ventilador que gira no sentido de insuflar o biogás para dentro da caldeira, onde é queimado para geração de energia térmica. Observa-se esse ventilador na Figura 7 e, ao seu lado direito, pode-se verificar uma alavanca. Essa é uma válvula que regula a abertura e a vazão do biogás para dentro do local de combustão da caldeira, que situa-se à direita da válvula na Figura 7.

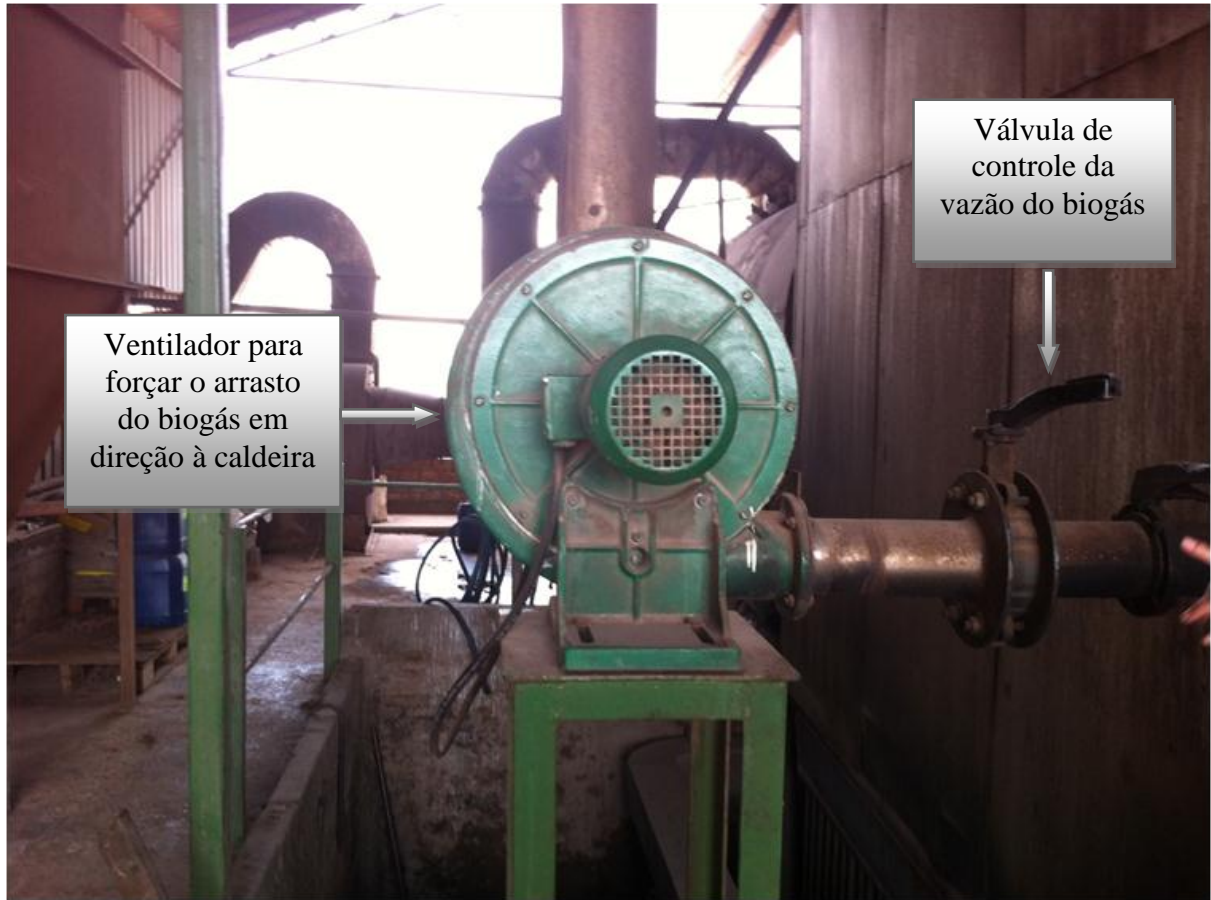


Figura 7 – Ventilador para exaustão do biogás produzido na lagoa de estabilização anaeróbia da fecularia

Fonte: Fotos da pesquisa.

Na Figura 8, observa-se o encanamento que conduz o biogás para combustão, entrando por fora do recipiente, onde se deposita lenha para aquecer a caldeira. Nesse caso, o equipamento foi adaptado com o mínimo de intervenção para trabalhar com o biogás e também a lenha. A lenha continua sendo necessária para manter a chama do biogás acesa o tempo todo. É também um complemento quando o biogás tem baixa produção. Outras fecularias implementaram melhorias ao processo, instalando sistemas de controle automático de identificação da quantidade de lenha ou de cavaco que é necessária, de acordo com o fornecimento do biogás. Esse é o caso da Amidonaria C. Vale. No caso do exemplo da Figura 8, o processo é todo manual e de acordo com as observações visuais do operador da caldeira. Esse operador controla o fluxo do biogás e a quantidade de lenha necessária de maneira empírica, considerando a sua experiência nesse trabalho. O bico injetor de gás na caldeira tem a característica de sempre ter vazão positiva evitando, dessa forma, riscos de acidentes por retorno do fogo pela tubulação.



Figura 8 – Entrada da Câmara de combustão para alimentar a caldeira da fecularia

Fonte: Fotos da pesquisa.

Antes da primeira lagoa de estabilização, normalmente, há um local onde o efluente é retido por um período de uma a duas horas. Esse tempo de retenção do efluente é conhecido como tempo de retenção hídrica (TRH). Usualmente, esse local é composto de valas e o líquido permanece ali para decantar os sedimentos sólidos como areia, argila e cascalho proveniente, principalmente, dos processos de lavagem das raízes. Na Figura 9, é possível observar essas valas.



Figura 9 – Valas para retenção de sedimentos de efluentes de fecalaria

Fonte: Fotos da pesquisa.

No caso das valas da Amidonaria C. Vale (figura 9), é utilizada uma vala por dia, sendo que, após ser usada, o sedimento é removido por trator.

O sistema de biodigestor desenvolvido pela Planotec apresenta-se com pequenas diferenças e adaptações nos seus diferentes clientes. Isso varia de acordo com as necessidades e condições estruturais e de investimento de cada um. Basicamente, porém, pode-se resumir que o sistema possui a cobertura somente na primeira lagoa. Logo após o processo de sedimentação, o biogás é canalizado até o queimador da caldeira, possuindo entre um ponto e outro um ventilador para exaurir o gás da lagoa, e uma válvula para controlar o seu fluxo.

4.2 INDICADORES AMBIENTAIS SELECIONADOS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO AMBIENTAL

À partir do conjunto de indicadores ambientais das Diretrizes GRI (2006), o qual está listado no Anexo II do presente trabalho, foram selecionados oito indicadores para utilização na pesquisa. Esses indicadores estão apresentados no Quadro 5, com suas respectivas nomenclaturas (códigos), aspectos ambientais relacionados e os títulos de cada um.

Portanto, considerando as características da tecnologia, foi possível aplicar 26% dos indicadores sugeridos pela GRI. Esses foram, então, utilizados como ferramenta de apoio ao processo de avaliação de desempenho ambiental dos sistemas de aproveitamento do biogás produzido em lagoas de estabilização de tratamento de efluentes de indústrias processadoras de mandioca.

Código	Aspecto ambiental relacionado	Título
EN1	Consumo de Materiais	Materiais usados por massa e volume
EN3	Consumo de Energia	Consumo de energia direto por fonte de energia primária
EN5	Consumo de Energia	Energia economizada devido a melhorias em conservação e eficiência
EN8	Consumo de água	Total de água retirada por fonte
EN16	Emissões Atmosféricas	Total de emissões diretas e indiretas de gases de efeito estufa, por massa.
EN18	Emissões Atmosféricas	Iniciativas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e as reduções obtidas
EN20	Emissões Atmosféricas	Nox, Sox e outras emissões atmosféricas significativas, por tipo e massa.
EN21	Efluentes	Descarte total de água, por qualidade e destinação.

Quadro 5 – Indicadores de desempenho ambiental GRI selecionados

Fonte: adaptado de Diretrizes GRI (2006)

O Quadro 6 apresenta os critérios adotados para seleção dos oito indicadores, justificando a escolha de cada um deles. Esses critérios podem ser observados na segunda coluna do referido quadro. Na terceira coluna do mesmo quadro, há a descrição do conteúdo.

Para aplicação dos critérios demonstrados no Quadro 6, o primeiro passo foi conhecer os processos a serem avaliados e identificar quais os aspectos e impactos se pretendia avaliar.

Código	Critério para seleção	Conteúdo do Indicador
EN1	Avaliar a economia do uso de lenha nos processos produtivos da indústria com a instalação do sistema de biodigestor.	Volume médio diário de lenha utilizado como insumo nas caldeiras antes e após a instalação dos biodigestores por unidade produzida.
EN3	Apurar a energia consumida com o combustível lenha para aquecer as caldeiras antes e depois dos biodigestores.	Energia consumida (lenha transformada em potencial energético - quilocalorias por quilograma) por massa de mandioca moída para o processo produtivo de farinha e/ou fécula
EN5	Apresentar de forma direta a energia economizada proveniente da lenha com a utilização do biogás, que antes era dissipado diretamente na atmosfera.	Total de energia derivada de lenha economizada com o aproveitamento do biogás gerado pelos biodigestores dos casos de estudo.
EN8	Responder a questão se há influência direta no consumo de água nos processos da fecularia com o sistema de biodigestor.	Água consumida por toneladas de mandioca processada antes e depois dos biodigestores.
EN16	Avaliar a diminuição das emissões de GEE's após a instalação dos biodigestores.	Medição das emissões no bico do queimador do biogás.
EN18	Avaliar a diminuição das emissões de GEE's após instalação dos biodigestores.	Apresentação das emissões de CO _{2e} antes e após a instalação dos biodigestores.
EN20	Apurar as emissões de H ₂ S provenientes dos processos de tratamento de efluentes.	H ₂ S em partes por milhão (ppm).
EN21	Avaliar se houve mudanças na qualidade da água com a instalação do sistema de biodigestores	Serão relatados os indicadores de qualidade dos efluentes na entrada e na saída dos biodigestores. (DBO, DQO).

Quadro 6 – Critérios e conteúdos dos indicadores GRI de desempenho ambiental

Fonte: O autor.

No Quadro 7 são apresentadas as fontes de informações que foram utilizadas para quantificar os indicadores.

Código	Conteúdo do Indicador	Fonte de informações
EN1	Volume médio diário de lenha utilizado como insumo nas caldeiras antes e após a instalação dos biodigestores por unidade produzida.	Registros históricos da empresa fornecidos em entrevistas com gestores operacionais.
EN3	Energia consumida (lenha transformada em potencial energético - quilocalorias por quilograma) por massa de mandioca moída para o processo produtivo de farinha e/ou fécula	Registros históricos da empresa fornecidos em entrevistas com gestores operacionais e cálculos para transformação da massa de lenha consumida em potencial energético.
EN5	Total de energia derivada de lenha economizada com o aproveitamento do biogás gerado pelos biodigestores dos casos de estudo.	Cálculo da diferença entre o que se consumia (em potencial energético da lenha consumida) antes e após o aproveitamento do biogás produzido por biodigestores.
EN8	Água consumida por toneladas de mandioca processada antes e depois dos biodigestores.	Dados históricos dos registros de produção da empresa e dos volumes de água captada obtidos por entrevistas.
EN16	Medição das emissões no bico do queimador do biogás.	Medições no local pelo uso de equipamento específico do biogás gerado pelo biodigestor.
EN18	Apresentação das emissões de CO _{2e} antes e após a instalação dos biodigestores.	Derivação do indicador utilizando metodologia IPCC para cálculo de CO _{2e} .
EN20	H ₂ S em partes por milhão (ppm).	Medições no local pelo uso de equipamento específico do biogás gerado pelo biodigestor.
EN21	Serão relatados os indicadores de qualidade dos efluentes na entrada e na saída dos biodigestores. (DBO, DQO).	Medição em laboratório credenciado de amostras de efluente na entrada e saída do biodigestor.

Quadro 7 – Fonte de informações dos indicadores selecionados

Fonte: O autor.

Com o conjunto de indicadores selecionado, e abastecido com as informações colhidas pela pesquisa, foi possível obter a base comparativa entre as indústrias, e para cada empresa isoladamente, antes e depois dos biodigestores instalados. A apuração dos valores relativos ao consumo de matérias-primas como mandioca, água e lenha, compostos com as quantidades produzidas de fécula e farinha de mandioca, tem o objetivo de possibilitar conclusões quanto aos processos mais eficientes em relação à utilização de insumos (economia de matérias e energia). Tem, também, como objetivo, obter conclusões por meio dos indicadores de emissões atmosféricas, e verificar o quanto os biodigestores contribuem positiva e negativamente para essas emissões, principalmente em relação ao CO_{2e}.

Os indicadores selecionados estão descritos, conforme orientações básicas do protocolo de indicadores de desempenho ambiental GRI, assim como as atribuições de valores que a pesquisa buscou em cada um deles.

4.3.1 Materiais usados por massa ou volume (EN1)

O foco do indicador é apresentar a contribuição quanto a economia de recursos. Desse modo, o relator deve apresentar de que forma está fomentando, dentro de suas operações, a redução no uso de materiais, de forma a aumentar a eficiência na economia dos mesmos (GRI, 2006).

O protocolo orienta a identificar o total de materiais comprados de fornecedores externos, assim como aqueles providos por processos produtivos internos. Entre eles, a publicação pede destaque para as matérias-primas, que são recursos usados para conversão de produtos como madeira, minérios e minerais. Cita também a necessidade de destacar os materiais associados, ou seja, aqueles que fazem parte do processo de fabricação do produto, porém que não são parte do produto final. Ainda menciona destaque para as mercadorias ou peças semi-fabricadas e as embalagens. É importante destacar, nesse indicador, os materiais do tipo não renováveis (GRI, 2006).

Para efeitos deste trabalho, o indicador EN1 atende à necessidade de avaliação de economia de lenha e cavaco nas caldeiras depois da instalação dos biodigestores. Dessa forma, é possível quantificar a economia de material, além de possibilitar a comparação entre os três casos de estudo, ou seja, se o desempenho dos três projetos tiveram resultados similares.

4.3.2 Consumo de energia direta e economizada por melhoria de processos (EN3 e EN5)

A função desses indicadores é analisar as quantidades de energia consumida e economizada no período avaliado, pela entidade relatora. As orientações pedem para que a energia consumida de fontes não renováveis ou renováveis sejam relatadas. Exemplos de energia não renováveis apontadas são: carvão mineral, gás natural, combustível bruto ou destilado de petróleo, entre outros. Para as energias renováveis, o protocolo destaca os combustíveis biológicos, o etanol e o hidrogênio. Porém, dentro das renováveis, todo tipo de combustível a partir da biomassa deve ser considerado (GRI, 2006).

Tanto as fontes compradas de terceiros como a energia produzida internamente devem ser relatadas no indicador. As orientações são para a conversão da energia consumida para a unidade joules ou seus múltiplos, mas identificado por fonte (GRI, 2006).

Para avaliação do sistema de biodigestor, o indicador energia consumida atende ao relato de lenha e cavaco de lenha consumido. Dois estudos de casos utilizam-se de lenha bruta

para aquecer a caldeira, e um deles utiliza-se de cavaco, que é considerado mais eficiente que a lenha, segundo os gestores da empresa. Dessa forma, o indicador EN3 apresenta a média de energia que era consumida antes do biodigestor, de acordo com o consumo de lenha e cavaco de lenha. Apresenta, também, quanto passou a ser consumido depois da instalação dos novos equipamentos. O indicador EN5 tem a função de apresentar, de forma quantitativa, o total de energia economizada.

A unidade de medida que é utilizada para apresentar esses indicadores é o poder calorífico que a lenha consumida representa. Segundo Jara (1989), poder calorífico é a quantidade de energia liberada como calor, que é emanado pela combustão de madeira, podendo ser utilizado como unidade de medida energética para esse combustível. O poder calorífico, segundo os autores Quirino, Vale, et al. (2005, p. 2), é expresso em joules por grama ou quilojoules por quilo, seguindo o padrão do Sistema Internacional. Porém, pode também ser expresso em calorias por grama ou quilocalorias por quilograma. No presente trabalho, foi utilizada a unidade quilocalorias por quilograma ou simplesmente kcal/kg.

Há duas divisões para apresentar o poder calorífico, que são o superior e o inferior. Conforme define Quirino, Vale, et al. (2005, p. 2), “o poder calorífico superior é aquele em que a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado”, enquanto que o “poder calorífico inferior é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água” (QUIRINO, VALE, et al., 2005).

Um indicativo importante para se medir o poder calorífico da madeira é verificar seu percentual de umidade. Ao entrar em combustão, a umidade contida na madeira se evapora. Esse vapor de água, quando dissipado juntamente com outros gases, absorve parte da energia em combustão (QUIRINO, VALE, *et al.*, 2005). Quanto maior o teor de umidade da madeira, menor é o poder de combustão (CUNHA, PONTES, *et al.*, 1989). Conforme Pereira, Sturion *et al.* (2000), para se efetivar uma boa combustão, o ideal é que a madeira tenha um teor de umidade abaixo de 25% pois, para valores superiores a esse, resultam em uma diminuição na quantidade de calorias, além de reduzir a temperatura na câmara de combustão.

Conforme dados disponibilizados pela Planotec, o cavaco de lenha utilizado pelo estudo de caso Amidonaria C. Vale tem teor de umidade de 30%, com um poder calorífico inferior de 2600 kcal/kg. Os estudos de caso Amidos Pasquin e Alimentos do Zé utilizam lenha com teor de umidade médio de 40%, sendo que o poder calorífico inferior é de 2400 kcal/kg.

Os valores acima apurados são utilizados como base para cálculo do consumo e da economia de energia, proporcionada pela instalação dos equipamentos que possibilitam a recuperação e utilização do biogás produzidos nas lagoas de estabilização das feculárias de mandioca.

4.3.3 Total de água retirado por fonte (EN8)

O protocolo GRI aponta a importância de observação e divulgação dos volumes de água retirados por fonte para consumo em processos produtivos (GRI, 2006). Dessa forma, o indicador informa qual o grau de relevância de determinado produto dentro do contexto da problemática da escassez de água que atinge diferentes regiões.

A publicação pede para que sejam identificados os volumes totais de retirada por qualquer que seja a fonte, e que essa seja identificada. Essa água pode ser proveniente de aquisição junto à empresas de abastecimento, ou retiradas diretamente de aquíferos, de coleta de chuva, rios, lagos, oceanos, entre outros. O importante é que seja dada a soma total trazida para os limites da organização relatora do indicador (GRI, 2006).

O indicador EN8 representará o total de água retirada de aquíferos, uma vez que todos os estudos de casos utilizam-se desse tipo de fonte de água. Não será possível segregar a água utilizada nos processos produtivos de fécula e farinha de outros usos das unidades produtivas, como banheiros, cozinha ou lavagem de áreas internas e externas. Isso porque não há medições em diferentes pontos, mas somente no ponto de coleta. Porém, nenhuma das empresas possui outra produção dentro da planta que não seja de farinha ou fécula.

4.3.4 Total de emissões diretas e indiretas de gases causadores do efeito estufa por massa (EN16 e EN18)

Como relevância desse indicador, o protocolo GRI destaca os GEE's como a principal causa das mudanças climáticas. Dá destaque às regulamentações da UNFCCC e aos regulamentos e incentivos de entidades e governos, para que se controlem e reduzam as emissões desses gases (GRI, 2006).

Para uma organização relatora como um todo, o protocolo orienta que sejam calculados, por meio de uma metodologia escolhida pelo relator, os valores em massa das emissões de diferentes fontes. Solicita que sejam relatados os valores das emissões diretas e indiretas do processo produtivo. As diretas dizem respeito às emissões provenientes da

propriedade da organização ou controlada por ela. Já as indiretas dizem respeito às emissões resultantes das atividades da empresa, porém geradas em fontes localizadas em propriedade de outra organização (GRI, 2006). Para finalizar, a GRI pede que se utilize a conversão de todos os gases para CO_{2e}.

Para a presente pesquisa, o indicador EN16 apresenta as emissões de CH₄ da primeira lagoa de tratamento de efluentes de cada empresa, sem considerar a queima do biogás. Dessa forma, foi possível apurar as emissões do gás CH₄ que ocorria antes da tecnologia de aproveitamento do biogás. Foram considerados os valores referentes ao CH₄ presente no biogás gerado pela lagoa, com o auxílio de um equipamento específico e descrito no item da metodologia referente a artefatos utilizados na pesquisa.

O indicador EN18 apresenta os valores em CO_{2e} evitados, devido ao consumo de CH₄ resultante da queima nas caldeiras das empresas. Os valores de outros GEE's emitidos não fizeram parte do escopo da pesquisa.

4.3.5 Outras emissões atmosféricas (EN20)

Com o propósito de apresentação das emissões atmosféricas de componentes químicos poluentes, o protocolo disponibiliza esse indicador. Ele visa atender a necessidade de relatar gases que possam causar efeitos adversos à população humana e animal. Alguns desses efeitos podem ser a deterioração da qualidade do ar, acidificação, degradação de florestas, entre outros. Esses impactos, de alguma forma, trazem preocupações com a saúde pública ou que afetem a biodiversidade (GRI, 2006).

É solicitado que se relate emissões por categorias, como óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x), poluentes orgânicos persistentes (POPs), compostos orgânicos voláteis (VOC – sigla em inglês), poluentes atmosféricos perigosos (HAP – sigla em inglês), emissões de chaminé e fugitivas, material particulado e outras categorias contidas em regulamentação específica.

Uma das características do biogás é que em sua composição normalmente há a presença do H₂S. Esse gás pode ser prejudicial ao homem pois, se em contato direto, pode causar irritação nos olhos e no nariz. Caso tenha uma exposição direta e rigorosa, pode ser ainda mais prejudicial, podendo causar convulsão e até a morte. Em casos mais amenos, geralmente desencadeia tonturas, diarreia, náuseas, irritações na garganta, danos neurológicos, entre outros (PRICE; CHEREMISINOFF, 1981). Esse gás confere também a característica de trazer odor desagradável ao biogás.

O indicador EN20 é utilizado para apresentar a quantidade de H₂S em partes por milhão, que será medido pelo equipamento especializado na saída do gás na caldeira.

4.3.6 Descarte total de água por qualidade e destinação (EN21)

Segundo as diretrizes GRI, ao ser analisado o volume e a qualidade da água descartada por uma organização, é possível verificar diretamente os impactos ambientais e de custos operacionais. Se descartada com cargas de nutrientes ou de componentes químicos em alta concentração, pode causar impactos significativos nas águas receptoras ou no solo. É orientado que sejam destacados os parâmetros como DBO, sólidos suspensos totais (SST), entre outros (GRI, 2006).

No caso das indústrias processadoras de mandioca, esse é um parâmetro de relevada importância, visto que o impacto decorrente ao descarte indevido de um efluente, que contiver manipueira sem tratamento, pode trazer forte toxicidade ao meio ambiente receptor. A carga de nutrientes dos efluentes dessa indústria também são muito relevantes, levando o meio receptor, quando aquático, a ter um processo de eutrofização e consequente dano à sua biodiversidade natural.

O objetivo do indicador EN21 é o de apresentar os valores apurados de DBO e DQO dos efluentes, antes e depois do tratamento efetuado no sistema biodigestor (primeira lagoa).

4.3 AVALIAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DOS INDICADORES POR EMPRESA

Esse item apresenta, de forma comparativa, a aplicação dos oito indicadores ambientais para cada uma das empresas estudadas.

O primeiro indicador apresentado se refere a materiais usados por massa e volume (indicador EN1), e visa representar o consumo de lenha ou cavaco de lenha de cada indústria pesquisada antes e após a instalação dos biodigestores. Com ele, pretende-se quantificar os valores referentes à redução no consumo de lenha como combustível em cada indústria. A partir desse indicador, é possível efetuar derivações para outros indicadores como, por exemplo, quantificar o quanto de área plantada de eucalipto foi possível conservar com a utilização do aproveitamento do biogás nas empresas.

A Amidonaria C. Vale processa, em média, 400 toneladas de raízes de mandioca por dia. Os insumos entram em processo de moagem mas, além da mandioca adquirida pela empresa no processo produtivo, féculas produzidas por outras indústrias também são

compradas como matéria-prima para o amido modificado que a C. Vale produz na unidade estudada, que atende às indústrias de papel.

A mandioca processada por essa amidonaria gera os efluentes que produzem o biogás, porém, a fécula comprada pronta para ser transformada em amido modificado, não produz efluente, não gerando o biogás.

A economia de cavaco de lenha da empresa depois da instalação do equipamento para captação e queima do biogás foi na ordem de 70%. Antes da inovação, o consumo diário de cavaco de lenha era na ordem de 32 toneladas, sendo que depois da implantação passou para menos que 10 toneladas por dia.

Caso toda a fécula utilizada nos processos da indústria fosse produzida dentro da própria empresa, haveria uma tendência de maior economia de cavaco de lenha, uma vez que maiores quantidades de mandioca sendo consumidas nos processos de moagem significariam maior quantidade de efluentes com carga orgânica, que geraria maior quantidade de biogás a ser aproveitado nas caldeiras.

Das três empresas participantes da pesquisa, essa é a única que se utiliza de cavaco de lenha ao invés da lenha nas caldeiras. Conforme verificado nessa unidade produtora, a umidade média do cavaco de lenha de eucalipto utilizado é de 30%, tendo um poder calorífico de 2600 kcal/kg. A estratégia dessa empresa, segundo seus gestores, é se utilizar de cavaco no lugar de lenha, que é o combustível mais usual nesse tipo de indústria. Isso porque o cavaco possui um poder calorífico maior, representando uma maior eficiência energética, gerando um menor consumo de matéria-prima, conforme relatado em entrevistas.

A Amidos Pasquini utiliza, em média, 200 toneladas de mandioca como matéria-prima, por dia, para moagem. A produção visa, principalmente, à indústria alimentícia, mas também atende indústrias de papel e têxtil. Alguns compradores adquirem o produto em atacado na empresa e vendem de forma pulverizada no mercado. A fécula produzida não possui características de modificações químicas, trabalhando apenas com a secagem de fécula, a partir de mandioca moída dentro da própria planta. Dessa forma, quando se iniciou o aproveitamento do biogás, a economia de combustível de lenha foi significativa.

Até a instalação dos equipamentos, voltados ao aproveitamento do biogás gerado na primeira lagoa de estabilização, o consumo médio diário de lenha, para moagem de 200 toneladas de mandioca, era de 18 toneladas. Após o aproveitamento do biogás, a economia foi de, em média, 95%. A caldeira necessita de um mínimo de lenha, com o propósito de manter o piloto da chama do gás acesa, que é representado pelos 5% que ainda é consumido.

Conforme verificado, a lenha utilizada possui umidade média de 40%, tendo um poder calorífico de 2.400 kcal/kg.

Logo após a instalação do biodigestor com aproveitamento do biogás, os gestores da empresa se viram na necessidade de vender a maior parte do estoque de lenha porque, de outra forma, iriam perder matéria-prima devido a grande economia que o uso do biogás trouxe.

A Alimentos do Zé consome, em média, 200 toneladas de mandioca por dia. O principal produto desse caso de estudo se difere dos outros dois, pois essa indústria possui foco na produção de farinha de mandioca ao invés de fécula. Produz também polvilho, mas esse não chega a 10% em relação à produção da farinha. Na produção da farinha, o processo produtivo se constitui principalmente na torra da mandioca moída em fornos contínuos, e a secagem do polvilho ocorre utilizando-se do calor do sol. Com isso, diferentemente das fecularias, não há lavagem de polpa para extração do amido. Dessa forma, a quantidade de efluentes com carga orgânica é significativamente menor.

Devido às características acima descritas, a produção de biogás é menor nesse caso de estudo. Com isso, o consumo de lenha para combustível em caldeiras, que era de, em média, nove toneladas por dia, passou para quatro toneladas e meia, ou seja, economia de 50% de lenha após o aproveitamento do biogás. A umidade média da lenha utilizada é de 40% e seu poder calorífico de 2.400 kcal/kg.

É observado pelos gestores que, quando há maior produção de polvilho, há maior geração de biogás. Isso porque o polvilho tem características produtivas parecidas com às da fécula. Porém, conforme já mencionado, esse produto representa menos que 10% do total de mandioca moída por essa indústria, não exercendo forte influência na geração de biogás.

A Tabela 2 apresenta os valores antes e após a instalação dos equipamentos de aproveitamento de biogás.

Caso de estudo	Amidonaria C. Vale	Amidos Pasquini	Alimentos do Zé
Consumo médio diário de lenha ou cavaco de lenha antes do aproveitamento do biogás	32 toneladas	18 toneladas	9 toneladas
Consumo médio diário de lenha ou cavaco de lenha após aproveitamento do biogás	9,6 toneladas	0,9 toneladas	4,5 toneladas
Percentual de economia do combustível lenha com o aproveitamento do biogás	70%	95%	50%
Quantidade de média de mandioca moída diariamente	400 toneladas	200 toneladas	200 toneladas
Consumo médio diário de lenha ou cavaco de lenha antes do aproveitamento do biogás por tonelada de mandioca moída	80 kg	90 kg	45 kg
Consumo médio diário de lenha ou cavaco de lenha após aproveitamento do biogás por tonelada de mandioca moída	24 kg	4,5 kg	22,5 kg

Tabela 2 – Consumo de lenha ou cavaco de lenha por caso de estudo – Indicador EN1 (Materiais usados por massa e volume)

Fonte: O autor.

Na primeira coluna da Tabela 2, pode-se observar o título de cada informação que a tabela contém. As três demais colunas são referentes ao conteúdo de cada informação referente a cada uma das indústrias. Verifica-se que a Amidos Pasquini teve a maior economia de combustível lenha com o aproveitamento do biogás nas caldeiras. A economia se mostra bastante representativa quando se observa que, antes do novo sistema instalado no biodigestor, eram necessários 90 kg de lenha para cada tonelada de mandioca moída. Agora, depois do novo sistema, apenas 4,5 kg são necessários, sendo que o valor não chega a zero porque a lenha é necessária para manter a chama piloto da caldeira acesa.

Já a Alimentos do Zé possui a menor taxa de economia. Porém, como a farinha requer uma menor quantidade de combustível para ser produzida em relação à fécula, o seu consumo de lenha não é maior que o da C. Vale, quando se observa os valores relativos ao total de raízes de mandioca processadas. A Alimentos do Zé consome 22,5 kg de lenha para cada tonelada de mandioca, contra 24 kg da C. Vale. Caso a Alimentos do Zé substituísse a

lenha bruta por cavaco, haveria ainda um potencial de economia de matéria-prima aproximando-se do consumo da C. Vale. Outro fator a ser levado em consideração é que, no caso da Alimentos do Zé, a lagoa havia sido recém reformada no momento da pesquisa. Como há necessidade de algum tempo para que o processo de biodigestão se estabilize, para que os micro-organismos trabalhem em plena ação, há a possibilidade de que a geração de biogás seja maior com o tempo, resultando em menor consumo de lenha.

Os próximos indicadores ambientais analisados pela pesquisa são referentes ao consumo de energia direto por fonte de energia primária (EN3 e EN5). Esses visam permitir a comparação entre a energia consumida com o combustível lenha antes e após o aproveitamento de biogás, por cada empresa participante da pesquisa. Até que os novos sistemas de captação de biogás fossem instalados, os casos de estudo se utilizavam de somente lenha para aquecer as caldeiras. Com o aproveitamento do biogás, passou-se a queimar esse gás juntamente com a lenha. Dessa forma, ocorreram diminuição no consumo de lenha derivado de plantações de eucalipto.

O indicador EN3 relata o total de energia consumida derivada de lenha, de acordo com o equivalente em poder calorífico, expresso em kcal/kg. Além dos valores em termos absolutos, são apresentados, também, em termos relativos à quantidade de raízes (mandioca) moídas no processo produtivo em média, por dia, por cada empresa.

Na Tabela 3, é possível verificar os volumes médios de lenha e cavaco de lenha consumidos por cada empresa, assim como a representação numérica em quilocalorias dessa lenha. Com as informações de quantidades de mandioca processadas por empresa por dia, foi possível calcular o consumo médio energético, em quilocalorias, para moagem de um quilo de mandioca por empresa, antes e após o aproveitamento do biogás nos biodigestores (em destaque nas últimas colunas em negrito).

A empresa Amidonaria C. Vale consumia, antes do aproveitamento do biogás, 83.200.000 kcal, ou 96,76 Megawatt-hora (MWh). Com o uso do biogás, o consumo de lenha, em equivalência energética, passou a ser de 24.960.000 kcal, ou 29,02 MWh. Com base na sua produção diária de amido modificado, no qual a empresa processa 400 toneladas de mandioca, o consumo para cada tonelada moída era de 208 kcal, passando a 62,4 após o uso do biogás nas caldeiras.

Já a empresa Amidos Pasquini, utilizava o equivalente a 43.200.000 kcal em lenha para seus processos produtivos diários, ou 50,24 MWh. Passou a consumir energia derivada de lenha na ordem de 2.160.000 kcal ou 2,51 MWh com a instalação dos equipamentos coletores de biogás para utilização nas caldeiras. Com uma produção de amido diário na

ordem de 200 toneladas, podemos concluir que, antes do biogás, eram necessárias 216 kcal para moer uma tonelada de mandioca e, com o uso do biogás, passou para 10,8 kcal em lenha para a mesma tonelada. Esses valores elucidam como o sistema foi capaz de economizar energia comprada (lenha) pela empresa, utilizando-se de combustível produzido pela própria indústria, o qual era desperdiçado em forma de emissões atmosféricas.

As informações pertinentes ao indicador EN3 para a empresa Alimentos do Zé, indicam que a demanda por energia proveniente da lenha era na ordem de 22.500.000 kcal, ou 26,17 MWh, diminuindo ao patamar de 11.250.000 kcal, ou 13,08 MWh com o uso do biogás. Para a fabricação da farinha e do polvilho, a empresa utiliza, em média, 150 toneladas de lenha diariamente. Desse modo, para cada tonelada processada era necessário utilizar 112 kcal de energia derivada de lenha, passando para 56 kcal com a introdução do uso do biogás. É importante observar que, apesar de menor economia de lenha, a indústria de farinha, quanto à geração de biogás, produz menores quantidades de GEE's em comparação com as indústrias de fécula de mandioca.

Empresa	Lenha/cavaco consumidos diariamente em média		Poder Calorífico consumido diariamente em lenha		Mandioca Moída por dia no processo produtivo de fécula e/ou farinha	Poder calorífico consumido por quilo de mandioca moída	
	Antes do biogás	Após o uso do biogás	Antes do biogás	Após o uso do biogás		Antes do biogás	Após o uso do biogás
C. Vale	32.000 kg	9.600 kg	83.200.000 kcal	24.960.000 kcal	400.000 kg	208 kcal	62,4 kcal
Amidos Pasquini	18.000 kg	900 kg	43.200.000 kcal	2.160.000 kcal	200.000 kg	216 kcal	10,8 kcal
Alimentos do Zé	9.000 kg	4.500 kg	22.500.000 kcal	11.250.000 kcal	200.000 kg	112 kcal	56 kcal

Tabela 3 – Energia derivada de lenha e cavaco de lenha consumida por empresa por unidade de produção – indicador EN3

Fonte: O autor.

O próximo indicador relatado referente aos estudos de casos da pesquisa é derivado do indicador EN3, que é o EN5, onde serão apresentados os valores economizados, em unidade energética, de combustível derivado de madeira (lenha e cavaco de lenha).

Na Tabela 4, são apresentados os valores equivalentes, em unidade energética do consumo de lenha. As quantificações são mostradas em colunas, separadas antes e após a instalação dos equipamentos para coleta e aproveitamento de biogás nas indústrias

processadoras de mandioca estudadas pela presente pesquisa. Procura-se demonstrar, nesse item, os valores relativos ao consumo de combustível por unidade de produção, ou seja, quantidade de mandioca moída para produção de fécula, polvilho e farinha. A coluna em destaque (em negrito) apresenta o total de energia economizada com o aproveitamento do biogás, em média, derivada de lenha, por estudo de caso. Dessa forma, é possível comparar os estudos de casos entre si, e também em relação ao desempenho após a implantação da inovação nos biodigestores.

Pode-se observar que, antes do aproveitamento do biogás, a indústria Alimentos do Zé possuía um consumo relativamente menor que a C. Vale e a Amidos Pasquini, por tonelada de mandioca processada. Isso porque 95% da produção dessa empresa é voltada a produzir farinha, que requer quantidades menores de energia do que a fécula para ser produzida. Porém, após o aproveitamento do biogás, a Alimentos do Zé passou a ser a maior consumidora de lenha por tonelada de mandioca moída em relação a todos os estudos de caso. A explicação para isso é porque, na produção de fécula, processos adicionais de lavagem de polpa, que não existem na produção de farinha, conferem ao efluente maior carga orgânica. Dessa forma, a produção de biogás torna-se maior, produzindo maior quantidade de calor e requerendo menor quantidade de lenha nas caldeiras.

A última coluna da Tabela 4 representa, de forma bastante clara isso, uma vez que, enquanto a Alimentos do Zé teve uma economia de energia derivada de lenha na ordem de 50%, a Amidos Pasquini, que produz somente fécula com mandioca moída em sua própria planta, teve uma economia de 95%. A economia da empresa C. Vale pode ter sido sensivelmente menor que a Amidos Pasquini em decorrência de seu modelo de negócio, uma vez que parte da fécula que entra no processo produtivo é comprada de outras empresas. Essa fécula adquirida entra no processo produtivo já nas fases finais, onde a fécula é modificada quimicamente para atender à indústrias de papel, que ainda requerem energia calorífica proveniente das caldeiras. Desse modo, demanda energia porém não produz efluentes com carga orgânica, não incrementando a geração de biogás.

Segundo o conjunto de protocolos de indicadores ambientais GRI, o indicador EN5 visa prover informações de economia e conservação de energia, com foco nas “melhorias tecnológicas e outras iniciativas de conservação de energia” (GLOBAL REPORTING INITIATIVE, 2006, p. 13). Observando-se os resultados da Tabela 4, pode-se considerar, portanto, que a tecnologia aplicada ao aproveitamento do biogás trouxe resultados positivos a esse indicador nos três estudos de casos.

Empresa	Combustível	Poder calorífico consumido por quilo de mandioca moída		Economia em kcal por tonelada de mandioca processada	Percentual de economia
		Antes do biogás	Após o uso do biogás		
C. Vale	Cavaco de lenha de eucalipto	208 kcal	62,4 kcal	145,6	70%
Amidos Pasquini	Lenha de eucalipto	216 kcal	10,8 kcal	205,2	95%
Alimentos do Zé	Lenha de eucalipto	112 kcal	56 kcal	56	50%

Tabela 4 – Energia derivada de lenha e cavaco de lenha economizada por empresa por unidade de produção com a recuperação e utilização do biogás produzido nas lagoas de estabilização – indicador EN5

Fonte: O autor.

Os indicadores EN1, EN3 e EN5 apresentaram resultados quantitativos em relação ao consumo de lenha e cavaco de lenha nas empresas pesquisadas. No primeiro indicador, o foco foi o volume de lenha em massa e, nos indicadores seguintes, o objetivo foi representar o consumo e a economia de energia gerada pelo aproveitamento do biogás nas indústrias processadoras de mandioca.

Explorando as informações colhidas referentes a água consumida relativa ao processo produtivo, as empresas Amidos Pasquini e Alimentos do Zé declararam um consumo de aproximadamente 40 a 50 metros cúbicos de água por hora, durante o horário produtivo das indústrias. Ambas empresas tem uma produção diária que processa 200 toneladas de mandioca. A empresa C. Vale declarou um consumo de aproximadamente 90 metros cúbicos de água para 400 toneladas de mandioca moídas.

Pelos números de consumo declarados, pode-se observar que o setor agroindustrial que processa mandioca é um grande consumidor do recurso água nos processos produtivos. Em todos os casos, porém, os gestores entrevistados relataram que não houve alteração no consumo após a cobertura das lagoas de estabilização, canalização do biogás e queima do mesmo nas caldeiras.

O indicador EN8, portanto, apesar de ser importante do ponto de vista ambiental para a cadeia de processamento de mandioca, não teve impactos positivos nem negativos com a instalação das coberturas nas lagoas de tratamento de efluentes.

Com relação às emissões diretas de gases de efeito estufa por massa, a pesquisa obteve, mediante as mensurações efetuadas pela Planotec diretamente nas empresas participantes, os valores de biogás emitidos no período de junho de 2013 a dezembro de 2013.

Foi apurado o percentual de CH₄ presente em cada medição. As mensurações ocorreram em um dia por mês em cada uma das indústrias, duas vezes ao dia.

A Tabela 5 apresenta os resultados médios dessas medições. Pode-se verificar que o teor de CH₄ presente no biogás varia entre 55% e 60%. Observa-se que a Alimentos do Zé, que tem uma produção voltada quase que exclusivamente para farinha de mandioca, tem uma geração na ordem de um terço de CH₄ por tonelada de matéria-prima processada, em relação ao que tem a Amidos Pasquini, cujo produto é a fécula. Acredita-se que o motivo para isso seja porque a produção de fécula tem uma geração maior de carga orgânica nos efluentes que a de farinha. Em entrevista, o gestor da Alimentos do Zé relatou que, quando se produz polvilho (processo similar ao de fécula, com lavagem adicional da polpa da mandioca), foi observado um aumento na geração de biogás, fortalecendo a suspeita.

Do ponto de vista do aspecto ambiental de emissão de gases efeito estufa, a farinheira produz menor quantidade de CO_{2e} que as fecularias, por unidade de mandioca processada (valores em destaque, em negrito, na última coluna). Porém, para as empresas, essas vêm com maior vantagem a geração de biogás na produção de fécula pois, dessa forma, ocorre uma maior economia de lenha, fortalecendo o viés econômico da instalação dos equipamentos para aproveitamento do biogás gerado pelos biodigestores.

Empresa	Toneladas de mandioca moída por hora na produção de fécula e/ou farinha	Produção média de biogás (normal metro cúbico por hora - nm ³ /h)	% médio de CH ₄ no Biogás	Produção média de CH ₄ por hora (nm ³ /h)	CH₄ produzido por tonelada de mandioca processada (nm³/h)
C. Vale	20	460	55,1%	253	13
Amidos Pasquini	10	340	55,4%	188	19
Alimentos do Zé	10	78,4	59,9%	47	5

Tabela 5 – Geração média de biogás e percentual de metano por caso estudado – Indicador EN16

Fonte: O autor.

A Tabela 6 apresenta a conversão das emissões diárias de CH₄ em CO_{2e} de acordo com a metodologia do IPCC, a qual apresenta esse gás como 21 vezes mais potente em termos de agravar o efeito estufa em relação ao CO₂ (IPCC, 2007). Desse modo, calcula-se as emissões evitadas de CO_{2e} considerando-se que, antes do sistema de aproveitamento do

biogás, o CH₄ era emitido livremente na atmosfera, passando a ser consumido em combustão nas caldeiras, após a instalação dos novos equipamentos.

Empresa	Produção média de CH ₄ (normal metro cúbico por hora - nm ³ /h)	Produção média de CH ₄ por dia (kg)	Emissões de CO _{2e} evitadas com a queima do CH ₄ por dia em toneladas	Emissões de CO_{2e} evitadas com a queima do CH₄ por ano em toneladas
C. Vale	253	3401	71	17858
Amidos Pasquini	188	2528	53	13271
Alimentos do Zé	47	630	13	3309

Tabela 6 – Geração média de CH₄ e emissões de CO_{2e} evitadas com a queima do gás

Fonte: O autor.

Na última coluna da Tabela 5 (em negrito), é possível conferir o total de emissões, em massa, de dióxido de carbono equivalente que seriam emitidos em um ano, caso o biogás continuasse a ser dispersado sem a sua queima. Outras emissões indiretas também podem ser consideradas com a iniciativa, uma vez que lenha de plantações de eucalipto deixaram de ser usadas. Mesmo considerando-se que a lenha é um combustível derivado de biomassa e, como nesse caso é proveniente de área de reflorestamento, que compensa as emissões de GEE's com novos plantios, evita-se pressão sobre a necessidade de novas áreas plantadas. Isso porque a lenha que deixa de ser usada por essas indústrias pode atender a outras demandas. Há ainda a poupança de uso de transportes e espaço físico para armazenar a lenha nas empresas.

Como dito anteriormente, o indicador EN20 refere-se às emissões do gás sulfídrico (H₂S). Esse gás pode ser prejudicial ao homem e ao meio ambiente, e o mesmo é um dos componentes que normalmente está presente na composição do biogás. Ele pode causar irritações nos olhos e nariz, tonturas, diarreias, irritações no sistema respiratório e até danos neurológicos (PRICE; CHEREMISINOFF, 1981). Esse gás, muitas vezes, também é responsável por impactos ambientais relacionados a odor dentro, e nas vizinhanças, das indústrias. Conforme os autores Lins, Maciel, *et al.* (2005), a intoxicação que o H₂S pode causar é dividida em aguda, subaguda e crônica. Isso depende da concentração do gás no ar, da duração, da frequência, da exposição e da suscetibilidade individual. Esses autores ainda apontam os possíveis danos ambientais que esse gás pode causar, que é em relação a chuva

ácida resultante da reação do sulfeto de hidrogênio com o oxigênio. O H₂S possui, também, a característica de ser corrosivo, por isso pode danificar equipamentos em contato direto com o mesmo.

Na Tabela 7, pode-se observar os possíveis danos causados ao ser humano pelo H₂S, de acordo com sua concentração e o tempo de exposição.

Concentração H ₂ S (ppm)	Tempo de Exposição	Efeitos
0,0005 - 0,13	1 minuto	percepção do odor
10-21	6-7 horas	irritação ocular
50-100	4 horas	Conjuntivite
150-200	2-15 minutos	perda do olfato
200-300	20 minutos	inconsciência, hipotensão, edema pulmonar, convulsão, tontura e desorientação
900	1 minuto	inconsciência e morte
1.800-3.700	Instantes	Morte

Tabela 7 - Concentração de H₂S, tempo de exposição e Efeitos

Fonte: (LINS et al., 2005)

Na Tabela 8, verificam-se os valores médios apurados em cada uma das empresas em relação aos valores de H₂S em ppm. As medições compreenderam o período de junho de 2013 a dezembro de 2013, uma vez ao mês com duas medições.

Empresa	H ₂ S em partes por milhão (ppm) média
C. Vale	123,4
Amidos Pasquini	123,1
Alimentos do Zé	127,8

Tabela 8 – Valores de H₂S mensurados no biogás gerado pelas lagoas de estabilização – Indicador EN20

Fonte: O autor.

Como observa-se na Tabela 8, os valores entre as empresas estão muito próximos. Isso justifica-se pelo fato de que o tipo de carga orgânica dos efluentes das três indústrias são similares. Comparando-se os valores registrados nas Tabelas 8 aos da Tabela 7, verifica-se que as empresas devem dar atenção a essas emissões e analisar se é necessário instalar sistemas de remoção do H₂S antes de queimar o biogás.

Quanto ao impacto ambiental odor, que só pode ser mensurado segundo as percepções das pessoas próximas ao ponto das emissões, foi apurado, nas entrevistas, relatos

diferenciados entre as empresas. A Amidonaria C. Vale declarou que o odor nunca foi um problema na planta. Isso porque houve um bom projeto de engenharia no desenvolvimento das lagoas de estabilização para tratamento de efluentes. Desse modo, não houve impactos positivos nem negativos com a cobertura das lagoas para aproveitamento de biogás quanto a odor. Já as outras empresas declararam que perceberam impacto positivo com a cobertura, uma vez que, antes da mesma, era perceptível o odor proveniente das lagoas e depois que cobertas isso resultou em significativa melhora.

Outra melhora observada durante as entrevistas, porém não quantificadas na presente pesquisa, foi a redução das emissões atmosféricas de fuligem. Com a diminuição do uso de lenha como combustível pelo aproveitamento do biogás, a fuligem gerada em consequência da queima foi também diminuída, melhorando o desempenho ambiental do processo quanto ao aspecto emissões atmosféricas de material particulado.

Em relação aos efluentes descartados no meio ambiente, seja em cursos d'água ou diretamente ao solo, a presente pesquisa dá tratamento ao tema por meio do indicador EN21. Na indústria processadora de mandioca, o consumo de água é expressivo, pois há necessidade de uso de altos volumes para lavagens das raízes e para lavagem e condução da polpa até que se obtenha a fécula. Com isso, essas empresas são grandes geradoras de efluentes e, dessa forma, o aspecto ambiental descarte de água é de substancial relevância, podendo seus possíveis impactos serem caracterizados como significativos em sistemas de gestão ambiental.

Por esses motivos, o indicador EN21 da GRI foi selecionado para representar a qualidade do efluente tratado nos sistemas de biodigestores. O planejamento da pesquisa foi para que fossem feitas análises de DBO e DQO do efluente resultante da primeira lagoa, que é aquela que recebeu cobertura para captação do biodigestor. Seria interessante que se observasse se houve diferença na qualidade do efluente com essas coberturas.

No entanto, por problemas de força maior, a presente pesquisa não conseguiu efetuar as medições necessárias para apurar os valores de DBO e DQO das empresas e abastecer o indicador EN21.

Os resultados práticos que a pesquisa encontrou foram nas entrevistas concedidas pelos gestores das empresas, ou seja, são dados com características qualitativas que não puderam atribuir valores ao indicador EN21. A empresa Amidonaria C. Vale declarou que houve melhora considerável na qualidade do efluente. Antes da instalação da cobertura na lagoa, as apurações de qualidade dos efluentes estavam sempre dentro do que pede a legislação, porém, muito próximo ao limite legal. Depois da cobertura, os valores passaram a

ter uma folga maior para cumprir ao requisito legal. As demais empresas não souberam afirmar se houve alteração nos efluentes em decorrência das coberturas instaladas nas lagoas.

Esse é um tema importante para que, em futuras pesquisas, tratem a influência exercida pelo biodigestor em lagoas de estabilização em relação a qualidade do efluente gerado ao final do processo de tratamento.

Apresentados os indicadores quantitativos e qualitativos obtidos pela pesquisa nos casos estudados, observa-se claramente o benefício ambiental do aproveitamento do biogás gerado em processo de biodigestão de efluentes de indústrias de mandioca, uma vez que não houveram quaisquer valores que representassem negatividade significativa ao processo, dentro do escopo estudado. Observaram-se vários aspectos satisfatórios, principalmente quanto à redução da utilização de matéria-prima no processo produtivo (lenha), quanto à minimização das emissões de gases de efeito estufa. O capítulo em sequência apresenta uma síntese das análises apresentadas na pesquisa, com comentários e considerações finais do autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As conclusões apresentadas nesse capítulo visam responder a questão central do presente estudo referente ao desempenho ambiental de um processo inovativo na produção de fécula e farinha de mandioca, no setor de agronegócios brasileiro. O principal ponto que procurou-se investigar foi o de que, com a instalação dos equipamentos para aproveitamento de biogás gerado em lagoas de estabilização, o desempenho ambiental das indústrias passou a ser mais positivo. Desse modo, é possível concluir se as inovações são do tipo que o mercado hoje reconhece como ecoinovação ou simplesmente de inovação ambiental.

Para isso, o trabalho teve como objetivo investigar três indústrias do estado do Paraná, as quais são processadoras de mandioca, com finalidade de produzir fécula, farinha e polvilho. Delimitou-se a pesquisa em um escopo que abrange a seguinte fronteira: moagem da mandioca à queima do biogás e lenha nas caldeiras tendo, como uma das saídas, os resíduos orgânicos gerados, conduzidos por efluentes líquidos e tratados nas lagoas de estabilização às quais se tornaram biodigestores.

Os principais aspectos e impactos ambientais pertinentes às atividades das três indústrias foram explorados por emprego de pesquisa bibliográfica, onde verificou-se que os aspectos referentes a consumo de energia, consumo de água, geração de efluentes tóxicos (manipueira) e emissões atmosféricas de GEE's estavam entre os principais para esse ramo de atividade. Isso pôde ser comprovado por meio de entrevistas, observações em visitas e valores apurados diretamente nas operações das empresas.

À partir desses aspectos, foram identificados indicadores de desempenho ambiental que entraram como ferramenta de apoio, para suportar a ação de avaliar o desempenho ambiental no processo de aproveitamento do biogás. Esses indicadores foram baseados nas diretrizes GRI para relatórios de sustentabilidade, e os critérios para escolha dos mesmos foram baseados nos principais aspectos e impactos levantados dentro do escopo do presente estudo.

A seleção dos oito indicadores que foram utilizados é um resultado prático da pesquisa, demonstrando que ferramentas como o *framework* GRI são de grande valia para serem utilizados em apurações e divulgação de desempenho sustentável. As diretrizes GRI são estruturadas para apoiar as mais diferentes instituições, sejam elas estruturas administrativas privadas ou públicas, pequenas ou grandes. Aqui, nesse trabalho, procurou-se inovar, uma vez que apenas parte das diretrizes foi utilizada, exercendo foco no viés

ambiental da sustentabilidade. Outra característica diferente da usual, é que se delimitou parte da operação das empresas estudadas, ao invés de analisar e relatar a empresas como um todo.

Os indicadores ambientais, com seus protocolos de utilização, estão dispostos ao público em geral no sítio eletrônico da GRI. É praxe no mercado que as empresas se utilizem das diretrizes, juntamente com os seus indicadores, para divulgar seus relatos de desempenho anualmente, incluindo uma auditoria independente para dar maior credibilidade ao processo. Aqui, aproveitou-se da estrutura proporcionada pela GRI e, aliando-se ao processo metodológico de estudo de casos múltiplos, aplicou-se em uma utilização mais específica, que trouxe satisfatório suporte ao exercício da avaliação de desempenho ambiental dos objetos de estudo.

Dos 30 indicadores sugeridos pela GRI, um total de oito puderam ser aproveitados, servindo de base para futuros projetos de pesquisa para desempenho ambiental em atividade agroindustriais semelhantes ao do processamento de mandioca.

O processo de seleção das indústrias pesquisadas foi outro resultado prático. Procurou-se, dentro das restrições do projeto, selecionar diferentes empresas, com diferentes características, mas do mesmo ramo de atuação (processamento de mandioca). Como resultado, a pesquisa selecionou uma grande empresa com um parque moderno, uma empresa com estrutura familiar, porém já com inovações importantes no processo produtivo, e outra empresa também de estrutura familiar, mas com uma forma mais tradicional de administração dentro do ramo agroindustrial. Dessa forma, pôde-se comparar em diversos momentos como os diferentes modelos de gestão e produção também trazem diferentes resultados ao desempenho ambiental dos processos produtivos.

Observou-se que a flexibilidade do projeto desenvolvido pela empresa de engenharia responsável pela instalação dos equipamentos para aproveitamento de biogás foi um ponto fundamental para o sucesso dos projetos. Dessa forma, possibilitou-se atingir empresas de grande porte como a C. Vale, e ao mesmo tempo empresas de porte pequeno, produtoras de farinha e com menor poder de investimento. Verificou-se que, quando o projeto é de grande complexidade, como é o caso dos projetos de obtenção de crédito de carbono, as pequenas empresas não se mostram interessadas, conforme relatado em entrevistas. Esse tipo de projeto requer grande quantidade de esforço administrativo para efetuar as devidas comprovações. No entanto, nos casos aqui estudados, o projeto era simples porque não se alteraram significativamente as estruturas produtivas, requerendo adaptações mínimas em equipamentos. E o resultado foi direto porque o benefício financeiro do projeto está diretamente ligado à economia na compra de lenha sendo que, em um dos casos, o

investimento foi recuperado em menos de nove meses. Uma inovação se faz a partir da viabilidade de implantação da mesma. Isso foi comprovado em todos os casos aqui estudados.

Os resultados dos indicadores propiciaram quantificação do desempenho ambiental e avaliação em cada um dos casos. Demonstrou-se que o cavaco de lenha é mais eficiente do que a lenha quando se compara duas fecularias, onde uma utilizava-se de 80 kg de cavaco para processar uma tonelada de mandioca, enquanto a outra queimava 90 kg de lenha bruta. Já a farinha demonstrou necessitar de menor quantidade energética do que as fecularias. Com o aproveitamento do biogás, observou-se que houve grandes variações na economia de lenha nas diferentes empresas. Isso devido a diferentes características produtivas entre elas, principalmente porque a farinha gera menos carga orgânica nos efluentes do que as fecularias. Dessa forma, há menor geração de biogás. Isso evidencia que a farinha tem menor geração de GEE's que as fecularias por unidade de mandioca processada. Demonstra, também, que o aproveitamento de biogás é tão mais importante em agroindústrias quanto maior for sua geração de efluentes com altas cargas orgânicas.

O grande destaque na economia de lenha entre as empresas foi no caso da Amidos Pasquini, uma vez que essa conseguiu o máximo de economia possível com o aproveitamento do biogás, chegando a 95%. Os 5% de lenha ainda necessários são para manter a chama piloto do gás queimando na caldeira. Considerando-se que não houve grandes adaptações na caldeira dessa empresa, sendo que o processo de alimentação da lenha necessária e regulagem de fluxo de biogás são todos manuais e, de acordo com as percepções do operador, ainda há potencial de melhoria e melhor aproveitamento do biogás gerado por essa empresa. A empresa C. Vale possui sistema que detecta automaticamente, e em tempo real, a quantidade de combustíveis que devem ser injetados ao processo. Se um sistema parecido com esse fosse instalado também na Amidos Pasquini, provavelmente haveria sobras de biogás. Essa sobra poderia ser utilizada em geração de eletricidade ou mesmo na cozinha industrial da empresa. Observa-se, portanto, potencial para que melhorias tecnológicas deem ainda maior eficiência ao aproveitamento energético do biogás.

A flexibilidade do projeto foi importante para viabilizar a inovação, porém verifica-se que, se as empresas investirem os resultados financeiros favoráveis a partir do aproveitamento do biogás em outras melhorias tecnológicas, outros benefícios ainda podem ser alcançados, como o exemplo citado de geração de energia elétrica, que poderia ser utilizada internamente na empresa ou vendida à rede distribuidora. De qualquer forma, seriam outras iniciativas que trariam um desempenho ambiental ainda melhor às operações.

Os indicadores de consumo e economia de energia a partir da lenha com o uso do biogás trouxe dados interessantes no presente trabalho. É comum, em relatórios de sustentabilidade de empresas, que esses dados sejam relatados em valores absolutos, ou seja, publica-se o consumo de energia, ou quanto foi economizado no período. Porém, não é comum relacionar isso ao quanto a empresa produziu no mesmo período. Nessa pesquisa, apresentou-se o poder calorífico consumido de lenha, antes e depois do aproveitamento do biogás, por quantidade de mandioca processada. Não foram apresentados resultados por quantidade de farinha ou fécula produzida, pois isso daria uma base de comparação equivocada, uma vez que são produtos diferentes. Nesses indicadores, mais uma vez, observa-se que, quanto maior a carga orgânica nos efluentes, maior o benefício do aproveitamento do biogás. Após o aproveitamento do biogás, a Amidos Pasquini necessitou de 10,8 kcal para processar um quilo de mandioca, enquanto a Farinheira do Zé precisou de 56 kcal de lenha. Antes do biogás nas caldeiras, a Pasquini necessitava de 216 kcal, contra 112 kcal da Alimentos do Zé.

Outro aspecto ambiental relevante para essas indústrias é o de consumo de água. Verificou-se que não houve alteração quando se instalaram os biodigestores, não afetando o desempenho ambiental quanto a esse aspecto. Os pontos positivos observados na pesquisa é o de que há uma preocupação, e iniciativas por parte das empresas, para reuso de água nos processos, assim como o aproveitamento de efluentes tratados para a fertirrigação.

O aspecto ambiental aqui tratado mais importante foi o de emissão de GEE's. Isso porque o CH_4 era emitido livremente na atmosfera antes do aproveitamento do biogás nas caldeiras, e esse é de grande potencial para efeitos de aquecimento global. Os indicadores demonstraram, de forma quantitativa, o quanto cada indústria estudada gera, em média, de CH_4 por tonelada de mandioca processada. Novamente, há de se destacar a importância em relatar indicadores com valores relacionados com a produção da empresa. Proporciona-se, assim, uma melhor base comparativa entre as diferentes empresas. Comprova-se que a produção de farinha gera menor quantidade de GEE's, uma vez que, para cada tonelada de mandioca processada, produz $6 \text{ nm}^3/\text{h}$ de CH_4 , enquanto as fecularias produzem mais que o dobro dessa quantidade.

Em decorrência disso, é natural que a queima do biogás traga mais benefícios ambientais para as fecularias que farinheiras. Isso é comprovado pelo indicador de emissões de CO_2e derivado do CH_4 evitado, numa projeção de produção de um ano. A C. Vale, com a queima de biogás, evita emitir quase 18 mil toneladas, a Amidos Pasquini pouco mais de 13

mil e a Alimentos de Zé, que produz principalmente farinha, evita emitir pouco mais de 3 mil toneladas de CO_{2e} em forma de CH₄ por ano.

Outro indicador importante relatado na pesquisa para esse tipo de operação é em relação às emissões atmosféricas de H₂S. Esse é um gás tóxico que prejudica o ambiente de diversas formas, seja pela inalação direta de homens ou animais, seja em decorrência da acidificação da chuva. Os resultados demonstram que os valores obtidos são de significância suficiente para que haja uma preocupação, e monitoramento constante, dos gestores das empresas sobre esse tema. Sendo que, caso necessário, tecnologias de extração do H₂S do biogás devem ser aplicadas antes de sua combustão.

O último indicador representa a qualidade da água descartada pelas empresas, o qual é de relevada importância, pois conforme constatado na pesquisa, os efluentes das atividades processadoras de mandioca geram efluentes tóxicos ao meio ambiente. Por motivos de força maior, o trabalho não obteve sucesso em capturar os dados que eram esperados. Como resultado prático ficou somente a percepção apurada nas entrevistas com os gestores das empresas, sem valores quantitativos a serem apresentados. O destaque é para a empresa C. Vale, que ressaltou que notou melhora considerável na qualidade final do efluente tratado após a lagoa ser coberta para criação do biodigestor. Dessa forma, apresenta-se aqui uma oportunidade importante para que sejam feitas pesquisas nessa área, sobretudo em relação ao quanto a cobertura de lagoas de estabilização de tratamento de efluentes orgânicos pode colaborar maximizando o tratamento dos mesmos.

De uma forma geral, portanto, a investigação demonstra vários pontos que provam o desempenho ambiental favorável ao uso da tecnologia de aproveitamento do biogás em indústrias processadoras de mandioca, sejam elas fecularias ou farinheiras. Os destaques são para se evitar emissões de GEE's e para a economia de combustível comprado externamente. O aproveitamento do resíduo para geração de combustível, com uso direto no processo produtivo, traz aspectos ainda mais favoráveis ao desempenho. De grande potencial é a possibilidade de replicação dessa ideia, com as devidas adaptações, a outras atividades agroindustriais que produzem efluentes com cargas orgânicas concentradas, e que são tratados em lagoas de estabilização de forma anaeróbia. Como exemplo, pode-se citar a indústria sucroalcooleira. Mas muitos outros têm potencial aplicação, principalmente em um país como o Brasil que possui forte vocação na agroindústria.

O setor de produção e processamento de mandioca possui destacada importância na cultura e na economia brasileira, e pesquisas que colaborem na avaliação dos processos, assim

como em sugestões de aplicabilidade de novas tecnologias, são de grande relevância e espera-se que essa pesquisa tenha vindo a colaborar nesse sentido.

Os biodigestores com aproveitamento do biogás nas indústrias estudadas são, de fato, umaecoinovação. A afirmação é baseada nos resultados práticos ambientais apresentados, adicionado ao fato de que esses introduziram novidades aos processos das empresas. Essas novidades melhoraram o desempenho do processo produtivo do ponto de vista operacional, porque facilitou o trabalho nas caldeiras diminuindo a necessidade de alimentação do fogo com lenha. Melhorou também o desempenho econômico, uma vez que diminuiu os custos produtivos com a economia do combustível.

Espera-se que, com o final da leitura do presente trabalho, outras pesquisas sejam inspiradas para promoverem avaliações de desempenho ambiental, aproveitando-se dos processos metodológicos aqui aplicados, principalmente em relação ao uso dos indicadores de desempenho ambiental segundo as Diretrizes da GRI.

REFERÊNCIAS

- ABAM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES E AMIDO DE MANDIOCA, 25 maio 2013. Disponível em: <<http://www.abam.com.br>>. Acesso em: 25 maio 2013.
- ALVES, E. R. D. A.; VEDOVOTO, L. G. **A Indústria do Amido de Mandioca**. Brasília: EMBRAPA, 2003. 201 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14001: 2004** - Sistemas de Gestão Ambiental: requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: [s.n.], 2004.
- BALAT, M.; BALAT, H. Biogas as a renewable energy source - A review. **Energy Sources, v. Part A**, v. 31, n. 14, p. 1280-1293, 2009.
- BANCO MUNDIAL. **Relatório sobre o desenvolvimento mundial de 2010: desenvolvimento e mudança climática**. São Paulo: UNESP, 2010.
- 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. 183-186, 2000.
- BARATA, M. M. L. O setor empresarial e a sustentabilidade no Brasil. **Revista Pensamento Contemporâneo em Administração**, v. 1, n. 1, p. 70-86, 2007.
- BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial**. 2a. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.
- BARRATT, M.; CHOI, T. Y.; LI, M. Qualitative case studies in operations management: trends, research outcomes, and future research implications. **Journal of Operations Management**, v. 29, n. 4, p. 329-342, 2011.
- BRASIL SEM MISÉRIA. **Encontro debate melhorias para cadeia produtiva de mandioca**. Brasil Sem Miséria, 2013. Disponível em: <<http://www.brasilsemiseria.gov.br/noticias/ultimas-noticias/2013/outubro/encontro-debate-melhorias-para-cadeia-produtiva-da-mandioca>>. Acesso em: 24 abr. 2014.
- C.VALE. **Revista C.Vale**, Palotina, p. 34, julho/agosto 2013.
- CAMPOS, A. T. et al. Tratamento de águas residuárias de fecularia por meio de lagoas de estabilização. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 235-242, jan/abr 2006.
- CAPES. Programa de Apoio ao Ensino e à Pesquisa Científica e Tecnológica em Assuntos Estratégicos de Interesse Nacional (Pró-Estratégia). **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior**, 2013. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/component/content/article/48-programas-especiais/5157-programa-de-apoio-ao-ensino-e-a-pesquisa-cientifica-e-tecnologica-em-assuntos-estrategicos-de-interesse-nacional-pro-estrategia>>. Acesso em: 21 out. 2013.

- CARVALHO, L. J. C. B. Biodiversidade e biotecnologia em mandioca. (*Manihot esculenta Crantz*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA. 11., 2005, Campo Grande. **Anais...** Brasília: EMBRAPA. 2005.
- CARVALHO, P. G. M. D.; BARCELLOS, F. C. Mensurando a sustentabilidade. In: MAY, P. H. **Economia do Meio Ambiente**. 2a. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. p. 99-132.
- CASSONI, V.; CEREDA, M. P. Avaliação do Processo de Fermentação Acética da Manipueira. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 26, p. 101-113, 2011. ISSN 4.
- CEREDA, M. P. Fécula de mandioca como ingrediente para alimentos. **Revista da ABAM**, Paranavaí, jul./set. 2005. Disponível em: <<http://www.abam.com.br/revista/revista11/ceteagro.php>>. Acesso em: 15 jan. 2013.
- CHERNICHARO, C. A. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: biodigestores anaeróbicos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, v. 5, 1997. 246 p.
- COLIN, X. et al. Anaerobic treatment of cassava starch extraction wastewater using a horizontal flow filter with bamboo as support. **Bioresource Technology**, 98, 2007. 1602-1607.
- CREMONEZ, Paulo André; FEIDEN, Armin; SANTOS, Reginaldo Ferreira; ROSSI, Eduardo de; NADALETI, Willian Cezar; ANTONELLI, Jhonatas. Biodigestão anaeróbia no tratamento de água residuária de fecularia. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 2, p. 89-99, 2013. ISSN 2.
- CUNHA, M. P. S. C. et al. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 1989, São Carlos, **Anais...** São Carlos, p. 93-120.
- CUNICO, E.; CIRANI, C. B. S.; SOUZA, M. T. S. D. Ecoinovação: Implementação da tecnologia de biodigestores com desempenho ambiental. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 14., 2012, São Paulo: ENGEMA, 2012.
- DIRETRIZES GRI. **Diretrizes para Relatório de Sustentabilidade**. 3.1. ed. Amsterdam: GRI, 2006. Disponível em: <<http://www.globalreporting.org>>. Acesso em: 18 jul. 2011.
- EISENHARDT, K. M. Building theories from case study research. **Academy of management review**, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.
- ESPM; SEBRAE. **Estudo de Mercado sobre a mandioca (farinha e fécula)**. Série **Mercado SEBRAE**, 08 jan. 2008. 81. Disponível em: <[http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/BDS.nsf/2AA42520A9A66B5783257405004FCB94/\\$File/01.relatorio_MANDIOCA.pdf](http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/BDS.nsf/2AA42520A9A66B5783257405004FCB94/$File/01.relatorio_MANDIOCA.pdf)>. Acesso em: 18 dez 2012.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Farmer participatory research: the turning point for cassava development in Northeast Brazil. **A review of cassava in Latin América and the Caribbean with countries: case**

studies on Brazil and Colombia, 2006. Disponível em:
<<http://www.fao.org/docrep/007/y5271e/y5271e07.htm>>. Acesso em: 15 jan 2013.

FEIDEN, A. Tratamento de águas residuárias de indústria de fécula de mandioca através de biodigestor anaeróbico com separação de fases em escala piloto. 2001. 90 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu,

FELIPE, F. I.; RIZATO, M.; WANDALSEN, J. V. Potencial econômico dos resíduos de mandioca provenientes de fecularias no Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL. 47., 2009. Porto Alegre. Anais... Brasília: SOBER, 2009.

FUSSLER, C.; JAMES, P. **Driving Eco-Innovation**: a breakthrough discipline for innovation and sustainability. London: Pitman Publishing, 1996.

GALLOPÍN, G. C. Indicators and Their Use: Information for Decision-Making. In: MOLDAN, B.; BILLHARZ, S. **Sustainability Indicators**. [S.l.]: Wiley, 1997. Cap. 1. Disponível em: <<http://www.scopenvironment.org/downloadpubs/scope58/ch01-introd.html>>. Acesso em: 29 ago. 211.

GLOBAL REPORTING INITIATIVE. **Conjunto de Protocolos de Indicadores: EN. al Reporting Initiative**, 2006a. Disponível em: <<http://www.globalreporting.org>>. Acesso em: 18 jun. 2011.

GLOBAL REPORTING INITIATIVE. **Diretrizes para Relatório de Sustentabilidade**. Amsterdam: GRI, 2006b. Disponível em: <<http://www.globalreporting.org>>. Acesso em: 18 jul. 2011.

GLOBAL REPORTING INITIATIVE. **GRI Reporting List - Relatório histórico das publicações de relatórios de sustentabilidade através das diretrizes GRI**. GRI. Amsterdam. 2011.

HOURNEAUX JUNIOR, F.; HRDLICKA, H. A. **Indicadores ambientais na indústria de São Paulo**. IV Ciclo de Debates em Economia Industrial, Trabalho e Tecnologia. [S.l.]: Grupo de Pesquisa Economia Industrial, Trabalho e Tecnologia Pontifícia Universidade Católica. 2006.

IPCC. **IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007**. Intergovernmental Panel on Climate Change. [S.l.]. 2007.

JAHN, T. G.; DADAM, A. P.; NICOLAU, V. P. Estudo da eficiência energética de forno a rolos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 50, 2006, Blumenau, **Anais...** São Paulo: ABCERAM, 2006.

JARA, E. R. P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas–IPT, 1989.

JOIA, L. A. Geração de modelos teóricos a partir de estudos de casos múltiplos: da teoria à prática. In: VIEIRA, M. M. F.; ZOUAIN, D. M. **Pesquisa qualitativa em administração**. 2. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2006. p. 123-149.

KEMP, R.; ARUNDEL, A. **Survey Indicators for Environmental Innovation**. MERIT (Maastricht Economic Research Institute on Innovation and Technology). Maastricht, The Netherlands: 1998.

KEMP, René; FOXON, Tim. Typology of eco-innovation. **United Nations University Working Paper Series**, 2007. 1-40.

LEONARD-BARTON, D. A dual methodology for case studies: synergistic use of a longitudinal single site with replicated multiple sites. **Organization Science**, v. 1, n. 3, p. 248-266, 1990.

LEONEL, M. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 579-588, 2007.

LINS, E. A. M. et al. Avaliação da insalubridade causada pelo biogás de um aterro de resíduos sólidos urbanos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2005.

MARAIS, G. V. R.; HAANDEL, A. C. V. Design of grit channels by Parshall flumes. **Water Science and Technology**, v. 33, n. 3, p. 195-210, 1996.

MASSOTTI, Z. Viabilidade técnica e econômica do biogás a nível de propriedade. **Centro Nacional de Pesquisa em Suínos e Aves - CNPSA EMBRAPA**, 2005. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf_doc/10-Massotti.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2013.

MATSUURA, F. C. A. U.; FOLEGATTI, M. I. S.; SARMENTO, S. B. S. **Iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial: processamento da mandioca**. Brasília: EMBRAPA / SEBRAE, 2003.

NOBRE, S. R.; SILVA, T.; CABRAL, J. E. P. Doença celíaca revisitada. **Jornal Português de Gastroenterologia**, Lisboa, v. 14, n. 4, p. 184-193, 2007.

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development. **Core set of indicators for environmental performance reviews - a synthesis report by the group on the state of the environment**. n. 83. ed. Paris: OECD, 1993.

OLIVEIRA, K. R. F. D.; IDE, C. N.; PAULO, P. L. Processos ecotecnológicos no tratamento de efluentes líquidos de fecularia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA. 11. 2005, Campo Grande. **Anais...** Brasília: EMBRAPA. 2005.

OLIVEIRA, Paulo Armando Vitória de; HIGARASHI, Martha Mayumi. **Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos**. Série Documentos n. 115. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves. 2006. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf_doc/doc115.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2013.

OTSUBO, A. A.; LORENZI, J. O. **Cultivo da mandioca na região centro sul do Brasil**. Dourados: Embrapa, v. 2004, 2004. 116 p. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/249613/1/SP20023.pdf>>. Acesso em: 14 jan. 2013.

PARIZOTTO, A. A. Desempenho de lagoas de sedimentação na remoção de cargas orgânicas, nutrientes e coliformes totais em despejos industriais de fecularias. 1999. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Cascavel, 1999.

PARIZOTTO, A. A. Minimização de custos econômicos e ambientais pelo uso de lagoas de sedimentação no tratamento de despejos de fecularias. *Revista de Ciências Empresariais da UNIPAR*, Toledo, v. 3, n. 2, p. 211-218, jun-dez 2002

PARKIN, G. F.; OWEN, W. F. Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludge. **Journal of Environmental Engineering**, v. 112, n. 5, p. 867-920, out. 1986.

Pereira, J C. D.; Sturion, J. A.; Higa, A. R.; Higa, R. C. V.; Shimizu, J. Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2000.

PINTO, P. H. M.; CABELLO, C. Tratamento de manipueira de fecularia em biodigestor anaeróbio para disposição em corpo receptor, rede pública ou uso em fertirrigação. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, 23, v. 26, n. 3, p. 127-140, 2011.

PRICE, E. C.; CHEREMISINOFF, P. N. **Biogas: production and utilization**. Ann Arbor: Ann Arbor Science, 1981.

Quirino, Waldir F.; Vale, Ailton Teixeira do; Andrade, Ana Paula Abreu de; Abreu, Vera Lucia Silva; Azevedo, Ana Cristina dos Santos. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, v. 89, p. 100-106, 2005.

RUNDQUIST, J.; HALILA, F. The development and market success of eco-innovations: A comparative study of eco-innovations and “other” innovations in Sweden. **European Journal of Innovation Management**, v. 14, n. 3, p. 278-302, 2011.

Sanchez, E., Borja, R., Travieso, L., Martín, A., & Colmenarejo, M. F.. Effect of organic loading rate on the stability, operational parameters and performance of a secondary upflow anaerobic sludge bed reactor treating piggery waste. **Bioresource Technology**, v. 96, n. 3, p. 335-344, 2005.

SANT'ANNA JR, G. L. **Tratamento Biológico de Efluentes: fundamentos e aplicações**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 418 p.

SCHWENGBER, J. E.; SCHIEDECK, G.; GONÇALVES, M. D. M. Preparo e utilização de caldas nutricionais e protetoras de plantas. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. Disponível em http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/folder_cartilha/cart_498-06.pdf. Acesso em: 15 mai. 2014.

SEIFFERT, M. E. B. **ISO 14001 Sistemas de Gestão Ambiental - implantação objetiva e econômica**. 3a. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

SEIXAS, J.; FOLLE, S.; MARCHETTI, D. **Construção e funcionamento de biodigestores**. Brasília: EMBRAPA, 1980.

SENAI-RS. **Implementação de Programas de Produção mais Limpa**. Porto Alegre: Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/UNIDO/INEP, 2003. 42 p.

SOUZA, L. D. S.; FIALHO, J. D. F. A Cultura da Mandioca. **Sistemas de Produção**, Cruz das Almas, BA, Jan 2003. 38. Disponível em: <http://paraiso.ifto.edu.br/docente/admin/upload/docs_upload/material_8f3ef977a3.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2012.

STAKE, R. E. Qualitative Case Studies. In: DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. **The sage handbook of qualitative research**. 3. ed. London: Sage, 2000. p. 434-454.

UNFCCC. Global Warming Potentials. **United Nations Framework. Convention on Climate Change**, 2013. Disponível em: <http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php>. Acesso em: 12 out. 2013.

UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. **AMS-III.H.: Methane recovery in wastewater treatment --- Version 16.0**, 2013. Disponível em: <<https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/4ND00PCGC7WXR3L0LOJTS6SVZP4NSU>>. Acesso em: 12 out. 2013.

VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP. **Eclet. Quím.**, São Paulo, v. 22, p. 49-66, 1997. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-46701997000100005>. Acesso em: 16 jul. 2013.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de Sustentabilidade: Uma Análise Comparativa**. 2a. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2005.

VENTURA, M. M. O estudo de caso como modalidade de pesquisa. **SoCERJ**, Rio de Janeiro, v. 20, p. 383-386, set/out 2007. ISSN 5.

VIEIRA, M. M. F. Por uma boa pesquisa (qualitativa) em administração. In: VIEIRA, M. F. M.; ZOUAIN, D. M. **Pesquisa qualitativa em administração**. 2. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2006. Cap. 1, p. 224.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

ANEXO I: RELATÓRIO EMITIDO PELA PLANOTEC COM OS DADOS COLHIDOS NAS EMPRESAS PARTICPANTES DA PESQUISA

Objetivos Específicos:

- Qual o teor de metano presente?
- Qual o teor de ácido sulfídrico?
- Qual a quantidade de emissão de gás metano que se evita lançar na atmosfera?

Segue na sequência análises realizadas em cada agroindústria:

1) FECULARIA CVALE - Assis Chateaubriand-PR

Coordenadas Geográficas: X=241.199 / Y=7.314.457 Fuso 22J

Data	Teor de Metano %	Índice Wobbe Metano (mínimo)	Poder calorífico Biogás	H2S (ppm)
25/06/13	59	11500	6785 kcal/nm ³	120
25/06/13	57	11500	6555 kcal/nm ³	156
23/07/13	56	11500	6440 kcal/nm ³	113
23/07/13	55	11500	6325 kcal/nm ³	95
18/08/13	53	11500	6095 kcal/nm ³	132
18/08/13	55	11500	6325 kcal/nm ³	57
22/09/13	50	11500	5750 kcal/nm ³	138
22/09/13	54	11500	6210 kcal/nm ³	154
27/10/13	55	11500	6325 kcal/nm ³	137
27/10/13	57	11500	6555 kcal/nm ³	132
Média	55,1	11500	6336,5 kcal/nm ³	123,4

Esta empresa trabalha com amidos modificados para indústria de papel, em um período 270 dias por ano, com uma capacidade instalada de 400 toneladas de moagem de raiz de mandioca por dia. Anterior ao início da queima do biogás, o consumo de cavaco na empresa era de 32 toneladas diárias, para uma moagem de 400 toneladas de raiz.

O cavaco utilizado tem uma umidade média de 30%, com um poder calorífico de 2600 kcal/kg. Desta forma para uma secagem média de 6 toneladas/hora de amido modificado, o consumo era de 4.160.000 kcal/hora ou 693.333 kcal/ton. amido. Com início da queima de biogás, houve uma redução em média de 70% do consumo de cavaco. A variação na economia de cavaco depende da moagem da indústria. Como a empresa trabalha com amido modificado catiônico para indústria de papel, a mesma compra fécula de outras empresas para usar no modificado, reduzindo a moagem de mandioca, devido a não presença de água vegetal, diminuindo a formação de biogás e baixando a média de economia de cavaco.

O teor de metano para esse biogás se manteve na faixa de 55%, com um poder calorífico médio de 6336,5 kcal/nm³. A produção média de biogás foi de 460nm³/hora ou 182kg de metano/hora.

O gás metano tem um poder de poluição 21 vezes maior comparado ao CO₂, portanto para uma produção de 182kg/hora ou 3640kg/dia. A poluição evitada de 76,4 ton/CO₂ equivalente/dia ou 20628 ton/ano.

Para essa indústria a redução no consumo diário de lenha foi 22,4 toneladas, ou 6.048 toneladas durante o ano. Considerando uma produtividade de 270 toneladas de eucalipto por hectare em um período de 7 anos ou 38,57 toneladas por ano, a área evitada de desmatamento é de 22,3 hectares por ano ou 156 hectares no ciclo de 7 anos.

2) AMIDOS PASQUINI - Nova Esperança-PR

Coordenadas Geográficas: X=319.114 / Y=7.436.343 Fuso 22K

Data	Teor de Metano %	Índice Wobbe Metano (mínimo)	Poder calorífico Biogás	H₂S (ppm)
27/06/13	55	11500	6325 kcal/nm ³	87
27/06/13	54	11500	6210 kcal/nm ³	96
24/07/13	56	11500	6440 kcal/nm ³	113
24/07/13	57	11500	6555 kcal/nm ³	180
19/08/13	53	11500	6095 kcal/nm ³	155
19/08/13	55	11500	6325 kcal/nm ³	137
23/09/13	56	11500	6440 kcal/nm ³	125
23/09/13	53	11500	6095 kcal/nm ³	132
29/10/13	57	11500	6555 kcal/nm ³	95
29/10/13	58	11500	6670 kcal/nm ³	111
Média	55,4	11500	6371 kcal/nm ³	123,1

Esta empresa trabalha com fécula alimentícia para frigoríficos e embutidos, em um período 250 dias por ano, com uma capacidade instalada de 200 toneladas de moagem de raiz de mandioca por dia. Anterior ao início da queima do biogás, o consumo de lenha empresa era de 18 toneladas diárias, para uma moagem de 200 toneladas de raiz.

A lenha utilizada tem uma umidade média de 40%, com um poder calorífico de 2400 kcal/kg. Desta forma para uma secagem média de 3 toneladas/hora de fécula, o consumo era de 2.160.000 kcal/hora ou 720.000 kcal/ton. amido. Com início da queima de biogás, houve uma redução em média de 100% do consumo de lenha. A variação na economia de lenha depende da moagem da indústria. A empresa trabalha com apenas secagem de fécula, da mandioca moída, explicando a alta economia de lenha.

O teor de metano para esse biogás se manteve na faixa de 55%, com um poder calorífico médio de 6371 kcal/nm³. A produção média de biogás foi de 340nm³/hora ou 135kg de metano/hora.

O gás metano tem um poder de poluição 21x maior comparado ao CO₂, portanto para uma produção de 135kg/hora ou 2700kg/dia. A poluição evitada de 54 ton/CO₂ equivalente/dia ou 13500 ton/ano.

Para essa indústria a redução no consumo diário de lenha foi 18 toneladas, ou 4500 toneladas durante o ano. Considerando uma produtividade de 270 toneladas de eucalipto por hectare em um período de 7 anos ou 38,57 toneladas por ano, a área evitada de desmatamento é de 16,6 hectares por ano ou 116,3 hectares no ciclo de 7 anos.

No início das atividades de moagem desta indústria, utilizava-se um sistema de secagem diferenciado do atual. Ao invés de geração de vapor por caldeira, o sistema utilizava a queima direta de GLP dentro dos dutos de secagem da fécula. O consumo energético era na faixa de 320.000kcal/ton. De fécula seca. Como houve um grande aumento nos custos do GLP, esse passou a ser substituído por caldeira à lenha.

Como atualmente existe o biogás, com teores de ácido sulfídrico H₂S muito baixos, comparados a gases de aterros sanitários e granjas de suínos, torna-se fácil a remoção do H₂S e a queima direta. Como a empresa ainda dispunha do sistema de queima de gás no duto de secagem de fécula (queimador air flow) fez-se uma adaptação para o mesmo queimar biogás.

Análises de contaminações ou problemas no produto estão sendo realizadas de modo que não comprometa o produto final.

Os resultados já estão aparecendo, uma vez que o consumo de biogás no sistema de queima direta já reduziu pela metade o consumo de biogás. Sendo assim o biogás que antes era utilizado na caldeira agora pode ser utilizado em motogeradores para geração de 400kw/hora de eletricidade para a própria empresa.

Se o sistema de secagem direta for aplicado em todas as indústrias, existe a tendência de redução de consumo de lenha a zero em todas as indústrias, com geração de eletricidade por algumas delas.

3) ALIMENTOS DO ZÉ - Cianorte-PR

Coordenadas Geográficas: X=335.203/ Y=7.354.796 Fuso 22K

Data	Teor de Metano %	Índice Wobbe Metano	Poder calorífico Biogás	H2S (ppm)
27/06/13	59	11500	6785 kcal/nm ³	120
27/06/13	57	11500	6555 kcal/nm ³	137
24/07/13	61	11500	7015 kcal/nm ³	200
24/07/13	65	11500	7475 kcal/nm ³	156
19/08/13	60	11500	6900 kcal/nm ³	94
19/08/13	58	11500	6670 kcal/nm ³	108
23/09/13	54	11500	6210 kcal/nm ³	130
23/09/13	61	11500	7015 kcal/nm ³	150
29/10/13	65	11500	7475 kcal/nm ³	70
29/10/13	59	11500	6785 kcal/nm ³	113
Média	59,9	11500	6888,5 kcal/nm ³	127,8

Esta empresa trabalha na fabricação de farinha de mandioca e polvilho azedo com secagem ao sol, em um período 250 dias por ano, com uma capacidade instalada de 150 toneladas de moagem de raiz de mandioca por dia. Anterior ao início da queima do biogás, o consumo de lenha empresa era de 9 toneladas diárias.

A lenha utilizada tem uma umidade média de 40%, com um poder calorífico de 2400 kcal/kg. Desta forma para torrar uma média de 2 toneladas/hora de farinha, o consumo era de 1.080.000 kcal/hora ou 540.000 kcal/ton. farinha. Com início da queima de biogás, houve uma redução em média de 50% do consumo de lenha. A variação na economia de lenha depende da moagem da indústria. A empresa trabalha torra de farinha em forno contínuo e secagem do polvilho ou fécula azeda ao sol. A economia de lenha nesse caso é menor comparada com outras indústrias de mandioca, uma vez que boa parte da água vegetal da mandioca (25%) não é extraída no processo de prensagem da mandioca, pois não ocorre a lavagem da polpa da mandioca para extração do amido como ocorre nas fecularias que moem e lavam a polpa da mandioca extraindo toda a água vegetal, responsável pela carga orgânica nas lagoas e consequentemente a formação de biogás. Como a produção de polvilho é na faixa de 10% da produção de mandioca da indústria, essa não tem grande interferência na economia de lenha.

O teor de metano para esse biogás se manteve na faixa de 60%, com um poder calorífico médio de 6888 kcal/nm³. A produção média de biogás foi de 78,4nm³/hora ou 34kg de metano/hora.

O gás metano tem um poder de poluição 21 vezes maior comparado ao CO₂, portanto para uma produção de 34kg/hora ou 680kg/dia. A poluição evitada de 13,6 ton/CO₂ equivalente/dia ou 3400 ton/ano.

Para essa indústria a redução no consumo diário de lenha foi 4,5 toneladas, ou 1125 toneladas durante o ano. Considerando uma produtividade de 270 toneladas de eucalipto por hectare em um período de 7 anos ou 38,57 toneladas por ano, a área evitada de desmatamento é de 4,2 hectares por ano ou 29,4 hectares no ciclo de 7 anos.

- Qual a equivalência energética comparada à lenha que se evita a queima?

Agroindústrias	Quantidade de Lenha sem Biodigestor	Quantidade de Lenha com Biodigestor
Amidos Pasquini	18	0
Alimentos do Zé	9	4,5
Fecularia C.Vale	32	9,6

- Qual a área de reflorestamento não derrubada?

Agroindústrias	Área de reflorestamento derrubado/ano (ha)	Área não derrubada/7 anos (ha)
Fecularia Cvale	22,3	156
Amidos Pasquini	16,6	116,3
Alimentos do Zé	38,57	29,4

- Qual o teor de umidade do biogás? Ainda não foi analisado.

- Há interferência do teor de umidade em relação ao poder calorífico do mesmo? Ainda não foi analisado.

- Qual o melhor horário para a queima do biogás? Ainda não foi analisado.

- Qual a relação entre DQO (Demanda Química de Oxigênio) removida e a produção de biogás? Ainda não foi analisado.

Observação: Este ano a moagem da mandioca foi baixa, devido à escassez da raiz no mercado desde meados de 2012. Desta forma a comparação da DQO X vazão X produção de biogás não foi realizada. Assim há necessidade de continuidade do projeto para este monitoramento. Visto que para os meses de março a julho é o período pelo qual há plena safra de mandioca.

ANEXO II: INDICADORES DE DESEMPENHO GRI NA ESFERA AMBIENTAL

Código	Aspecto	Título
EN1	Materiais	Materiais usados por massa e volume
EN2	Materiais	Percentual dos materiais usados provenientes de reciclagem
EN3	Energia	Consumo de energia direto por fonte de energia primária
EN4	Energia	Consumo de energia indireta discriminada por fonte primária
EN5	Energia	Energia economizada devido a melhorias em conservação e eficiência
EN6	Energia	Iniciativas para fornecer produtos e serviços com baixo consumo de energia, ou que usem energia gerada por recursos renováveis
EN7	Energia	Iniciativas para reduzir o consumo de energia
EN8	Água	Total de água retirada por fonte
EN9	Água	Fontes hídricas significativamente afetadas por retirada de água
EN10	Água	Percentual e volume total de água reciclada e reutilizada
EN11	Biodiversidade	Localização e tamanho da área possuída, arrendada ou administrada dentro de áreas protegidas, ou adjacentes a elas, e áreas de alto índice de biodiversidade fora das áreas protegidas
EN12	Biodiversidade	Descrição de impactos significativos na biodiversidade de atividades, produtos e serviços em áreas protegidas e em áreas de alto índice de biodiversidade fora das áreas protegidas
EN13	Biodiversidade	Habitats protegidos ou restaurados
EN14	Biodiversidade	Estratégias, medidas em vigor e planos futuros para a gestão de impactos na biodiversidade
EN15	Biodiversidade	Número de espécies na Lista Vermelha da IUCN e em listas nacionais de conservação com habitats em áreas afetadas por operações, discriminadas pelo nível de risco de extinção
EN16	Emissões/efluentes/resíduos	Total de emissões diretas e indiretas de gases de efeito estufa, por peso
EN17	Emissões/efluentes/resíduos	Outras emissões indiretas relevantes de gases de efeito estufa
EN18	Emissões/efluentes/resíduos	Iniciativas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e as reduções obtidas
EN19	Emissões/efluentes/resíduos	Emissões de substâncias destruidoras da camada de ozônio, por peso
EN20	Emissões/efluentes/resíduos	Nox, Sox e outras emissões atmosféricas significativas, por tipo e peso
EN21	Emissões/efluentes/resíduos	Descarte total de água, por qualidade e destinação
EN22	Emissões/efluentes/resíduos	Peso total de resíduos, por tipo e método de disposição
EN23	Emissões/efluentes/resíduos	Número e volume total de derramamentos significativos
EN24	Emissões/efluentes/resíduos	Peso dos resíduos transportados, importados, exportados ou tratados, considerados perigosos nos termos da Convenção de
EN25	Emissões/efluentes/resíduos	Identidade, dimensão, estatuto de proteção e valor para a biodiversidade dos recursos hídricos e respectivos habitats, afetados de forma significativa pelas descargas de água e escoamento superficial
EN26	Produtos e serviços	Iniciativas para mitigar os impactos ambientais de produtos e serviços e a extensão da redução desses impactos
EN27	Produtos e serviços	Porcentagem recuperada de produtos vendidos e respectivas embalagens, por categoria
EN28	Conformidade	Valor monetário de multas significativas e número total de sanções não monetárias resultantes da não conformidade com leis e regulamentos ambientais
EN29	Transporte	Impactos ambientais significativos do transporte de produtos e outros bens e materiais utilizados nas operações da organização
EN30	Geral	Total de investimentos e gasto em proteção ambiental, por tipo

Fonte: DIRETRIZES GRI, 2006

APÊNDICE I: ROTEIRO DE ENTREVISTA

1. Nome e Cargo do Entrevistado;
2. Quais são os produtos que a empresa produz?
3. Quais as quantidades médias produzidas mensais de farinha e/ou fécula de mandioca e qual o consumo de mandioca para produção?
4. A empresa possui um Sistema de Gestão Ambiental SGA formalizado?
5. Quais são os principais resíduos gerados pela empresa?
6. Há processo definido para manejo de resíduos? Se positivo, como ele ocorre? Quais as áreas responsáveis?
7. Com a implantação do sistema de biodigestão com aproveitamento do biogás nas caldeiras, qual foi a economia de lenha registrada? Quanto era consumido de lenha antes do sistema e quanto passou a ser consumido depois?
8. Qual a quantidade de efluente gerado pela empresa?
9. Qual o consumo médio mensal de água nos processos da empresa? Há medição exclusiva dentro de diferentes etapas do processo produtivo?
10. O processo de reuso de água nos processos produtivos teve alteração após a implantação do sistema de biodigestores da Planotec?
11. Houve mudanças na percepção de odores nas lagoas após a instalação do novo sistema?