

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE ENSINO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

CAROLINE BOHN

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UMA ETAPA DE
PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS NO PROCESSO DE GERAÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA EM UM ABATEDOURO DE AVES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2013

CAROLINE BOHN

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UMA ETAPA DE
PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS NO PROCESSO DE GERAÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA EM UM ABATEDOURO DE AVES**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do grau de Bacharel do Curso
de Engenharia de Produção da
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná – UTFPR, Câmpus Medianeira.

Orientador: Prof. Dr. Laercio M Frare

Co-orientador: Prof. Ms. Reginaldo
Borges

MEDIANEIRA

2013

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE ENSINO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

TERMO DE APROVAÇÃO

VIABILIDADE ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UMA ETAPA DE
PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS NO PROCESSO DE GERAÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA EM UM ABATEDOURO DE AVES

por

CAROLINE BOHN

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 09:30 horas, em 23 de Agosto de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho **aprovado**.

Dr. Laercio Mantovani Frare
Orientador

Ms. Reginaldo Borges
Co-orientador

Dr. Rafael Arioli
Membro da banca

Dra. Vania Lionço
Membro da banca

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Dr. Laercio Mantovani Frare, pelos ensinamentos, conselhos, ideias, sugestões, e por, sobretudo, ser um exemplo de profissional a ser seguido.

Ao meu co-orientador, Reginaldo, e demais professores, não só os que tiveram participação efetiva neste trabalho, mas todos que ao longo do curso contribuíram para a minha formação profissional.

A minha família, pelo amor e confiança, e por, sobretudo, me ensinarem a confiar em Deus e crer que ele sempre nos reserva o melhor. Vocês são meu motivo para tudo.

Ao meu namorado, pelo apoio incondicional e por estar comigo em todas as horas, amo você.

Aos amigos e colegas, por dividirem comigo as alegrias e angústias de uma das fases mais importantes da minha vida. Em especial: Kao Pei Yui, Francieli Giehl, Letícia de Oliveira, Simone Geitenes, Thiago de Camargo Cezar, Evandro Camana, Angela Bem, Camila Scortegagna, Eduardo Naumann, Rafaella Scaravonatti, Daisy Regina dos Santos, Tatiana Almeida, Marlene Rodrigues da Silva, Debora Brum e demais amigos queridos.

À Cooperativa Agroindustrial LAR, pela abertura da empresa para a realização do trabalho, e principalmente ao Tecnólogo Ambiental James Morais, pelo esclarecimento das dúvidas e presteza nas solicitações referentes ao trabalho.

A todos que, com boa intenção, colaboraram para a realização deste trabalho.

Certamente, estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que merecem meu agradecimento. Portanto, peço desculpas àquelas que não estão presentes em palavras, mas que fazem parte do meu pensamento e gratidão.

“Não há alternativa, é a única opção, unir o otimismo da vontade e o pessimismo da razão. Contra toda expectativa, contra qualquer previsão, há um ponto de partida, há um ponto de união. Sentir com inteligência, pensar com emoção.”

Humberto Gessinger

RESUMO

BOHN, Caroline. **Viabilidade econômica da implantação de uma etapa de purificação de biogás no processo de geração de energia elétrica em um abatedouro de aves. 2013.** 82 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2013.

O aproveitamento de efluentes industriais como fonte de energia alternativa a partir da utilização do biogás produzido em biodigestores já é algo comprovado. No entanto, apesar de existirem impurezas que prejudicam o processo de combustão, ainda são escassos os estudos de processos de purificação de biogás com ênfase na geração de energia elétrica. Com a crescente competitividade entre as empresas, investir no reaproveitamento de efluentes tem sido uma excelente opção para a geração de energia, e, conseqüentemente, aumento da eficiência dos processos e redução de custos industriais, além de beneficiar a imagem das empresas. Porém, para que o biogás gerado possa ser utilizado como fonte energética, ele precisa ser purificado, retirando dele o sulfeto de hidrogênio (H_2S), que causa malefícios a saúde humana e avarias ao sistema de geração de energia elétrica. Portanto, a purificação do biogás é uma etapa importante para o aumento da eficiência na utilização deste tipo de energia alternativa. O trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade econômica da implantação de um sistema de purificação de biogás que utiliza o método de remoção de H_2S por absorção química em solução de Fe-EDTA, instalado em um frigorífico de aves da região oeste do Paraná. A metodologia utilizada foi a de anualização dos custos de investimento, fazendo um comparativo entre os processos de geração de energia com biogás não purificado e purificado. Nas análises econômicas, a taxa de juros utilizada foi de 7% a.a., aplicada pelo FINEP, financiador do projeto de geração de energia do frigorífico em questão. Considerou-se como 365 dias a disponibilidade da planta de geração de energia, e 10 anos como o tempo de amortização do investimento. Como receita, considerou-se apenas a produção de energia elétrica para autoconsumo industrial. A análise econômica constatou que a inclusão da etapa de purificação alterou o custo do biogás de 0,157 R\$/m³ para 0,165 R\$/m³, e o custo da energia elétrica de 0,218 R\$/kW para 0,222 R\$/kW. Apesar dos acréscimos nos custos unitários dos produtos, o cenário de análise do biogás purificado apresentou TIR de 22,5% e *payback time* de 3 anos e 11 meses, sensivelmente melhores que o cenário de análise do biogás não purificado, que apresentou TIR de 22,42%, e *payback time* de 4 anos, o que mostra que a implantação da etapa de purificação de biogás no processo de produção de eletricidade é viável, e que o sistema pode tornar-se ainda mais lucrativo com a inclusão de novas receitas, aproveitando todo o seu potencial.

Palavras-chave: Purificação de Biogás, Sulfeto de Hidrogênio (H_2S), Fe-EDTA, Geração de Energia Elétrica, Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

BOHN, Caroline. **Economic Feasibility of Implantation of Biogas Purification in the Electricity Generation Process at a Poultry Slaughterhouse**. 2013. 82 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2013.

The use of industrial waste as an alternative energy source from the use of biogas produced in biodigesters is already proven. However, although there are impurities that affect the combustion process, there are still few studies of biogas purification processes with emphasis on power generation. With the growing competition between companies, invest in reuse of wastewater has been an excellent choice for power generation and, consequently, increase the processes efficiency and reduce manufacturing costs, besides benefit the corporate image. But, that biogas can be used as an energy source, he needs to be purified, removing the hydrogen sulfide (H_2S), which causes harm to human health and damage to electricity generation system. Therefore, the biogas purification is an important step to increase efficiency in the use of this alternative energy. The study aimed to evaluate the economic feasibility of a biogas purification system which uses the method of H_2S removal by chemical absorption in Fe-EDTA solution, installed in a poultry slaughterhouse in the western Paraná. The methodology used was the annualized investment costs, making a comparison between the processes of energy generation with biogas unpurified and purified. In the economic analysis, the annual interest rate used was 7%, applied by FINEP, financer of the project of energy generation of the poultry slaughterhouse. The availability of the power generation plant was considered in 365 days, and the investment payback period, in 10 years. As revenue, was considered only the production of electricity for own industry consumption. The economic analysis found that inclusion of the purification step changed the biogas cost of 0,157 R\$/m³ to 0,165 R\$/m³, and the electricity cost of 0,218 R\$/kW to R\$ 0,222 R\$/kW. Despite increases in the unit costs of the products, the purified biogas scenario presented IRR of 22,5% and *payback time* of 3 years and 11 months, better than the unpurified biogas scenario, which showed a IRR of 22,42%, and *payback time* of 4 years, which shows that the implantation of the biogas purification step in the electricity production is feasible, and that the system may become even more lucrative with the inclusion of new recipes, taking advantage of its full potential.

Keywords: Biogas Purification, Hydrogen Sulfide (H_2S), Fe-EDTA, Electric Power Generation, Economic Feasibility.

LISTA DE ABREVIATURAS

AI	Análise de Investimento
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CH ₄	Gás Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
EDTA	Ácido Etilenodiaminotetraacético
FC	Fluxo de Caixa
Fe-EDTA	Ferro Quelado com Ácido Etilenodiaminotetraacético
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
H ₂	Hidrogênio
H ₂ S	Sulfeto de Hidrogênio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO 9001	Norma de Gestão da Qualidade
kVA	Quilovoltampére
N ₂	Nitrogênio
NH ₃	Amoníaco
O ₂	Oxigênio
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
pH	Potencial Hidrogeniônico
PVC	Policloreto de Vinila
RPM	Rotações por Minuto
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SIF	Sistema de Inspeção Federal
SO ₂	Dióxido de Enxofre
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Média de Atratividade
UBABEF	União Brasileira de Avicultura
UIA	Unidade Industrial de Aves
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	30
Equação 2	30
Equação 3	30
Equação 4	30
Equação 5	41
Equação 6	41
Equação 7	42
Equação 8	50
Equação 9	50
Equação 10	50
Equação 11	51
Equação 12	51
Equação 13	51
Equação 14	52
Equação 15	52
Equação 16	53
Equação 17	53
Equação 18	53
Equação 19	53
Equação 20	54
Equação 21	54
Equação 22	54
Equação 23	54
Equação 24	54
Equação 25	55
Equação 26	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo de abate de aves	18
Figura 2 - Planta baixa e cortes de um biodigestor	22
Figura 3 - Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia	24
Figura 4 - Corrosão microbiológica provocada por H ₂ S	26
Figura 5 - Corrosão por H ₂ S em água de formação	27
Figura 6 - Molécula de EDTA e sua ligação com um metal.....	30
Figura 7 – Modelo do sistema de purificação proposto por Bohn <i>et al</i> (2012)	33
Figura 8 - Ciclo de Engenharia de Negócios.....	37
Figura 9 - Diagrama do fluxo de caixa.....	39
Figura 10 – Fluxograma da abordagem proposta para a análise de investimento	43
Figura 11 - Fluxograma de co-geração de energia	47
Figura 12 - Sistema de purificação de biogás utilizado na UIA	48
Figura 13 - Fluxos de processo e componentes do purificador	48
Figura 14 - Gráfico Comparativo dos Fluxos de Caixa.....	65
Figura 15 - Influência do Número de Trocas da Solução nos Custos do Biogás e da Eletricidade.....	66
Figura 16 - Influência da Concentração da Solução nos Custos do Biogás e da Eletricidade.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Níveis de Tratamento de Efluentes	20
Quadro 2 - Composição característica média do biogás	25
Quadro 3 - Inovação empresarial e industrial	35
Quadro 4 – Tarifas da energia elétrica nos horários de ponta e fora de ponta para a classe Horossazonal Verde A3a	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de biogás nos três motogeradores e tempo de operação	57
Tabela 2 - Energia elétrica gerada pelo sistema	58
Tabela 3 - Economia de energia em valores para um ano	58
Tabela 4 - Levantamento dos custos do sistema de biodigestão (CIB)	60
Tabela 5 - Levantamento dos custos do sistema de geração de energia elétrica (CIM)	61
Tabela 6 - Levantamento dos custos do sistema de purificação de biogás (CIP)	62
Tabela 7 - Gastos anuais de manutenção do purificador	63
Tabela 8 - Comparativo dos resultados dos cenários	64
Tabela 9 - Indicadores econômicos dos dois cenários	66

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS.....	15
1.1.1 Objetivo Geral.....	15
1.1.2 Objetivos Específicos.....	15
1.2 JUSTIFICATIVA.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.3 O FRIGORÍFICO DE AVES	17
2.4 EFLUENTES DE FRIGORÍFICOS DE AVES.....	18
2.5 TRATAMENTO DE EFLUENTES DE FRIGORÍFICOS DE AVES	19
2.6 GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE EFLUENTES	21
2.6.1 Biodigestores	21
2.6.2 O Processo de Biodigestão	23
2.7 O BIOGÁS	25
2.7.1 Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ S).....	25
2.7.2 A Purificação do Biogás.....	27
2.7.2.1 Processos de remoção de H ₂ S por absorção	28
2.7.2.1.1 Métodos para remoção de H ₂ S com metal quelado.....	29
2.8 CO-GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS	31
2.8.1 Geradores	32
2.8.2 Inclusão da Etapa de Purificação de Biogás no Processo de Geração de Energia Elétrica	32
2.9 INOVAÇÃO	34
2.10 MUDANÇA EM PROCESSOS PRODUTIVOS	36
2.11 VIABILIDADE ECONÔMICA.....	37
2.11.1 Ferramentas da Engenharia Econômica.....	38
2.11.1.1 Análise de investimento (AI)	38
2.11.1.1.1 Fluxo de caixa (FC).....	38
2.11.1.1.2 Taxa mínima de atratividade (TMA).....	40
2.11.1.1.3 Valor presente líquido (VPL).....	41
2.11.1.1.4 Taxa interna de retorno (TIR).....	41
2.11.1.1.5 Tempo de retorno do investimento (Payback Time)	42
2.11.1.2 Sequência de passos para a análise de um investimento	42
3 MATERIAIS E MÉTODOS	44
3.1 TIPO DE PESQUISA	44
3.2 ÁREA DE ESTUDO	45
3.2.1 Sistema de Tratamento de Efluentes, Biodigestão e Co-geração de Energia	46
3.2.2 Sistema de Purificação de Biogás	47
3.3 CUSTO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS NÃO PURIFICADO E PURIFICADO	49
3.3.1 Cálculo da Geração de Biogás	49

3.3.2 Consumo de Biogás pelos Motogeradores	49
3.3.3 Energia Elétrica Gerada.....	50
3.3.4 Custo da Produção de Energia Elétrica a Partir do Biogás.....	52
3.3.5 Custo anualizado equivalente do investimento no conjunto do moto gerador (CAG)	53
3.3.5.1 Gasto anual com biogás ($CAB_{\text{moto gerador}}$)	53
3.3.5.2 Produção de eletricidade (PE)	54
3.3.5.3 Custo anualizado equivalente do investimento no equipamento de purificação (CAP).....	55
3.3.5.4 Gasto anual com a manutenção do purificador ($CAM_{\text{purificador}}$)	55
3.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE DOS INVESTIMENTOS	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1 CONSUMOS DE BIOGÁS PELOS MOTOGERADORES/GERAÇÃO DE BIOGÁS.....	57
4.2 PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE	58
4.3 ECONOMIA DE ENERGIA	58
4.4 CENÁRIO 1: CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA A PARTIR DO BIOGÁS NÃO PURIFICADO.....	59
4.4.1 Gastos Anuais com o Biogás ($CAB_{\text{moto gerador}}$).....	59
4.4.2 Custo Anualizado Equivalente do Investimento no Conjunto do Moto gerador (CAG)	60
4.4.3 Custo da Produção de Energia Elétrica a Partir do Biogás Não Purificado	61
4.5 CENÁRIO 2: CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA A PARTIR DO BIOGÁS PURIFICADO	62
4.5.1 Gasto Anual com a Manutenção do Purificador ($CAM_{\text{purificador}}$)	63
4.5.2 Custo Anualizado Equivalente do Investimento no Equipamento de Purificação (CAP)	63
4.5.3 Custo da Produção de Energia Elétrica a Partir do Biogás purificado	63
4.6 CONFRONTO DOS DOIS CENÁRIOS.....	64
4.6.1 Comparação dos Custos	64
4.6.2 Fluxos de Caixa	65
4.6.3 Análise Econômica	65
4.7 CENÁRIO 2 – INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS: NÚMERO DE TROCAS DE SOLUÇÃO E CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO.....	66
5 CONCLUSÕES	68
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
REFERÊNCIAS.....	70
APÊNDICE A	78
APÊNDICE B	79
APÊNDICE C	80
APÊNDICE D	81
APÊNDICE E	82

1 INTRODUÇÃO

Diante do crescente aumento da demanda energética e da dificuldade para o seu suprimento, devido a recentes crises no setor de combustíveis fósseis, faz-se necessário o investimento em novas fontes energéticas alternativas para auxiliar no desenvolvimento sustentável.

Na região Oeste do Paraná, destaca-se a produção agroindustrial, que com o aumento da demanda, aumenta também a quantidade de dejetos gerados, entre eles o de frigoríficos avícolas, podendo representar um sério problema ambiental. Por outro lado, esses dejetos podem ser utilizados como matéria-prima para a produção de biogás (COLDEBELLA, 2006).

A geração de energia (mecânica, térmica ou elétrica) a partir do biogás originado do reaproveitamento de dejetos e efluentes é uma alternativa energética renovável, que possibilita a criação de fontes de suprimentos descentralizadas e em pequena escala em indústrias que busquem desenvolvimento sustentável e apostem em novas tecnologias para o suprimento de sua demanda de energia.

Porém, para que o biogás possa ser utilizado em todo seu potencial e entrar na matriz energética brasileira de forma efetiva, é necessário sua purificação, antes de sua conversão em energia, retirando dele o sulfeto de hidrogênio, danoso para a saúde dos trabalhadores que entram em contato com o biogás nas indústrias, bem como para o sistema de geração de energia (tubulações, motogeradores e demais equipamentos) ao qual pode trazer muitas avarias, acarretando em custos que podem desmotivar as indústrias a se utilizarem desta fonte energética.

Sendo assim, o estudo aprofundado da viabilidade econômica da implantação de uma etapa de purificação de biogás no processo de geração de energia é importante para avaliar se com ela, o processo se mantém rentável.

Considerando a realidade e as necessidades apontadas acima, realizou-se a análise de viabilidade econômica da implantação de uma etapa de purificação de biogás em um frigorífico de aves. O sistema de purificação utiliza o mecanismo de remoção de sulfeto de hidrogênio por absorção com reação química em solução de ferro quelado com EDTA (ácido etilenodiaminotetraacético).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Verificar a viabilidade econômica da implantação de uma etapa de purificação de biogás proveniente do tratamento de efluentes de um frigorífico de aves, no processo de geração de energia elétrica.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Levantar os custos da geração de energia elétrica a partir do biogás não purificado;
- b) Levantar os custos da geração de energia elétrica a partir do biogás purificado;
- c) Comparar por meio de ferramentas de engenharia econômica os custos anualizados dos dois processos.

1.2 JUSTIFICATIVA

O aproveitamento de efluentes industriais como fonte de energia alternativa e barata, por meio da utilização de biodigestores, é uma opção que já vem sendo utilizada em indústrias. No entanto, ainda são escassos os estudos de processos de purificação de biogás com ênfase na geração de energia.

Em virtude da crescente competitividade entre as empresas, o investimento em reaproveitamento de efluentes tem sido uma excelente opção para a geração de energia alternativa, e, conseqüentemente, aumento da eficiência dos processos e redução de custos industriais. A energia gerada pode ser utilizada no abastecimento da indústria.

Porém, para que o biogás gerado possa ser utilizado como fonte energética, ele precisa ser purificado, retirando assim o sulfeto de hidrogênio, causador de malefícios aos funcionários e aos equipamentos utilizados para este fim.

Neste contexto, a purificação do biogás é uma etapa importante para sua utilização como fonte energética, contribuindo para a redução de custos com energia elétrica e aumento da eficiência na utilização deste tipo de energia alternativa.

Entende-se também que a avaliação de aspectos técnicos e econômicos da implantação e operação de biodigestores e purificadores de biogás, pode contribuir na formulação de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento local de forma sustentável, bem como apoiar à tomada de decisão quanto à implementação dessas tecnologias para o segmento da geração distribuída de energia em pequenas escalas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo será apresentada uma revisão bibliográfica sobre os temas pertinentes ao presente trabalho: o frigorífico de aves e os seus efluentes, geração de biogás a partir de efluentes, o biogás (composição, problemas, purificação), cogeração de energia elétrica, inovação, mudança em processos produtivos e viabilidade econômica.

2.3 O FRIGORÍFICO DE AVES

O comércio de carne de frango é um dos destaques do setor pecuário, movimentando a economia do país. A carne de frango vem ganhando evidência no consumo de alimentos, atraindo cada vez mais consumidores devido a fatores como preço, qualidade e segurança.

As exigências por rigorosos controles sanitários e a crescente demanda por diversificação e agregação de valor, vem tornando o mercado de carnes no Brasil e no mundo cada vez mais competitivo e complexo. Estas exigências do mercado contribuem para que o país se consolide como um dos melhores produtores de carne de frango do mundo em qualidade e lucratividade (PEREIRA, 2003).

Segundo o Relatório Anual da UBABEF (2012), a produção de carne de frango chegou a 13,058 milhões de toneladas em 2011, com um crescimento de 6,8% em relação a 2010. Do total da produção de frangos no país, 69,8% foi destinado ao consumo interno, e 30,2% para exportações. Com esses números, atingiu-se um novo recorde no consumo *per capita* de carne de frango, 47,4 quilos por pessoa.

Com este desempenho o Brasil se aproxima da China, segundo maior produtor mundial, cuja produção de 2011 teria somado 13,2 milhões de toneladas, abaixo apenas dos Estados Unidos, com 16,757 milhões de toneladas (UBABEF, 2012).

O Paraná ocupou a primeira posição no *ranking* de abate nacional de frangos por estado, com 28,36% do total de abates em 2011 (UBABEF, 2012),

seguindo na liderança em 2012 com 27,08%, segundo dados do SIDRA/IBGE para o terceiro trimestre de 2012.

Um abatedouro de aves visa a produção e comercialização de carne de frango resfriado ou congelado, inteiro ou em partes (DAMMANN et al., 2007). Segundo Pontes (2009) o processo pode ser resumido de acordo o esquema do fluxograma da Figura 1:



Figura 1 - Fluxograma do processo de abate de aves
Fonte: PONTES (2009).

2.4 EFLUENTES DE FRIGORÍFICOS DE AVES

As indústrias frigoríficas, como qualquer indústria do ramo alimentício, consomem grande volume de água em seu processo produtivo, desde o abate até a obtenção do produto final (KANIKOSKI *et al*, 2010). O volume de efluentes gerados é função do consumo de água, que por sua vez está relacionado diretamente com a capacidade de abate. Em média, o consumo de água no abate de frango gira em torno de 8,02 litros por quilograma de ave abatida (BELLAVÉR; OLIVEIRA, 2009).

Além disso, os abatedouros de aves possuem efluentes com elevada carga poluidora, sendo fontes potencialmente poluidoras de águas. Os seus efluentes possuem altas concentrações de matéria orgânica solúvel ou em suspensão, resultantes do processamento industrial e da lavagem dos equipamentos e instalações (MORAES, 1999).

Segundo Moraes (1999) as etapas que mais geram efluentes são: depenagem e evisceração, além dos despejos oriundos dos serviços de manutenção (lavagem dos pisos, paredes, equipamentos, etc.).

Os resíduos são em geral sangue, vísceras, penas, carnes e tecidos gordurosos, perdas de processo, detergentes, esterco e sujeiras (KUSSANO *et al*, 2008), que misturados com a grande quantidade de água utilizada em todo processo, geram um grande montante de efluentes.

A produção intensiva de produtos avícolas gera resíduos que quando não armazenados adequadamente, são causadores de degradação ambiental, principalmente pela contaminação de água e liberação de gases como o metano (MARTINS; ASSIS, 2007), dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio, etc.

Para a minimização dos impactos ambientais causados pelo processo produtivo dos frigoríficos de aves, deve-se proceder ao tratamento adequado de seus efluentes.

2.5 TRATAMENTO DE EFLUENTES DE FRIGORÍFICOS DE AVES

A Resolução do CONAMA N° 430/2011, estabelece padrões físico-químicos para o lançamento de efluentes em corpos de água (BRASIL, 2011). Para atender a essa legislação, a empresa geradora de efluente deve realizar o seu tratamento, que pode ser dividido em até quatro níveis: tratamento preliminar, primário, secundário e terciário, conforme o Quadro 1.

(continua)

Níveis de Tratamento de Efluentes		
Níveis	Remoção de	Mecanismos
Preliminar	Sólidos em suspensão mais grosseiros, óleos e graxas.	Gradeamento, peneiramento, desarenadores (caixa de areia), caixa de gordura.
Primário	Sólidos em suspensão sedimentáveis, óleos e graxas e matéria orgânica em suspensão.	Tanque de equalização, decantadores, fossas sépticas, coagulação, floculação.
Secundário	Matéria orgânica dissolvida ou em suspensão fina, sólidos não sedimentáveis, nutrientes e patógenos (parcialmente).	Lagoas de estabilização, lagoas aeradas, lodos ativados, valos de oxidação, filtros biológicos, biodiscos, sistemas anaeróbios.

(conclusão)

Níveis de Tratamento de Efluentes		
Níveis	Remoção de	Mecanismos
Terciário	Nutrientes, patógenos, metais pesados, compostos não biodegradáveis, sólidos inorgânicos dissolvidos, entre outros.	Desinfecção, ozonização, filtração, adsorção, eletrodialise, osmose reversa, troca iônica, nitrificação e desnitrificação.

Quadro 1 - Níveis de Tratamento de Efluentes

Fonte: VON SPERLING, 1996; NIETO, s.d.

No nível preliminar, utiliza-se de operações físicas para o pré-tratamento, no tratamento primário as opções em geral são processos físico/químicos, no nível secundário utilizam-se processos biológicos e no tratamento terciário, processos físico/químicos.

Empresas do setor agroindustrial geralmente não necessitam realizar o tratamento terciário, devido à natureza de seus efluentes, que não apresentam metais pesados, nem patógenos e nutrientes que não sejam removidos pelo tratamento secundário.

De maneira geral, os sistemas de tratamento são compostos por unidades sequencialmente dispostas, nas quais ocorrem as operações de separação e processos de transformação dos efluentes.

Segundo Braile e Cavalcanti (1993) os processos anaeróbios estão entre os mais comumente utilizados na depuração dos efluentes de frigoríficos, pois são bastante apropriados para este fim, dada a natureza dos despejos. Altas cargas de matéria orgânica e sólidos em suspensão, características dos efluentes de frigoríficos, são requisitos básicos para o sucesso do tratamento anaeróbio.

Nesses processos, as bactérias anaeróbicas, que funcionam na ausência de oxigênio livre, degradam os efluentes orgânicos em gases (metano e gás dióxido de carbono – biogás). O tipo de tratamento anaeróbio mais comumente utilizado no Brasil, em especial no estado do Paraná, é o das lagoas anaeróbicas (BRAILE; CAVALCANTI, 1993), devido às condições climáticas favoráveis (elevadas temperaturas) no território brasileiro (CHERNICARO, 1997) e disponibilidade de espaço físico das indústrias.

O sistema anaeróbio típico consiste de uma ou mais células retangulares ou quadradas com profundidade de 4,5 metros e entrada junto ao fundo. A camada de

lodo no fundo da lagoa contém microrganismos ativos que ficam em contato com o líquido afluente. A gordura em excesso acumula-se na superfície e forma uma cama de cobertura de graxa que serve para reter o calor e confinar odores. Coberturas artificiais (PVC, Hypalon) também podem ser usadas (BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

Sistemas para coleta de gás metano constituem um dos principais cuidados na construção da cobertura. No processo, o oxigênio é separado dos sulfatos pelas bactérias anaeróbias, produzindo sulfeto de hidrogênio que pode causar graves problemas (BRAILE; CAVALCANTI, 1993). Como uma alternativa, pode-se utilizar o biodigestor, sistema anaeróbio que permite a utilização do biogás formado para co-geração de energia.

2.6 GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE EFLUENTES

Todos os processos de tratamento de efluentes baseados em processos biológicos ou que envolvam alguma unidade de biodigestão são potenciais geradores de biogás, como é o caso das lagoas anaeróbias. Nesses casos, a tecnologia mais indicada para o tratamento dos efluentes é o biodigestor (KANIKOSKI *et al*, 2010).

2.6.1 Biodigestores

O biodigestor é uma câmara revestida e coberta por uma manta impermeável, que, com exceção dos tubos de entrada e saída, é totalmente vedada, oferecendo um ambiente propício para a digestão anaeróbia, que tem como resultado a formação de biofertilizantes e produtos gasosos, principalmente o metano e o dióxido de carbono (biogás) (MAGALHÃES, 1986; WINROCK INTERNATIONAL BRASIL, 2008).

Os biodigestores podem ser classificados, quanto à forma de abastecimento, em batelada e contínuos. Os biodigestores em batelada recebem um carregamento

de matéria orgânica que somente é substituída depois da digestão de todo lote. Os biodigestores contínuos podem ser abastecidos diariamente, permitindo que à medida que entra matéria orgânica no biodigestor, exista saída de material já tratado (WINROCK INTERNATIONAL BRASIL, 2008).

A Figura 2 ilustra um modelo simplificado de biodigestor e seus principais componentes:

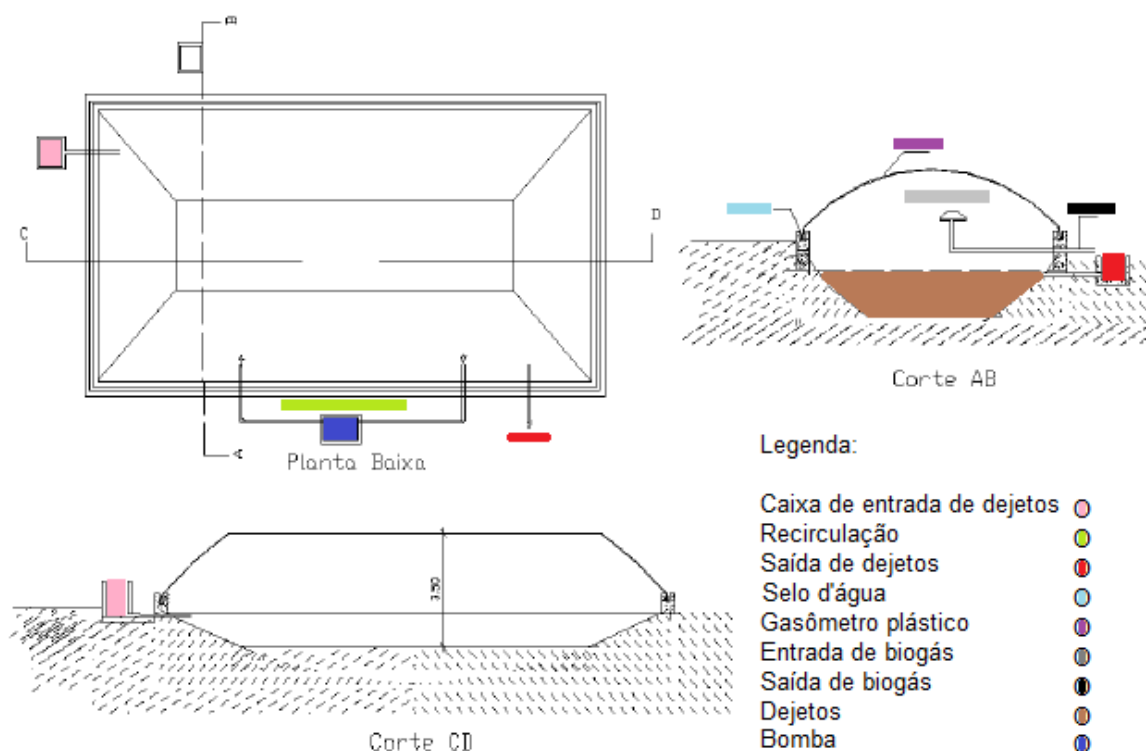


Figura 2 - Planta baixa e cortes de um biodigestor
 Fonte: adaptado de LIMA, 2007.

No biodigestor, pela caixa de entrada de dejetos (carga) o resíduo é introduzido e submetido à digestão anaeróbia (reação bioquímica realizada por bactérias na ausência de oxigênio e com bastante umidade), que produz o biogás (MORAES, 1980). O processo de produção do biogás (biodigestão) será brevemente descrito a seguir.

2.6.2 O Processo de Biodigestão

A digestão anaeróbia representa um sistema ecológico delicadamente balanceado, onde cada microrganismo tem sua função essencial. Nela, diversos grupos de microrganismos trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, sulfeto de hidrogênio e amônia, além de novas células bacterianas. A biodigestão de compostos orgânicos pode ser considerada um processo de cinco fases, conforme descreve Chernicaro (1997).

- Hidrólise: conversão de materiais particulados complexos (carboidratos, proteínas, lipídios, etc.) em materiais dissolvidos mais simples (açúcares, aminoácidos, peptídeos), através da ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas;

- Acidogênese: os produtos da fase da hidrólise são metabolizados no interior das células das bactérias fermentativas, e convertidos em compostos mais simples (ácidos graxos, alcoóis, gás carbônico, hidrogênio, amônia, sulfeto de hidrogênio, etc.) que são excretados pelas células;

- Acetogênese: os produtos gerados na acidogênese são oxidados pelas bactérias acetogênicas, em substratos apropriados para as bactérias metanogênicas (hidrogênio, dióxido de carbono e acetato);

- Metanogênese: as bactérias metanogênicas (formadoras de metano – estritamente anaeróbias) convertem os produtos da acetogênese em produtos finais gasosos (metano e gás carbônico – biogás);

- Sulfetogênese: quando há enxofre nos resíduos, acontece o processo de produção de sulfetos. Durante este processo, sulfato, sulfito e outros compostos sulfurados são reduzidos a sulfeto (produzindo o sulfeto de hidrogênio), através de bactérias anaeróbias estritas redutoras de sulfato.

O processo pode ser sintetizado pela Figura 3.

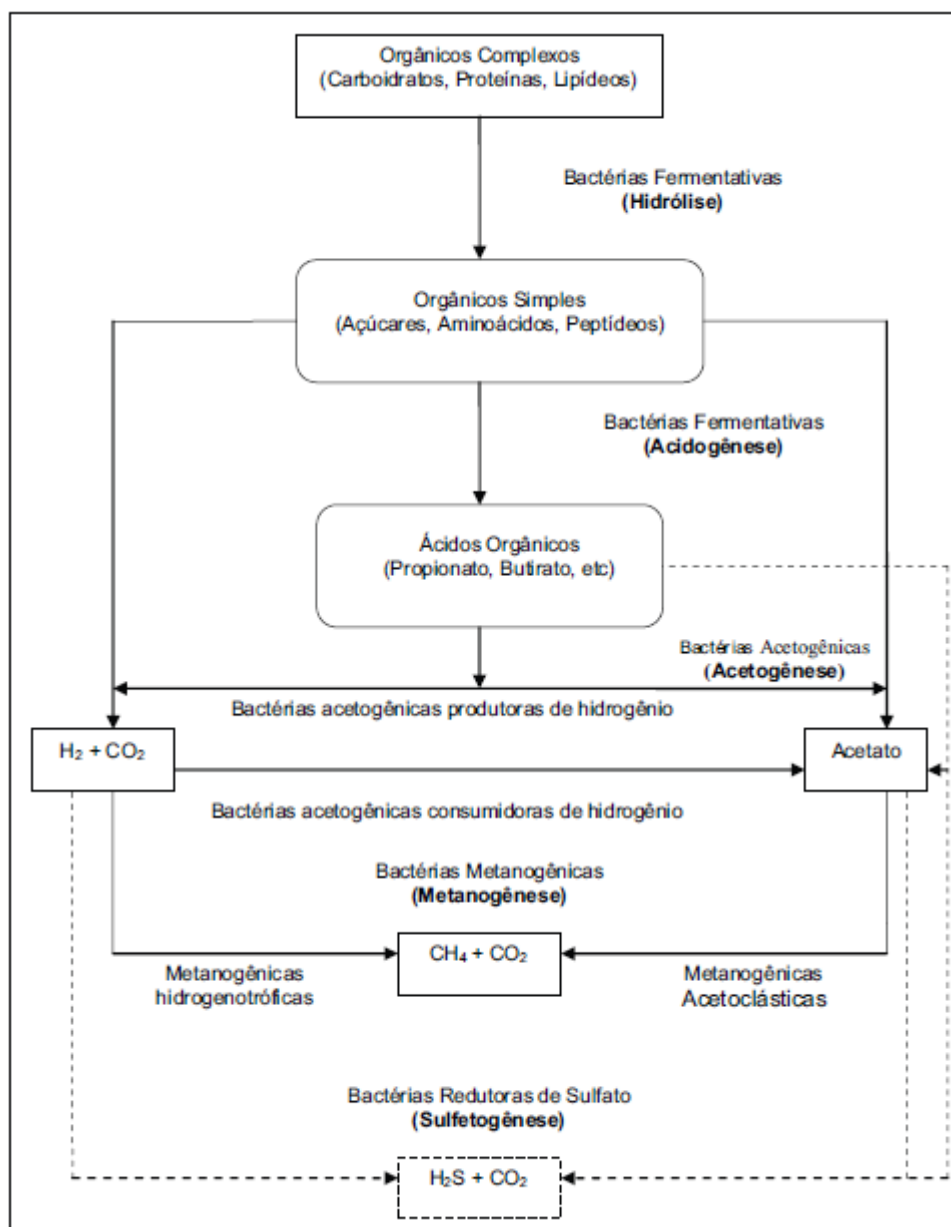


Figura 3 - Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia

Fonte: CHERNICARO, 1997.

O sucesso do processo de biodigestão anaeróbia e da produção de biogás depende de condições ambientais como nutrientes, temperatura, umidade, pH, tempo de retenção hidráulica do efluente no biodigestor, entre outros, para que os microrganismos possam crescer e se multiplicar (AIRES, 2009).

2.7 O BIOGÁS

O biogás é o produto da degradação anaeróbia da matéria orgânica. Consiste em uma mistura gasosa composta, principalmente, de gás metano e gás carbônico, possuindo alto poder calorífico. É um gás incolor, sem cheiro (se não contiver muitas impurezas), leve, de baixa densidade e altamente combustível (FERRAZ; MARRIEL, 1980 & SGANZERLA, 1983).

A composição do biogás depende do material orgânico utilizado e do tipo de tratamento anaeróbio que sofre (CETESB, s. d.), portanto, é difícil de ser definida em termos percentuais. Porém, de forma geral, o biogás é composto pelos elementos apresentados no Quadro 2, de acordo com três diferentes referências:

Componente	Composição em porcentagem (%) segundo		
	Magalhães	Nogueira	CETESB
Metano (CH ₄)	55 - 65	55 - 75	50 - 70
Dióxido de Carbono (CO ₂)	35 - 45	25 - 45	25 - 50
Nitrogênio (N ₂)	0 - 3	0 - 3	0 - 7
Hidrogênio (H ₂)	0 - 1	0 - 2	0 - 1
Sulfeto de hidrogênio (H ₂ S)	0 - 1	0 - 1	0 - 3
Oxigênio (O ₂)	0 - 1	0 - 0,1	0 - 2
Amoníaco (NH ₃)	-	-	0 - 1

Quadro 2 - Composição característica média do biogás
 Fonte: MAGALHÃES, 1986, NOGUEIRA, 1986; CETESB, s. d.

Como visto no Quadro 2, um dos componentes do biogás é o sulfeto de hidrogênio, sendo este um gás muito corrosivo.

2.7.1 Sulfeto de Hidrogênio (H₂S)

O H₂S é um gás incolor, de cheiro desagradável característico, extremamente tóxico e mais denso do que o ar. É muito inflamável e sua temperatura de autoignição é de 260 °C. Seu limite inferior de explosividade é da ordem de 4,3% no ar (em volume) (MAINIER; VIOLA, 2005).

Quando existem compostos de enxofre na matéria orgânica a ser tratada, o H_2S é formado no biogás pelo processo de digestão anaeróbia, na sulfetogênese. O H_2S formado no interior do reator anaeróbio se distribui entre a fase gasosa e a líquida presentes no processo de degradação (O'BRIEN, 1991).

O sulfeto é a forma mais energeticamente estável de enxofre e, sob condições anaeróbias, é altamente reativo, corrosivo e tóxico. Dessa forma, a produção de sulfeto de hidrogênio (H_2S) no tratamento anaeróbio pode ocasionar problemas físico-químicos (corrosão, odores, etc.) ou biológicos (toxicidade, inibição) (SOUZA *et al*, 2005).

Devido a sua toxidez, o H_2S pode causar vários danos à saúde humana, podendo ser leves ou graves, dependendo de sua concentração, indo de uma leve irritação nos olhos ou até à morte. Quando inspirado, o H_2S penetra pelos pulmões e alcança a corrente sanguínea. O sistema de proteção rapidamente oxida o H_2S , transformando-o em um produto praticamente inócuo na corrente sanguínea. Porém, à medida que a concentração de H_2S aumenta velozmente, o organismo não consegue oxidá-lo totalmente, resultando na paralisação do sistema respiratório (MAINIER; ROCHA, 2003).

O H_2S apresenta grande potencial destrutivo quando em contato com estruturas de concreto e metal (construções, cercas e equipamentos como motores, tubulações, etc.). Na geração de energia elétrica a partir do biogás, o maior problema está na corrosão causada pelo H_2S na compressão do biogás. A combustão do H_2S junto com o biogás também causa severos problemas ambientais, como a chuva ácida, devido à produção de SO_2 (dióxido de enxofre). As figuras 4 e 5 ilustram a ação do biogás em estruturas de aço carbono.

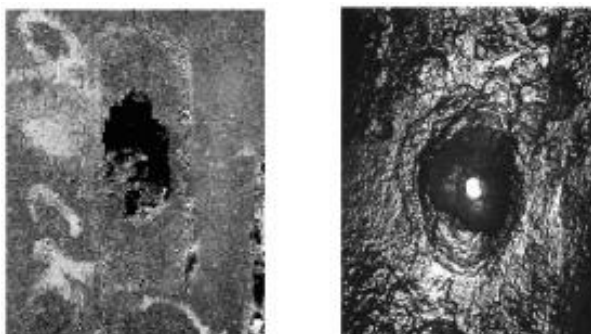


Figura 4 - Corrosão microbiológica provocada por H_2S
Fonte: MAINIER *et al*, 2007.

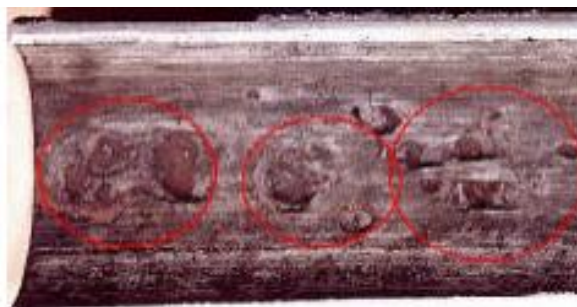


Figura 5 - Corrosão por H₂S em água de formação
Fonte: MAINIER; ROCHA, 2003.

Pelos fatos já apresentados, nota-se que para a utilização do biogás como combustível em processos de co-geração de energia, é necessário purificá-lo, a fim de não causar danos aos funcionários e equipamentos utilizados no processo.

2.7.2A Purificação do Biogás

O método que realize a purificação do biogás é de extrema importância para obter uma remoção eficiente de H₂S. Os principais processos de purificação para o biogás são classificados por Kohl e Riesenfeld (1985) em processos de oxidação a seco; processos de adsorção; processos de biotratamento; processos com membranas e processos de absorção.

Os processos de remoção de H₂S por oxidação a seco são os mais antigos que se conhece ainda em prática (ZICARI, 2003), porém, o processo torna-se muito oneroso, devido a não regeneração dos sólidos alcalinos utilizados (FRARE, 2006).

Os processos por adsorção podem ser utilizados para remover impurezas de gases de queima de unidades industriais de geração de energia, contudo, possuem alto custo e baixa capacidade e são limitados a operações a baixas temperaturas (RAVAGNANI, 2007).

Na remoção de H₂S por biotratamento (biofiltros) utilizam-se microrganismos para auxiliar a degradação de componentes da mistura gasosa. O gás passa por um leito com recheio, onde estão imobilizados, microrganismos aeróbios. A técnica da biofiltração apresenta resultados satisfatórios no controle de maus odores e no tratamento de gases contendo compostos orgânicos voláteis. Porém, devido à

dificuldade no controle de umidade dos filtros, observa-se queda da eficiência do tratamento depois de certo período de tempo (BELLI FILHO *et al*, 2006).

Na remoção de H₂S com membranas, restringe-se total ou parcialmente o transporte de componentes químicos específicos presentes nas fases. Resultados experimentais de Wang *et al* (2004) indicaram que um módulo de membrana foi muito eficiente na remoção seletiva de H₂S (WANG *et al*, 2004). Porém, a vida útil das membranas é consideravelmente baixa, e o custo de substituição periódica das mesmas pode ser substancial, dependendo do tipo de material e tamanho da membrana a ser substituída (DINDORE, 2003).

O purificador de biogás analisado no presente trabalho utiliza-se de um processo de remoção de H₂S por absorção, portanto, esta técnica será mais profundamente esmiuçada.

2.7.2.1 Processos de remoção de H₂S por absorção

A absorção é provavelmente uma das operações mais importantes para a remoção de um ou mais componentes de uma mistura gasosa e para o controle das emissões de poluentes gasosos. Trata-se de uma operação unitária na qual ocorre a transferência de um ou mais componentes presentes no gás para o líquido absorvente, devido à solubilidade entre ambos e à diferença de concentração (FRARE, 2006).

A maioria dos poluentes encontrados em correntes gasosas tem solubilidade limitada em água, exigindo grandes quantidades do líquido de lavagem, para que se tenha uma boa eficiência de remoção, acarretando aumento no custo de separação ou purificação (NEVERS, 1985).

A absorção pode ser um processo puramente físico ou químico quando seguido por reações químicas, dependendo do grau de solubilidade do soluto no solvente. O gás, durante o processo de absorção, pode ficar fisicamente dissolvido ou reagir com um constituinte dissolvido no líquido (LEITE *et al*, 2005). Quando é escolhida uma solução que reage com o gás, esta solução pode passar por nova reação, e, em certos casos, o solvente é reaproveitado (NEVERS, 1985).

A absorção com reação química tem vasta aplicação industrial, pois aumenta a taxa de absorção e a eficiência de transferência de massa, devido ao incremento da solubilidade decorrente da presença dos reagentes (LEITE *et al*, 2005).

O número de processos de absorção de gases em líquidos que são acompanhados por reações químicas é muito grande, tanto para lavagem de gases para purificação de correntes gasosas, como para produção de produtos obtidos destas reações. Nos processos de remoção de gases para purificação, as reações químicas fazem com que a quantidade de solvente utilizado no processo seja menor (BERTEVELLO, 1997).

Na absorção química, a regeneração do solvente é uma etapa extremamente importante do processo, implicando em gasto e consumo de vapor, que deve ser analisado para comprovar a viabilidade econômica do sistema (CARVALHO *et al*, 2007).

2.7.2.1.1 Métodos para remoção de H_2S com metal quelado

Os quelatos são compostos ligantes capazes de doar mais de um par de elétrons a cátions metálicos, formando ligações metal-ligantes (M-L), podendo ser chamados também de polidentados.

O ácido etilenodiaminotetracético (H_4EDTA) é um ligante hexadentado que pode funcionar como pentadentado e tetradentado nas suas formas aniônicas, ou seja, H_2EDTA^{2-} , $HEDTA^{3-}$ e $EDTA^{4-}$ (FRARE, 2006).

A Figura 6 ilustra a disposição de uma molécula de EDTA, e sua ligação com um metal.

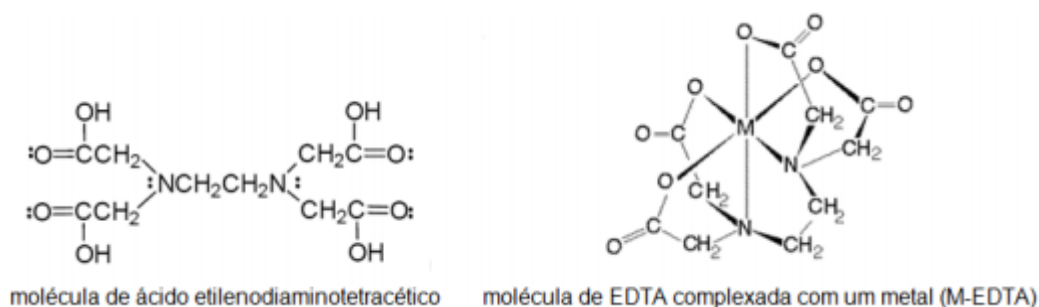
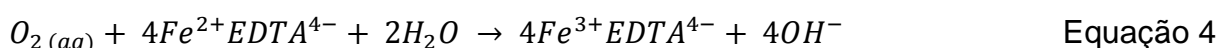
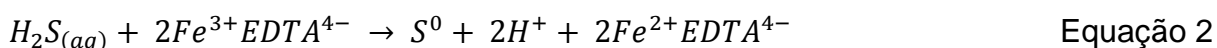


Figura 6 - Molécula de EDTA e sua ligação com um metal

A alta estabilidade do EDTA dá origem a uma estrutura semelhante a uma gaiola, pela qual o cátion é efetivamente envolvido e isolado das moléculas do solvente (SKOOG *et al*, 2008).

O H_2S pode ser removido de correntes gasosas pelo contato com soluções aquosas de quelato de ferro, como por exemplo, a remoção com solução de Fe-EDTA, método utilizado no purificador de biogás analisado.

Neste processo, o H_2S é absorvido por reação química quando o biogás entra em contato com a solução de ferro quelado com EDTA. As equações (1) e (2) representam as reações que ocorrem durante absorção do H_2S , e as equações (3) e (4) representam as reações que ocorrem durante a regeneração da solução de quelato de ferro.



O sulfeto de hidrogênio é levado da fase gasosa para fase líquida (1), e depois, já na forma aquosa, o H_2S reage com o quelato de ferro e é levado a enxofre elementar, sendo o ferro com carga +3 é reduzido a ferro com carga +2 (2).

Acontece então a solubilização do oxigênio na solução de quelato ferroso (3), e em seguida, a solução é oxidada (4), sendo assim o quelato ferroso

($\text{Fe}^{2+}\text{EDTA}^{4-}$) regenerado para a forma férrica ($\text{Fe}^{3+}\text{EDTA}^{4-}$), podendo ser novamente utilizado no processo.

O processo tem as seguintes vantagens: elevada eficiência de remoção de H_2S ; seletividade na remoção do H_2S , evitando gasto desnecessário de reagentes; as condições ambientes são favoráveis ao processo; a solução catalítica Fe-EDTA é facilmente regenerada; e a absorção química do H_2S trás, como produto final, enxofre elementar, produto estável, de fácil comercialização e que pode ser disposto em aterro industrial com menor potencial poluente (HORIKAWA, 2004).

2.8 CO-GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS

A co-geração pode ser definida como o processo de transformação de energia térmica de um combustível em mais de uma forma de energia útil. As formas mais frequentes são as energias mecânica e térmica. A energia mecânica pode ser utilizada para geração de energia elétrica, enquanto a energia térmica é utilizada diretamente no atendimento das necessidades de calor para processos, ou na produção de vapor ou frio (COSTA, 2006).

Este processo apresenta-se como uma forma racional de se utilizar o biogás, sendo uma alternativa viável para as indústrias que necessitam de calor para o processo que desenvolvem, além de energia elétrica (HOLANDA, 1998).

A implantação de uma unidade geradora de energia elétrica, a partir dos efluentes gerados por uma indústria, se viabiliza economicamente pelo equivalente em quilowatts evitados no consumo tradicional (KANIKOSKI *et al*, 2010), apresentando-se como potencial fonte de redução de custos industriais em consequência do uso da energia alternativa. Além disso, é uma importante iniciativa para mitigar o efeito estufa e dar mais sustentabilidade à matriz energética.

2.8.1 Geradores

Para a transformação do biogás em energia elétrica, são utilizados grupos motogeradores, onde a taxa de conversão para energia elétrica é relativamente baixa (AMARAL, 2011).

De acordo com Costa (2003), em geral, os motores de combustão interna são os mais utilizados nesse processo, conseguindo converter de 32% a 40% do combustível em energia mecânica, através do acionamento de pistões confinados em cilindros. A partir da energia mecânica gerada no motor, é possível convertê-la em energia elétrica, através de um gerador (AMARAL, 2011), que então fornece a energia elétrica ao circuito que ele alimenta.

Um dos tipos mais importantes é o gerador síncrono, que opera com uma velocidade de rotação constante sincronizada com a frequência da tensão elétrica alternada aplicada aos seus terminais, ou seja, sincronismo entre o campo girante e o rotor.

O restante da energia não convertida em eletricidade é transformado em energia térmica, presente nos gases de escape, na água de arrefecimento e no óleo do motor, e em radiação térmica (COSTA, 2003). A quantidade de calor recuperada depende do tipo e porte do motor e de seu regime operacional.

2.8.2 Inclusão da Etapa de Purificação de Biogás no Processo de Geração de Energia Elétrica

A etapa de purificação de biogás deve ser implementada anteriormente ao sistema de geradores, evitando danos aos equipamentos e tubulações subsequentes no processo de co-geração de energia.

Um modelo em escala piloto proposto por BOHN *et al* (2012), baseado nos estudos de FRARE (2006), foi implementado na Unidade Industrial de Aves da Lar, em Matelândia – PR, através de um projeto de pesquisa da UTFPR – Medianeira.

O mecanismo de remoção de H₂S utilizado é um processo de absorção com reação química em solução de ferro quelado com EDTA. O sistema constitui-se de um equipamento de tratamento de biogás composto por uma coluna de purificação

(coluna de tratamento com solução de Fe-EDTA) e um tanque regeneração da solução por onde circulam, em regime permanente e em contracorrente, a solução de Fe-EDTA e o biogás a ser tratado, além de elementos acessórios (bombas, válvulas, medidores de vazão, compressor de ar, tubulação, etc.) (BOHN *et al*, 2012). A Figura 7 apresenta uma ilustração do sistema instalado.

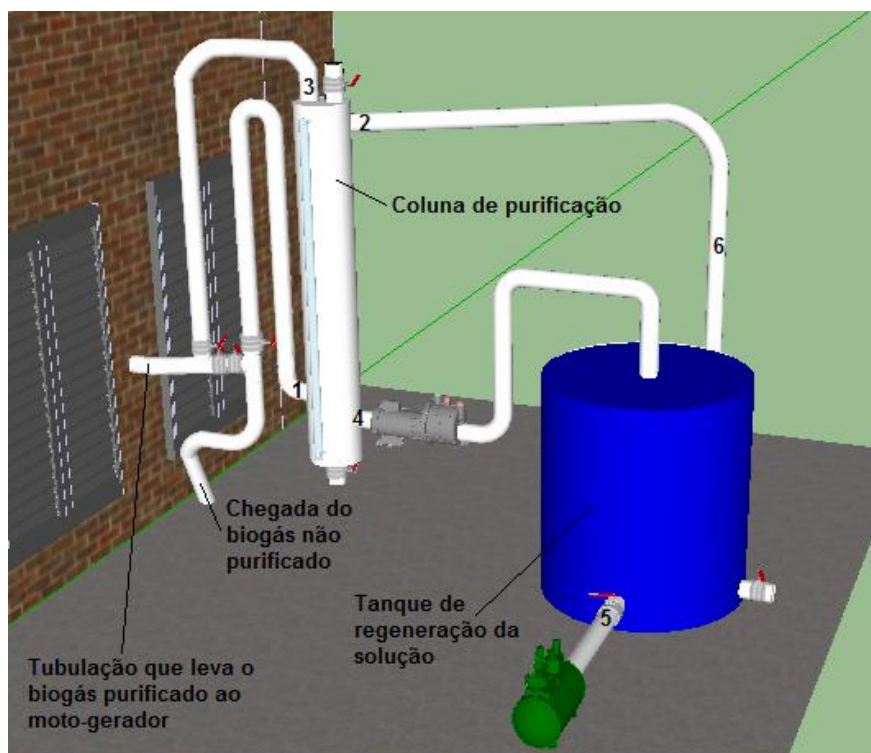


Figura 7 – Modelo do sistema de purificação proposto por Bohn *et al* (2012)
 Fonte: adaptado de BOHN *et al*, 2012.

O sistema de purificação de biogás apresenta o seguinte funcionamento, descrito por Bohn *et al* (2012): a injeção de biogás acontece na parte inferior esquerda da coluna de purificação (1), e entra em contato com a solução em contracorrente, alimentada na parte superior direita da coluna (2). Para garantir uma distribuição homogênea do biogás na fase líquida, na base da coluna onde acontece a entrada do biogás há um dispersor de gás (tubo de PVC, com orifícios de borbulhamento de aproximadamente 2 mm). A coluna de tratamento é de aço inox, para resistir à corrosão. O biogás deixa o sistema por uma tubulação acoplada na parte superior esquerda da coluna de purificação e é enviado para o sistema de cogeração (3); a solução purificadora proveniente da coluna de tratamento é enviada ao tanque de regeneração de solução por meio da Bomba 1 (4); no tanque de regeneração é injetado ar atmosférico na base do mesmo, por meio de um

compressor de ar (5), a solução regenerada segue para a coluna de purificação por meio da Bomba 2 (não aparente na figura) (6). Durante o contato em contracorrente do biogás e da solução, na coluna de purificação é produzido enxofre devido às reações químicas com o H₂S absorvido.

O equipamento descrito foi idealizado pelos autores no ano de 2012, sendo que a Cooperativa Lar Agroindustrial é a primeira empresa em que ele foi instalado. Posteriormente, outro exemplar foi instalado na Granja Colombari, no município de São Miguel do Iguaçu, que conta com parceria da Usina Itaipu Binacional na área de Energias Renováveis. Devido às suas características, trata-se de um projeto inovador, que modifica o processo de co-geração de energia a partir do biogás.

2.9 INOVAÇÃO

Indiscutivelmente, a inovação é um diferencial nas organizações, pois as torna mais competitivas e prósperas. As inovações surgem de ideias, e as ideias são fruto do conhecimento adquirido pelas pessoas (DAVID *et al*, 2011).

O processo criativo ocorre por meio do pensamento divergente e convergente. O primeiro caracteriza-se por ser produtivo, sem regras nem limitações, produzindo um grande número de ideias através de associações feitas pela mente, trazidas ao consciente pelo pensamento convergente. Este, por sua vez é mais concreto, e analisa a viabilidade da ideia antes de dar continuidade ao processo (OSTROWER, 2012).

No âmbito empresarial e industrial, são exigidas algumas competências para a ocorrência e o êxito da inovação, conforme ilustra o Quadro 3:

Fase da Gestão de Ideias	Competências para Inovar
Idealização	<ul style="list-style-type: none"> • Criatividade; • Identificação de Oportunidades e Problemas; • Observação do Mercado; • Elaboração de Novas Proposições.
Conceitualização	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilidade; • Conexão entre diferentes áreas; • Capacidade de conexão externa; • Atendimento às necessidades; • Geração de Projetos; • Foco nos objetivos.
Experimentação	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de aprender com projetos piloto, identificar incertezas e aceitar riscos.
Implementação	<ul style="list-style-type: none"> • Foco em prazos; • Manutenção do orçamento; • Capacidade de atingir metas.

Quadro 3 - Inovação empresarial e industrial
Fonte: adaptado de DAVID *et al*, 2011.

Para David *et al* (2011), “toda ideia detém algum potencial. Uma nova ideia pode alavancar ganhos para a empresa, cujo processo de inovação depende delas”.

Uma estratégia de inovação pode ter repercussão não somente sobre as atividades da empresa, mas sobre todo o setor em que ela atua. Assim, uma inovação em dado setor da empresa, pode alterar a dinâmica da empresa como um todo, bem como o sistema de funcionamento do setor atuante. Essas repercussões podem vir a ser potenciais fontes de ganhos diretos e indiretos advindos da implementação da inovação (GEPAL, 2011).

Segundo Barbieri (2007), são os avanços da ciência e tecnologia que irão possibilitar o surgimento de novos produtos e processos que aumentem constantemente a eficiência dos recursos produtivos e reduzam os níveis de emissão de poluentes das indústrias.

A necessidade de investimento em inovação deve-se ao aumento da concorrência em praticamente todos os setores industriais, por isso, a inovação é identificada como vantagem competitiva para as empresas. No entanto, para inovar, é preciso também investir em pesquisa. Por esse motivo, é importante a parceria entre a pesquisa pública (principalmente as universidades) e o setor de investimentos (indústrias), pois assim, funde-se o conhecimento da pesquisa

pública, com a capacidade de investimento do setor privado, em busca de inovações que alavanquem seus lucros (GEPAL, 2011).

2.10 MUDANÇA EM PROCESSOS PRODUTIVOS

Segundo Galbraith (1995 *apud* NOGUEIRA JUNIOR *et al*, 2006) “processo é um conjunto de atividades agrupadas de forma “lógica” com a finalidade de gerar um (sub)produto ou serviço”. A definição de processos visa à minimização ou eliminação de desperdícios e principalmente a minimização da necessidade de coordenação para a realização desse conjunto de atividades.

Porém, na atual conjuntura do comércio nacional e internacional, novas tecnologias e novas formas organizacionais resultam em novos produtos, processos produtivos e concorrentes, fazendo com que a definição e implementação de processos sejam cada vez mais difíceis (NOGUEIRA JUNIOR *et al*, 2006).

As organizações estão situadas em ambientes dinâmicos, e devem estar em constante mudança. Não somente mudanças incrementais, mas também mudanças de transformação estrutural. Contudo, uma vez desenvolvidos, a implementação de novos processos ou a melhoria dos processos existentes não é algo fácil.

Para a concretização de uma mudança, é preciso realizar uma coleta de dados para analisar e avaliar o desempenho do sistema produtivo atual, projetar uma nova estrutura para a melhoria do desempenho através de ferramentas de medição e tomada de decisão, verificar a viabilidade de implantação da mudança, e, se viável, definir as mudanças estruturais necessárias para atender ao que foi projetado (FONTANA; IAROZINSKI NETO, 2005).

Sousa *et al* (2002) propõe o ciclo de engenharia de negócios (Figura 8), que facilita a percepção das etapas de análise da situação atual, identificação de alternativas e implantação da solução. O ciclo prevê que, a partir da identificação de uma necessidade, problema ou oportunidade de melhoria, projeta-se a solução, implementa-se a solução, opera-se na nova estrutura, para então efetuar eventuais ajustes necessários.

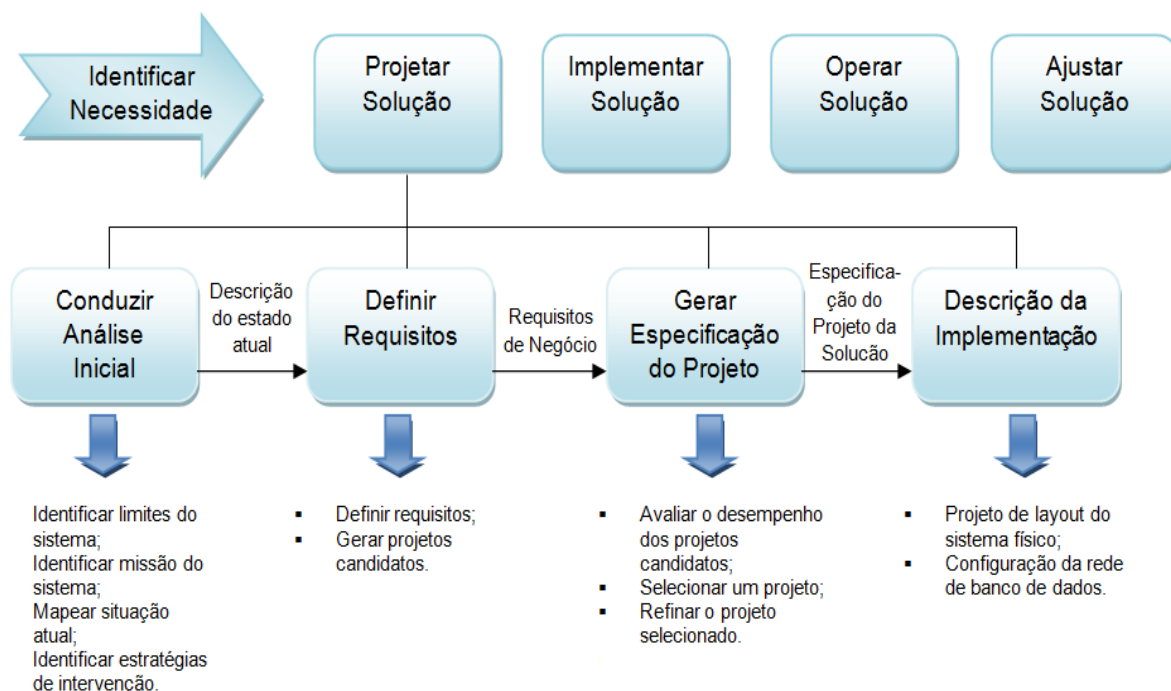


Figura 8 - Ciclo de Engenharia de Negócios
Fonte: adaptado de SOUSA et al (2002).

2.11 VIABILIDADE ECONÔMICA

Segundo Rasoto *et al* (2012), para avaliar a viabilidade de um investimento, além dos aspectos técnicos, devem ser considerados também os econômicos, pois apenas por meio do estudo econômico é possível constatar a real viabilidade de um projeto, ainda que ele seja tecnicamente adequado.

Conseguir a máxima eficiência técnica somente é possível se for demonstrada a eficiência financeira (HIRSCHFELD, 2010), e por isso, deve-se procurar projetos eficientes técnica e financeiramente.

Investigar a viabilidade econômica de um projeto e antecipar, através de estimativas, os prováveis resultados a serem obtidos com a sua implementação, é o objetivo da Análise de Investimento (AI) (RASOTO *et al*, 2012), uma das ferramentas da Engenharia Econômica.

2.11.1 Ferramentas da Engenharia Econômica

2.11.1.1 Análise de investimento (AI)

A análise de investimento investiga a viabilidade de um projeto amparada por uma correta interpretação dos resultados dos indicadores de viabilidade econômica. A análise, no caso de um projeto inovador, deve considerar (RASOTO *et al*, 2012):

- Critérios econômicos: rentabilidade/retorno do investimento;
- Critérios financeiros: disponibilidade de recursos;
- Critérios imponderáveis: elementos não conversíveis em dinheiro (segurança, status, localização, manutenção, qualidade, etc.).

Decisões a respeito de novos investimentos precisam ser tomadas com cautela, com base em informações confiáveis, pois geralmente tratam de desembolsos de capital com o objetivo de gerar lucros futuros.

Este fato implica o tempo numa das variáveis essenciais da avaliação econômica, visto que o retorno do investimento ocorrerá somente no futuro. Para trabalhar de acordo com essa importante variável, é necessário compreender uma série de conceitos básicos:

2.11.1.1.1 Fluxo de caixa (FC)

Uma das tarefas mais difíceis na AI, é a projeção do fluxo de caixa resultante da implantação do projeto pretendido. É necessário estimar o investimento inicial, as despesas de manutenção e as receitas provenientes da execução do projeto (RASOTO *et al*, 2012).

Na elaboração dos demonstrativos do fluxo de caixa, não importa somente as quantias de dinheiro que entram e saem, mas também quando as movimentações de dinheiro ocorrem (IMPERADOR, 2011 *apud* RASOTO *et al*, 2012).

Para tanto, o fluxo de caixa deve compor-se de valores que refletem, com grande probabilidade de acerto, as entradas e saídas de dinheiro que irão atuar ao longo do prazo analisado. Estes valores podem ser classificados em quatro importantes conjuntos (HIRSCHFELD, 2010):

- Investimentos: bens como propriedades, equipamentos, móveis e utensílios;
- Resultados (ou saldos) operacionais: receitas operacionais (recebimentos, faturamentos, etc.) subtraídas de despesas operacionais (aluguéis, materiais, mão-de-obra, impostos, taxas, insumos (água, energia, gás, etc.);
- Receitas eventuais: revenda de bens não mais utilizados, aplicações financeiras externas;
- Gastos eventuais: pagamentos de juros de empréstimos ou financiamentos, novas aquisições de bens.

A Figura 9 ilustra o diagrama genérico de um fluxo de caixa.

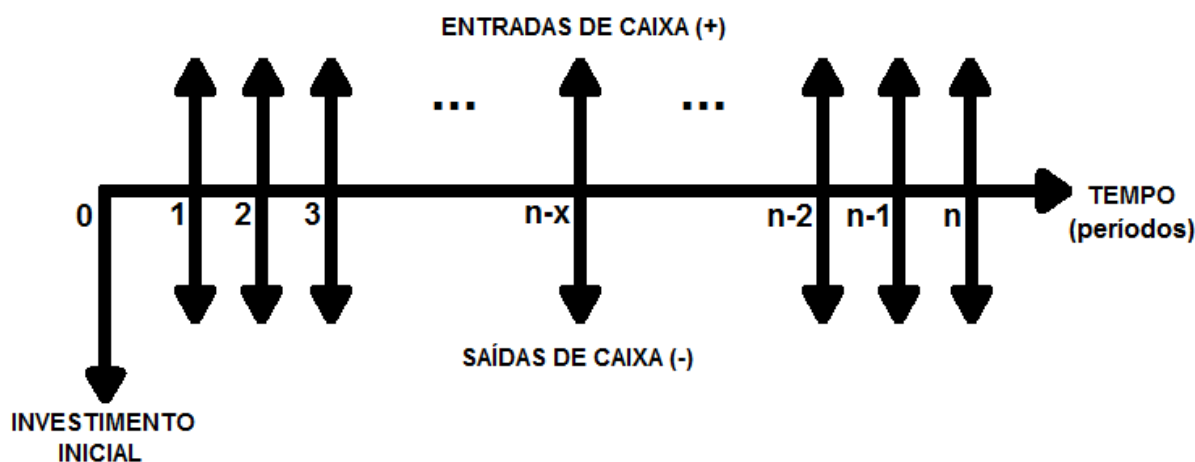


Figura 9 - Diagrama do fluxo de caixa
Fonte: a autora, 2013.

Em síntese, as entradas de caixa podem ser consideradas todas as formas de arrecadação (recebimentos) do período, em forma de dinheiro, vendas, cheques pré-datados, depósitos, entre outros. Como saídas, são entendidos todos os pagamentos realizados, como por exemplo, contas de energia ou telefone, manutenção de equipamentos, compra de material, pagamentos, impostos, etc.

Subtraindo-se o total de saídas, do total de entradas de um determinado período n em análise, obtém-se o *saldo operacional*. O valor desta diferença diz respeito exclusivamente ao saldo de caixa do período analisado, sem considerar o

saldo anterior disponível. O *saldo operacional* pode vir a ser negativo em algum período, porém, uma sequência de resultados negativos deve ser vista com cautela (RASOTO *et al*, 2012).

Ao final do tempo de análise do fluxo de caixa de um determinado projeto, o *saldo final* corresponde à soma do saldo inicial (investimento inicial) com o *saldo operacional*. Este valor mostra a quantidade de dinheiro acumulado ou faltante em caixa no fim do período.

O controle do fluxo de caixa pode ser facilitado com o uso de planilhas eletrônicas, desde que estas sejam feitas em instrumentos de fácil utilização e domínio dos responsáveis. É preciso haver também um rigoroso controle e acompanhamento das entradas e saídas.

2.11.1.1.2 Taxa mínima de atratividade (TMA)

Ao realizar um investimento, o investidor compara, geralmente, os prováveis dividendos que serão proporcionados por este investimento, com outro(s) investimento(s) disponível(is). A taxa de juros proporcionada pelo investimento deverá ser superior à taxa prefixada utilizada para comparação (HIRSCHFELD, 2010).

A TMA é a taxa de juros que representa o mínimo retorno esperado pelo investidor ao realizar o investimento, ou seja, é a taxa prefixada para comparação. É a melhor alternativa de investimento com grau de risco baixo. A rentabilidade obtida com o investimento considerará como ganho somente o excedente sobre o capital aplicado à TMA (RASOTO *et al*, 2012).

A determinação da TMA é essencial na análise de investimento, pois é a taxa de juros que serve como parâmetro de avaliação econômica (NOGUEIRA, 2009 *apud* RASOTO *et al*, 2012).

Esta taxa pode ser definida como a taxa de desconto resultante da política da empresa, sendo equivalente ao custo de tomar fundos emprestados. Em síntese, $TMA = \text{taxa de juros da empresa no mercado} + \text{incerteza dos valores de fluxo de caixa}$ (RASOTO *et al*, 2012).

2.11.1.1.3 Valor presente líquido (VPL)

É a concentração de todos os valores de um fluxo de caixa (receitas e dispêndios), reduzidos ao instante inicial, utilizando-se como taxa de desconto a TMA. Ele representa a diferença entre os recebimentos e os pagamentos de um investimento, e expressa o ganho em relação à TMA no tempo de duração estipulado para o investimento (n) (RASOTO *et al*, 2012; HIRSCHFELD, 2010).

Sua fórmula é expressa pela Equação 5:

$$VPL = -FC_0 + \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+TMA)^j} \quad \text{Equação 5}$$

Onde FC_0 representa o investimento inicial do projeto.

2.11.1.1.4 Taxa interna de retorno (TIR)

É a taxa que fará com que o valor presente líquido se iguale ao valor do fluxo de caixa projetado para o investimento (SCHUBERT, 1989). A TIR deve ser interpretada como uma medida de risco da decisão (SOUZA; CLEMENTE, 2008).

O risco de o projeto proporcionar um retorno menor que a aplicação financeira do capital, aumenta à medida que a TMA se aproxima da TIR. Sendo assim, a TIR representa uma variação da TMA, de modo que determinado projeto apresente ganho maior do que a TMA, quanto maior for o valor da sua TIR (RASOTO *et al*, 2012).

A segurança ou o risco do projeto em análise pode ser calculado de acordo com a fórmula da TIR, conforme a Equação 6:

$$TIR = -FC_0 + \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+TIR)^j} = 0 \quad \text{Equação 6}$$

A determinação da TIR deve ser feita por tentativas, até que encontre-se um valor que iguale os termos do fluxo de caixa e do VPL (SCHUBERT, 1989).

2.11.1.1.5 Tempo de retorno do investimento (*Payback Time*)

O *payback time* é o intervalo de tempo necessário para que os benefícios trazidos por um determinado investimento possam cobrir seus custos, a certa taxa de juros. Este conceito é muito utilizado por investidores pelo fato de fornecer uma estimativa concreta de retorno do investimento, possibilitando que o dinheiro seja empregado em outros projetos de interesse (HIRSCHFELD, 2010).

Por mostrar o tempo necessário para que os benefícios restitua os custos (mínimo j), igualando as entradas de caixa ao que foi investido, o *payback time* pode ser considerado uma medida de risco do projeto. Quanto menor o *payback* de um projeto, menor também é seu risco (RASOTO *et al*, 2012).

Sua determinação é feita através da inequação:

$$\text{Payback} = \text{mínimo } \{j\} \text{ tal que } \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+TMA)^j} \geq -FC_0 \quad \text{Equação 7}$$

Onde FC_j é o fluxo de caixa do período analisado.

O *payback* é o menor valor de j , para que a desigualdade anterior seja verdadeira, se j for menor ou igual a n , a empresa deve aceitar o projeto.

2.11.1.2 Sequência de passos para a análise de um investimento

Com a compreensão destes conceitos, é possível construir uma abordagem para a análise de investimento, conforme a Figura 10:

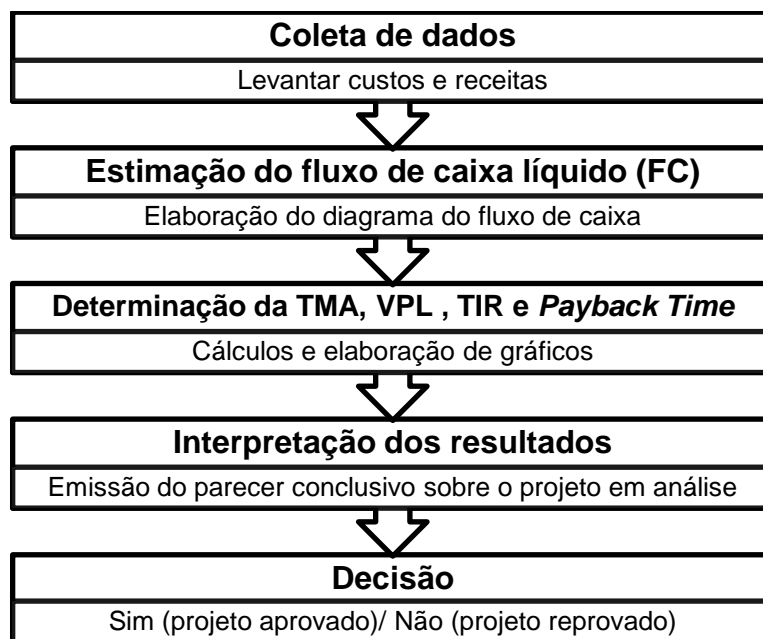


Figura 10 – Fluxograma da abordagem proposta para a análise de investimento

Fonte: adaptado de RASOTO *et al*, 2012.

Esta abordagem permite que a análise de investimentos aconteça em uma sequência lógica de passos e facilita a compreensão do processo, possibilitando a replicação da técnica.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Segundo Gil (1991), a pesquisa faz-se necessária quando não se dispõe de informações suficientes para responder um determinado problema. Ela é desenvolvida mediante o concurso dos conhecimentos disponíveis e utilização cuidadosa de técnicas, procedimentos científicos e metodologia.

Sobre a metodologia, podemos entendê-la como:

O estudo ou a ciência do caminho, se pretendendo que este seja uma trilha racional para facilitar o conhecimento, além de trazer implícita a possibilidade de, como caminho, servir para que diversas pessoas o percorram, isto é, que possa ser repetidamente seguido (MAGALHÃES, 2005, p. 226).

Toda pesquisa se inicia com algum tipo de problema ou indagação (GIL, 1991), contudo, é preciso caracterizá-la adequadamente para que a pesquisa tome seguimento e que o problema seja resolvido.

3.1 TIPO DE PESQUISA

Gil (1991) propõe a classificação das pesquisas de acordo com seus objetivos gerais, em três grupos: exploratórias, descritivas e explicativas.

Para o autor, as pesquisas exploratórias têm como objetivo o conhecimento mais profundo do problema, tornando-o mais explícito e construindo hipóteses, aprimorando ideias e descobrindo intuições. As pesquisas descritivas objetivam a descrição das características de determinada população ou fenômeno, ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Já as pesquisas explicativas identificam os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos.

Marconi e Lakatos (2010) classificam as pesquisas como: pesquisa documental, pesquisa bibliográfica, pesquisa de campo e pesquisa de laboratório. A pesquisa de campo subdivide-se ainda em três grandes grupos: quantitativo-descritivas, exploratórias e experimentais.

Por pesquisa de campo entende-se aquela que objetiva conseguir informações e/ou conhecimentos sobre um problema, para o qual se procura uma resposta, ou de uma hipótese a ser comprovada ou refutada, ou ainda, de descobrir novos fenômenos ou relações entre eles (MARCONI; LAKATOS, 2010).

Para Marconi e Lakatos (2010), pesquisas quantitativo-descritivas têm a finalidade de delinear ou analisar as características de fatos ou fenômenos, ou o isolamento de suas variáveis principais. As pesquisas exploratórias são investigações de pesquisa empírica com o objetivo de desenvolver hipóteses, aumentar a familiaridade do pesquisador ou modificar e clarificar conceitos sobre o problema em questão. Por fim, as pesquisas experimentais têm o objetivo de testar hipóteses que dizem respeito a relações de tipo causa-efeito.

Analisando a literatura consultada e o problema em questão no presente trabalho, classifica-se esta pesquisa como sendo de caráter exploratório-descritivo, pois objetivou descrever a etapa de purificação de biogás, bem como realizar um estudo aprofundado da viabilidade econômica de sua implantação no processo de geração de energia elétrica.

Sendo esta pesquisa aplicada a uma única indústria em questão, pode-se classificá-la também como estudo de caso, que Gil (1991) define como o estudo profundo de um ou poucos objetos, de maneira que permita o seu detalhado conhecimento, e que, ainda segundo o autor, utiliza-se muitas vezes de pesquisa exploratória.

Os dados necessários para a realização do trabalho foram coletados com funcionários da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da empresa em estudo, através de informações e verificação de documentos relacionados ao processo de geração de energia elétrica a partir de biogás do tratamento de efluentes.

3.2 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado na Cooperativa Agroindustrial Lar – Unidade Industrial de Aves, situada às margens da BR 277, no km 653, em Agrocafeeira, município de Matelândia – Paraná (LAR, 2013). A empresa atua como Frigorífico no

processamento e comercialização de frangos de corte, resfriados ou congelados, inteiros ou em partes, empanados e cozidos.

A empresa atualmente opera 24 horas por dia, e conta com aproximadamente 2.400 colaboradores. A estrutura física da empresa conta com um terreno de 314.600 m², com uma área construída de 45.824 m².

A unidade é altamente mecanizada e tem capacidade instalada de abate de 286 mil aves/dia, possui certificações ISO 9001 e SIF/Ministério da Agricultura, além de habilitações internacionais e sistema de rastreabilidade, atendendo ao mercado interno e externo (LAR, 2013).

Estima-se que o consumo de água do frigorífico esteja entre 5.340 m³ e 8400 m³ por dia. A água utilizada é coletada do Rio Xaxim e nascentes. Toda água consumida na indústria segue para o sistema de tratamento de efluentes, e os dejetos são transformados em biogás.

O frigorífico possui sistema de biodigestão com dois biodigestores, e sistema de geração de energia com três motogeradores, dois de 50 kVA e um de 100 kVA. Recentemente, implementou-se a nova etapa de purificação de biogás no processo.

3.2.1 Sistema de Tratamento de Efluentes, Biodigestão e Co-geração de Energia

Como tratamento primário, a empresa utiliza a operação física de peneiramento, para remoção de sólidos grosseiros, além de um flotador físico, responsável pela redução de DBO e DQO, sólidos suspensos e óleos e graxas.

O tratamento secundário consiste em dois biodigestores ligados a duas lagoas aeradas em série, seguidas de quatro lagoas facultativas e uma lagoa de polimento. O efluente tratado, atingindo os padrões de lançamento em cursos hídricos, retorna ao rio Xaxim.

Os biodigestores são da marca AVESUY. O Biodigestor 1 é composto por geomembrana de PEAD, com espessura de revestimento inferior de 0,8 mm e superior de 1,25 mm, na cor preta. O Biodigestor 2 é constituído de geomembrana de PVC, com espessura de 1,00 mm, de cor branca em seu interior e preta na parte exterior. O Biodigestor 1 recebe 60% do fluxo de efluentes, com um volume de

21.822 m³, enquanto o Biodigestor 2 recebe os 40% restantes, com um volume de 13.134 m³.

O biogás gerado nos biodigestores é canalizado. Parte dele passa pela etapa de purificação, e segue para o Motogerador 2, o restante vai diretamente aos Motogeradores 1 e 3, sem ser purificado. Esse processo acontece pois o sistema de purificação ainda está em fase de testes e a empresa pretende fazer uma comparação dos efeitos da utilização de biogás purificado e não purificado no sistema de geração de energia elétrica. Finalmente, todo o biogás (purificado e não purificado) é utilizado na co-geração de energia elétrica e térmica. Atualmente, a energia térmica ainda não é aproveitada. A Figura 11 resume o processo de co-geração de energia da indústria.

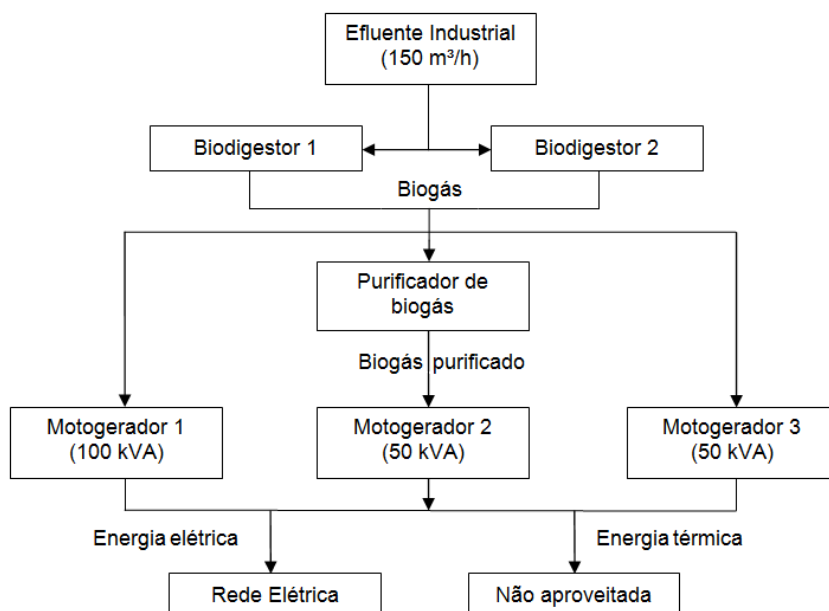


Figura 11 - Fluxograma de co-geração de energia
 Fonte: a autora, 2013.

3.2.2 Sistema de Purificação de Biogás

O sistema de purificação de biogás da indústria segue o modelo proposto por Bohn *et al* (2012), descrito na revisão bibliográfica. A Figura 12 apresenta o sistema instalado na UIA.



Figura 12 - Sistema de purificação de biogás utilizado na UIA

Na Figura 13 estão ilustrados os fluxos do processo e seus componentes.

Sistema de purificação de biogás

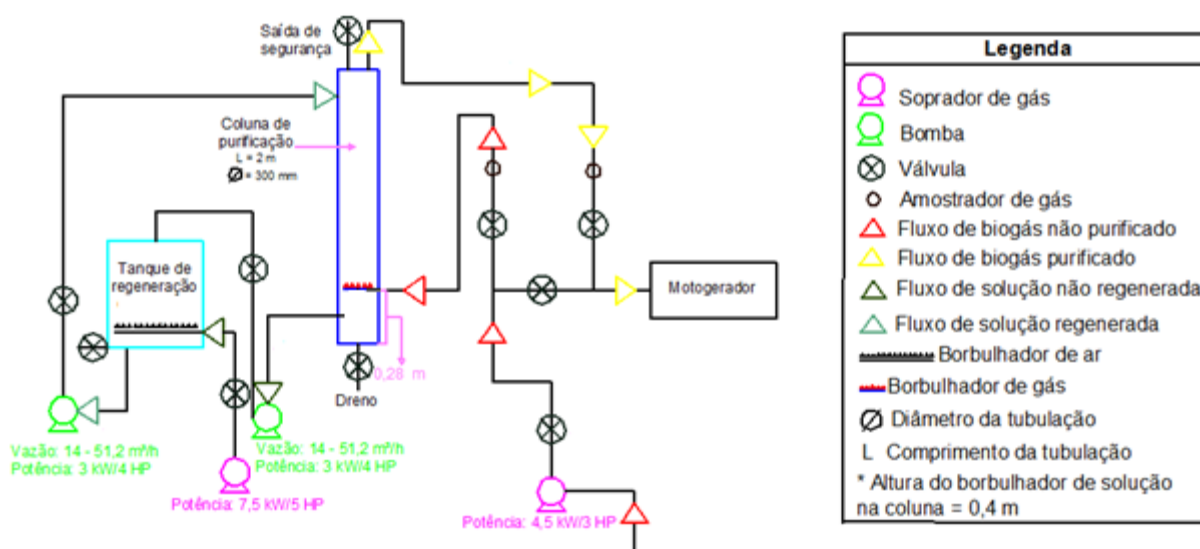


Figura 13 - Fluxos de processo e componentes do purificador
Fonte: a autora, 2013.

3.3 CUSTO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS NÃO PURIFICADO E PURIFICADO

A metodologia utilizada para a obtenção dos custos dos dois processos foi baseada na descrita por Souza *et al* (2004) que considera o capital investido de construção e manutenção dos sistemas de geração de energia elétrica a partir do biogás.

O custo de produção de biogás purificado foi comparado ao custo de produção de biogás não purificado, através da análise de investimentos.

A análise de investimentos realizou-se da mesma forma, para os dois casos. Após a sua realização para os dois processos de produção, compararam-se os resultados para decidir pelo processo mais vantajoso. As informações e etapas necessárias para a obtenção dos custos e análise de investimentos serão descritas a seguir.

3.3.1 Cálculo da Geração de Biogás

A geração de biogás do sistema foi considerada igual ao consumo de biogás pelos motogeradores.

3.3.2 Consumo de Biogás pelos Motogeradores

Para a realização dos cálculos de custos do biogás, necessitou-se determinar o consumo de combustível dos motogeradores. Em projetos que ainda não estão em operação, ou que possuem dados de consumo pouco confiáveis, isso é possível através da equação estequiométrica da combustão do metano descrita por Atkins (2008) (Equação 8).



Para cada mol de CH₄ são consumidos 2 mols de O₂. Com isso, calcula-se esses termos em massa (Equação 9).

$$m = n \times MM \quad \text{Equação 9}$$

Em que n é o número de mols, MM é a massa molecular e m é a massa do componente. Considerando que o O₂ representa cerca de 21% do ar, pode-se calcular a massa de ar que entra na câmara de combustão a cada ciclo, e então, o mesmo pode ser feito para o biogás, este, composto por aproximadamente 80% de CH₄. Sabendo as características dos motores, é possível calcular o volume de biogás consumido nos motores por intervalo de tempo.

Porém, quando o projeto em análise já encontra-se em funcionamento e possui dados de consumo confiáveis, é possível utilizar valores reais.

3.3.3 Energia Elétrica Gerada

Não existe uma metodologia definida como padrão para o cálculo da geração de energia elétrica. A determinação da geração de energia foi realizada a partir de uma vazão de biogás conhecida nos motores, e da coleta direta de dados da geração no painel de controle do motogerador.

Em posse desses dados, estimou-se a potência real dos motogeradores, como apresenta a Equação 10.

$$P_{real} = \frac{E_g}{t} \quad \text{Equação 10}$$

Onde P_{real} é a potência real do motogerador (kW), E_g é a energia produzida no período analisado (kWh) e t é o tempo de funcionamento do motogerador no período analisado (h).

Conhecendo a potência real dos motogeradores, determinou-se a quantidade de energia elétrica total gerada no sistema. São apresentados nas Equações 11 e 12 os métodos de cálculo.

$$E_{gp} = P_{real} \times t_{fp} \quad \text{Equação 11}$$

$$E_{gfp} = P_{real} \times t_{ffp} \quad \text{Equação 12}$$

Em que E_{gp} é a quantidade de energia gerada nos horários de ponta (kWh), t_{fp} é o tempo de funcionamento do motogerador nos horários de ponta (h), E_{gfp} é a energia gerada nos horários fora de ponta (kWh) e t_{ffp} é o tempo de funcionamento do motogerador nos horários fora de ponta.

Nos horários de ponta (das 18:00 às 21:00 horas), o custo da energia elétrica vendida pela concessionária é maior que nos horários fora de ponta (restante do dia). Em função destes dados, é possível estimar a economia obtida, pois a empresa utiliza toda a energia produzida no sistema de geração.

O Quadro 4 apresenta as tarifas de energia pagas pela empresa em estudo à concessionária de energia elétrica. A empresa pertence à classe tarifária Horossazonal Verde A3a.

Período	Tarifa (R\$/kWh)
Ponta	1,0047
Fora de ponta	0,22572

Quadro 4 – Tarifas da energia elétrica nos horários de ponta e fora de ponta para a classe Horossazonal Verde A3a

A economia de energia em valores foi calculada pela Equação 13.

$$E_e = E_{gp} \times C_{ep} + E_{gfp} \times C_{efp} \quad \text{Equação 13}$$

Onde C_{ep} é o custo da energia elétrica no horário de ponta (R\$) e C_{efp} é o custo da energia nos horários fora de ponta, ou seja, as tarifas.

3.3.4 Custo da Produção de Energia Elétrica a Partir do Biogás

Após a determinação das variáveis acima, foi possível obter o custo de produção da energia elétrica a partir do biogás. Conforme já mencionado, a metodologia utilizada é descrita por Souza *et al* (2004), que define o custo como uma composição do capital investido de construção e manutenção do biodigestor e do sistema do motogerador.

Para o custo da produção de energia elétrica contendo a etapa de purificação de biogás, novos componentes foram adicionados. São eles: o capital investido para a construção e manutenção do purificador de biogás.

O custo de produção de energia elétrica sem a etapa de purificação, segundo Souza *et al* (2004), foi estimado utilizando-se a Equação 14.

$$C_e = \frac{CAG + CAB_{\text{motogerador}}}{PE} \quad \text{Equação 14}$$

Em que C_e é o custo da energia elétrica gerada a partir do biogás (R\$/kWh), CAG é o custo anualizado equivalente do investimento no conjunto do motogerador (R\$/ano), $CAB_{\text{motogerador}}$ é o gasto anual com biogás (R\$/ano), e PE é a produção de eletricidade (kWh/ano).

Para estimar o custo da geração de energia elétrica com a inclusão da etapa de purificação, complementou-se a equação anterior da seguinte maneira (Equação 15):

$$C_e = \frac{CAG + CAB_{\text{motogerador}} + CAP}{PE} \quad \text{Equação 15}$$

Onde além das variáveis anteriores temos o CAP, que representa o custo anualizado equivalente do investimento no equipamento de purificação (R\$/ano).

O cálculo das variáveis presentes nas equações procedeu-se da seguinte forma:

3.3.5 Custo anualizado equivalente do investimento no conjunto do motogerador (CAG)

O CAG é calculado de acordo com a Equação 16:

$$CAG = CIM \times FRC + \frac{CIM \times OM}{100} \quad \text{Equação 16}$$

Onde, CIM é o custo de investimento no motogerador (R\$), FRC é o fator de recuperação de capital (adimensional - obtido pela Equação 17) e OM (obtido pela Equação 18) é o custo de operação e manutenção do sistema (%/ano).

$$FRC = \frac{j \times (1+j)^n}{(1+j)^{n-1} - 1} \quad \text{Equação 17}$$

Em que j é a taxa de juros, definida para os cálculos como a TMA do projeto.

$$OM = 4\% \text{ do valor do } I_{fixo} \quad \text{Equação 18}$$

Onde I_{fixo} é o investimento fixo do projeto, calculado pela Equação 19.

$$I_{fixo} = CIM \text{ (para cálculo do CAG) e } CIB \text{ (para o cálculo do } CAB_{bio}) \quad \text{Equação 19}$$

Na qual CIB é o custo do investimento no biodigestor (R\$).

No caso de projetos que já estejam ativos, OM pode ser obtido dos dados de custos de manutenção e operação do sistema em funcionamento, tornando a análise econômica mais próxima do valor real.

3.3.5.1 Gasto anual com biogás ($CAB_{motogerador}$)

O gasto anual com biogás é calculado de acordo com a Equação 20:

$$CAB_{\text{moterador}} = CB \times CNB \quad \text{Equação 20}$$

Onde CB é o custo do biogás (R\$/m³), obtido pela Equação 21 e CNB é o consumo de biogás pelo motogerador (m³/ano).

$$CB = \frac{CAB_{\text{bio}}}{PAB} \quad \text{Equação 21}$$

Em que CAB_{bio} é o custo anualizado do investimento do biodigestor (R\$/ano), calculado pela Equação 22, e PAB é a produção anual de biogás (m³/ano), (dado obtido diretamente da indústria).

$$CAB_{\text{bio}} = CIB \times FRC + \frac{CIB \times OM}{100} \quad \text{Equação 22}$$

No caso do biogás purificado, o custo do biogás (Equação 21) recebe um novo componente, o CAP, apresentando-se desta maneira:

$$CB = \frac{CAB_{\text{bio}} + CAP}{PAB} \quad \text{Equação 23}$$

A variável CAP deve ser adicionada a fórmula de custo do biogás, pois a etapa de purificação encontra-se antes da transformação deste gás em energia elétrica, afetando também o custo de produção do biogás, não somente o da energia elétrica.

3.3.5.2 Produção de eletricidade (PE)

A produção de eletricidade é calculada pela Equação 24:

$$PE = P_{\text{nominal}} \times T_{\text{operação}} \quad \text{Equação 24}$$

Onde P_{nominal} é a potência nominal do motogerador (kW) e T representa a disponibilidade de operação anual da planta (horas/ano). Nesta equação realizou-se

uma alteração proposta por Amaral (2011), utilizando da Potência real do motogerador (P_{real} , - Equação 10) em substituição a $P_{nominal}$.

3.3.5.3 Custo anualizado equivalente do investimento no equipamento de purificação (CAP)

O CAP é calculado de acordo com a Equação 25:

$$CAP = CIP \times FRC + CAM_{purificador} \quad \text{Equação 25}$$

Onde, CIP é o custo de investimento no purificador (R\$).

3.3.5.4 Gasto anual com a manutenção do purificador ($CAM_{purificador}$)

O gasto anual com a manutenção do purificador é calculado de acordo com a Equação 26:

$$CAM_{purificador} = CSol + CMan \quad \text{Equação 26}$$

Onde, CSol é o custo da solução purificadora, e CMan é o custo de manutenção dos equipamentos de purificação (bombas, compressores, tubulações, etc.) por ano (R\$).

3.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE DOS INVESTIMENTOS

Nas análises de viabilidade foram avaliados dois cenários: o custo da energia elétrica produzida a partir do biogás não purificado, e o custo da energia elétrica produzida a partir do biogás purificado.

Após a projeção do fluxo de caixa (FC) para cada cenário, aplicaram-se os métodos de análise de viabilidade econômica apresentados na seção 11 do capítulo 2: o VPL (Equação 5), a TIR (Equação 6) e o *Payback time* (Equação 7).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Determinou-se primeiramente as informações comuns aos dois cenários analisados (custos do biogás não purificado e purificado). São estas: consumo de biogás pelos motogeradores (geração de biogás), energia elétrica gerada e economia de energia. Em seguida, realizou-se a análise econômica dos dois cenários.

4.1 CONSUMOS DE BIOGÁS PELOS MOTOGERADORES/GERAÇÃO DE BIOGÁS

A geração de biogás do sistema é considerada igual ao consumo de biogás pelos motogeradores. Neste item, utilizou-se a quantidade real de biogás consumida pelos motogeradores da indústria, considerando-se o funcionamento normal do sistema (sem variações expressivas – vazamentos de biogás). Os tempos de operação também são dados fornecidos pela indústria. Os motogeradores permanecem ligados durante 18 horas diárias, sendo que nestas 18 horas está sempre incluso o horário de ponta, em que a tarifa de energia da concessionária é mais cara. A Tabela 1 fornece os dados mencionados acima.

Tabela 1 - Consumo de biogás nos três motogeradores e tempo de operação

Motogerador	Potência nominal (KW)	Consumo de biogás (m³/h)	Tempo de operação (hrs/dia)
Motogerador 1	100	60	18
Motogerador 2	50	30	18
Motogerador 3	50	30	18
Total	200	120	-

4.2 PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE

De posse dos dados do consumo de biogás pelos motogeradores, bem como seus tempos de operação e a potência real de cada motogerador, pode-se ter uma estimativa confiável da energia elétrica gerada diariamente pelo sistema, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Energia elétrica gerada pelo sistema

Motogerador	Potência real (KW)	Tempo de operação horário de ponta	Tempo de operação fora de ponta	Energia elétrica gerada/dia (kW)
Motogerador 1	70	3	15	1.260
Motogerador 2	35	3	15	630
Motogerador 3	35	3	15	630
Total	140	-	--	2.520

4.3 ECONOMIA DE ENERGIA

É possível calcular a economia de energia em valores proporcionada pela produção de eletricidade através da biodigestão. A Tabela 3 fornece este dado para o período de um ano.

Tabela 3 - Economia de energia em valores para um ano

Motogerador	Potência real (kW)	Economia Horário de ponta (R\$)	Economia Horário Fora de ponta (R\$)	Economia total (R\$)
Motogerador 1	70	54.434,65	91.579,12	146.013,77
Motogerador 2	35	27.217,32	45.789,56	73.006,88
Motogerador 3	35	27.217,32	45.789,56	73.006,88
Total	140	108.869,29	183.158,24	297.027,53

No cálculo da economia de energia, considerou-se que o horário de ponta só ocorre em dias de semana, descontando-se fins de semana e feriados para a apuração dos valores. Em fins de semana e feriados a tarifa de energia cobrada é a fora de ponta, 24 horas por dia.

Apuradas as informações comuns aos dois cenários, realizaram-se as análises dos cenários separadamente.

Para as análises econômicas, a taxa de juros considerada para os dois cenários foi a de 7% a. a., aplicada pelo FINEP, entidade que financiou o projeto de geração de energia da indústria.

Considerou-se como 365 dias a disponibilidade da planta de geração de energia, e 10 anos como o tempo de amortização do investimento. Para os dois cenários, as receitas consideradas foram somente a produção de energia elétrica para autoconsumo industrial, com o objetivo de analisar se os investimentos são viáveis somente do ponto de vista da produção de energia, ou se precisam de um complemento de receita para tornarem-se financeiramente atrativos.

4.4 CENÁRIO 1: CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA A PARTIR DO BIOGÁS NÃO PURIFICADO

4.4.1 Gastos Anuais com o Biogás ($CAB_{\text{motogerador}}$)

Para o cálculo dos gastos anuais com biogás, foi necessário apurar todos os investimentos relacionados, começando pelos custos do sistema de biodigestão (Tabela 4).

Tabela 4 - Levantamento dos custos do sistema de biodigestão (CIB)

Ação	Valor (R\$)
Projeto dos Biodigestores 1 e 2	13.139,00
Transformação Lagoa 1 em Biodigestor 1	115.891,91
Transformação Lagoa 2 em Biodigestor 2	77.766,66
Construção dos Biodigestores 1 e 2	361.824,60
Agitação Biodigestores 1 e 2	11.836,85
Isolamento Biodigestores 1 e 2	18.202,50
Mão-de-obra das Tubulações de Biogás	2.815,50
Tubulações de Biogás	4.996,53
Total (CIB)	606.473,55

O custo anualizado do investimento do biodigestor (CAB_{bio} – em R\$/ano) foi então calculado em 123.860,41 reais.

Para proceder a anualização dos custos, calculou-se a produção anual de biogás (m^3/ano) (PAB), com base em dados de consumos diários reais dos motogeradores da indústria (Tabela 1). O resultado obtido foi 788.400,00 m^3 de biogás por ano, considerando o sistema atual de produção da indústria.

O custo do biogás (CB) obtido foi de. 0,157 R\$/ m^3 . O gasto anual com biogás ($CAB_{motogerador}$) calculado foi de. 123.860,41 R\$/ano.

4.4.2 Custo Anualizado Equivalente do Investimento no Conjunto do Motogerador (CAG)

O custo anualizado equivalente dos motogeradores foi calculado com base nos valores expressos na Tabela 5.

Tabela 5 - Levantamento dos custos do sistema de geração de energia elétrica (CIM)

Ação	Valor (R\$)
Execução da Casa dos Geradores	16.048,35
Implantação da Casa de Força	3.500,00
Instalação dos 2 Grupos Motogeradores de 50 KVA com 2 Painéis de controle/proteção	147.000,00
Quadro Geral Casa de força	9.900,00
Materiais Elétricos	2.423,90
Instalação do Grupo Motogerador de 100 KVA com 1 Pannel de controle/proteção	91.500,00
Medidor de vazão	5.350,00
Termômetro Digital Portátil	147,70
Instrumentação	94.038,00
Total (CIM)	369.907,95

No caso dos motogeradores, o valor de *OM* (custo com organização e manutenção), não foi considerado como 4% do valor do investimento fixo, e sim como o valor real de manutenção do projeto em funcionamento, dado obtido diretamente da indústria.

De posse desses dados, calculou-se o valor do custo anualizado equivalente do investimento no conjunto do motogerador (CAG), em 76.247,34 R\$/ano.

4.4.3 Custo da Produção de Energia Elétrica a Partir do Biogás Não Purificado

Calculadas as variáveis $CAB_{\text{motogerador}}$, CAG e PE, foi possível obter o custo de produção de energia elétrica a partir do biogás não purificado, em 0,218 reais/kW.

4.5 CENÁRIO 2: CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA A PARTIR DO BIOGÁS PURIFICADO

Neste segundo cenário, foram acrescentadas variáveis referentes ao custo do equipamento de purificação e de sua manutenção. Estes custos foram acrescidos aos custos do sistema de biodigestão, visto que a etapa de purificação acontece antes da transformação do biogás em energia. Portanto, eles influenciam nos custos tanto do biogás produzido, quanto da energia elétrica gerada. Nos custos da motogeração, alterou-se o valor da manutenção do conjunto, que diminuiu.

A Tabela 6 contém as informações referentes aos custos do sistema de purificação.

Tabela 6 - Levantamento dos custos do sistema de purificação de biogás (CIP)

Ação	Valor (R\$)
Obra civil	442,05
Motobombas e recirculação	4.184,80
Conexões	954,21
Material elétrico e eletricista	828,10
Mão-de-obra (sistema e cobertura)	5.020,00
Solução purificadora (Fe/EDTA)	575,00
Total (CIP)	12.004,16

É importante mencionar que alguns equipamentos utilizados no sistema de purificação foram reaproveitados da própria indústria, por isso, não constam na tabela dos custos do sistema. São eles: tanque de regeneração, compressor de ar (adaptou-se utilizando um soprador de ar de alta capacidade), tubulação de PVC e coluna de purificação. Para a coluna de purificação, a empresa utilizou aço inox, pois já tinha o material disponível, porém, é possível utilizar PVC, material com custo menor.

4.5.1 Gasto Anual com a Manutenção do Purificador ($CAM_{\text{purificador}}$)

O gasto anual com a manutenção do sistema pode ser considerado a soma do custo da solução purificadora, e do custo de manutenção do equipamento. Pelo fato da solução purificadora ser regenerada em contato com o ar, o seu custo de aquisição é muito pequeno, visto que a mesma pode ser reutilizada por muitos ciclos. Para a análise econômica, consideraram-se quatro trocas anuais da solução purificadora, cada preparo contendo 500 litros, com uma concentração de 0,12 M, considerada a ideal segundo testes realizados no equipamento. Considerou-se como gasto com a manutenção dos equipamentos 4% do valor fixo do investimento, conforme metodologia utilizada. A Tabela 7 fornece os gastos anuais com a manutenção do sistema.

Tabela 7 - Gastos anuais de manutenção do purificador

Ação	Valor (R\$)
Solução purificadora (Fe/EDTA)	3.553,90
Manutenção dos equipamentos	480,17
Total ($CAM_{\text{purificador}}$)	4.034,07

4.5.2 Custo Anualizado Equivalente do Investimento no Equipamento de Purificação (CAP)

O custo anualizado calculado para o purificador foi de 6.005,52 R\$/ano. Considerando esta variável, o biogás obtido tem um custo de 0,165 reais/m³.

4.5.3 Custo da Produção de Energia Elétrica a Partir do Biogás purificado

Para este cenário, deve-se considerar uma redução no custo da manutenção do sistema de geração de energia (moto geradores), pois o equipamento de purificação eliminará quase completamente o H₂S presente no biogás (purificação

esperada: 96-98%), extinguindo seu potencial corrosivo quando em contato com estruturas de concreto e metal (construções, cercas e equipamentos como motores, tubulações, etc.). Portanto, neste caso, será considerada uma redução de 50% nos custos de manutenção dos motogeradores, uma redução conservadora, porém, como o sistema de purificação não encontra-se em funcionamento tempo suficiente para a análise desta variável, é o valor mais indicado.

Calculadas as variáveis $CAB_{\text{motogerador}}$, CAG, CAP, $CAM_{\text{purificador}}$ e PE com a redução dos custos de manutenção, foi possível obter o custo de produção de energia elétrica a partir do biogás purificado, com um valor de 0,222 reais/kW.

4.6 CONFRONTO DOS DOIS CENÁRIOS

4.6.1 Comparação dos Custos

A Tabela 8 fornece um comparativo resumido dos dois cenários.

Tabela 8 - Comparativo dos resultados dos cenários

Variáveis	Cenário 1	Cenário 2
CAB_{bio} (R\$)	123.860,41	123.860,41
PAB (m ³ biogás/ano)	788.400	788.400
CAP (R\$)	-	6.005,52
CB (R\$)	0,157	0,165
$CAB_{\text{motogerador}}$ (R\$)	123.860,41	129.865,93
CAG (R\$)	76.247,34	68.498,76
PE (kW/ano)	919.800	919.800
Custo da energia elétrica (R\$/kW)	0,218	0,222

4.6.2 Fluxos de Caixa

A Figura 14 ilustra o gráfico comparativo dos fluxos de caixa acumulados dos dois cenários em análise.

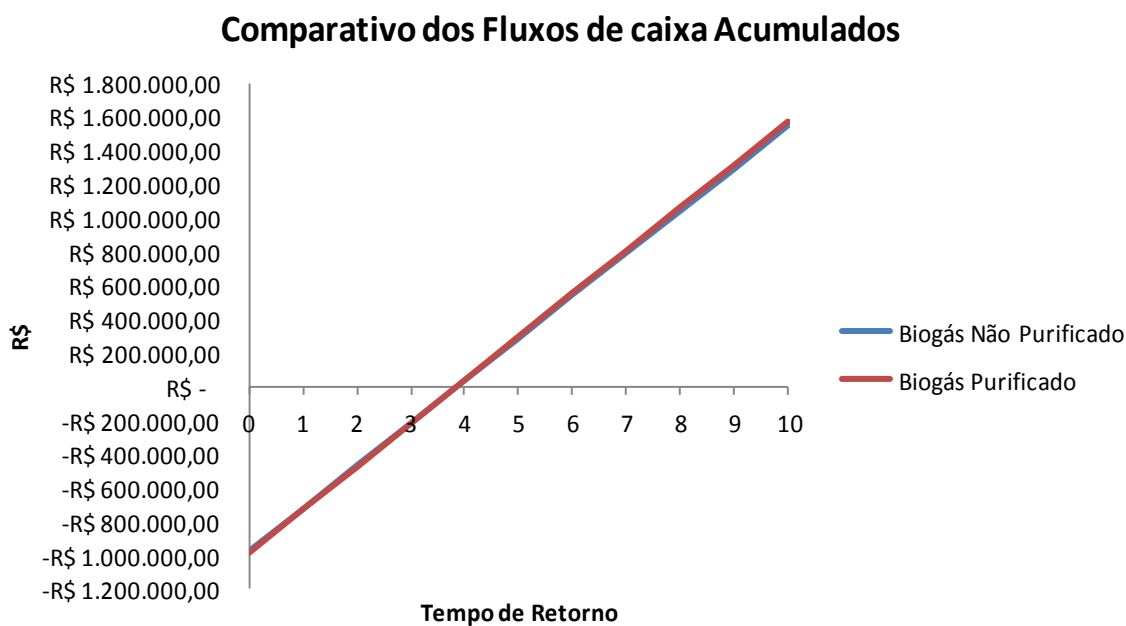


Figura 14 - Gráfico Comparativo dos Fluxos de Caixa

Observa-se que a diferença entre os fluxos de caixa dos dois cenários é pequena, e que, apesar do processo com purificação aumentar o custo do biogás e da energia elétrica gerada, ele ainda apresenta uma mínima vantagem no tempo de retorno e na lucratividade do projeto.

4.6.3 Análise Econômica

A Tabela 9 fornece um comparativo dos indicadores econômicos dos dois cenários, sendo o Cenário 1 o Biogás Não Purificado, e Cenário 2 o Biogás Purificado.

Tabela 9 - Indicadores econômicos dos dois cenários

Indicador	Cenário 1	Cenário 2
VPL	R\$ 2.748.230,44	R\$ 2.786.323,76
TIR	22,42%	22,50%
<i>Payback Time</i>	4 anos	3 anos e 11 meses

4.7 CENÁRIO 2 – INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS: NÚMERO DE TROCAS DE SOLUÇÃO E CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO.

Na análise econômica do biogás purificado, definiu-se o número ideal de trocas da solução purificadora igual a 4 (quatro) e 0,12 mol/L a concentração ótima da solução para purificação.

Sendo a solução purificadora o fator que mais interfere no custo de manutenção do purificador, avaliou-se a influência da alteração destas variáveis no custo do biogás e da eletricidade produzida. As tabelas de análise das duas variáveis encontram-se no Apêndice A.

A Figura 15 apresenta o gráfico da influência da variação do número de trocas de solução no custo do biogás e da eletricidade, mantendo constante a concentração da solução em 0,12 M.

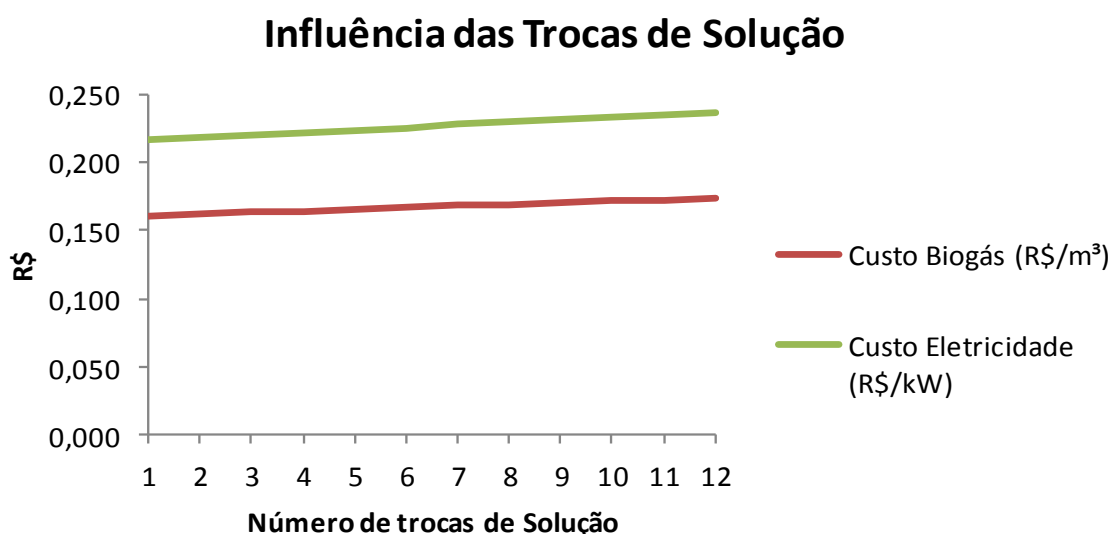


Figura 15 - Influência do Número de Trocas da Solução nos Custos do Biogás e da Eletricidade

A Figura 16 apresenta o gráfico da influência da alteração da concentração da solução purificadora no custo do biogás e da eletricidade, mantendo constante o número de quatro trocas anuais de solução.

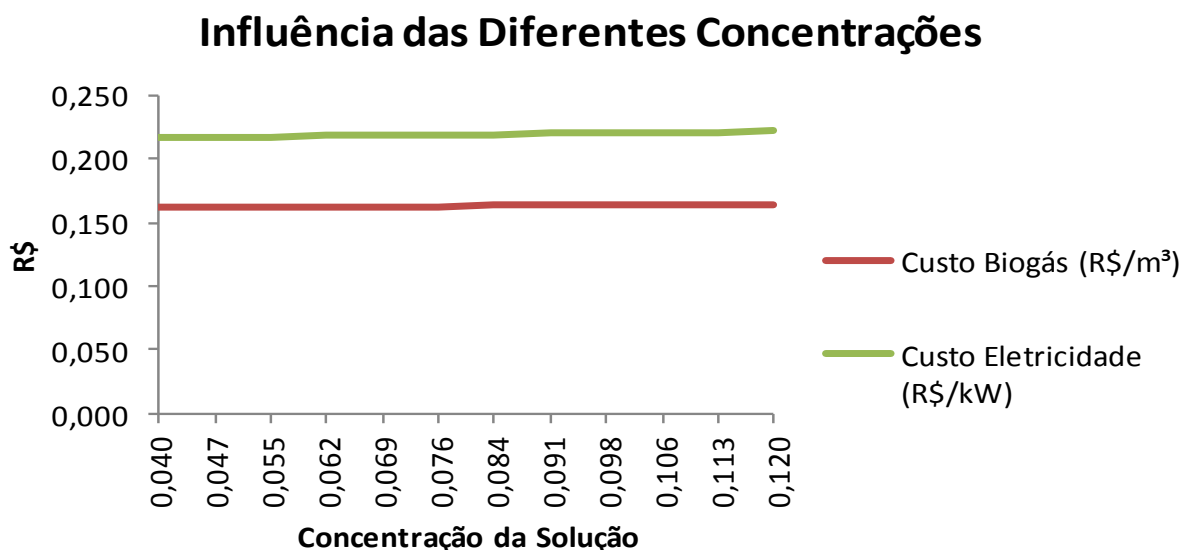


Figura 16 - Influência da Concentração da Solução nos Custos do Biogás e da Eletricidade

É possível perceber que a alteração do número de trocas da solução apresenta uma influência mais efetiva sobre os custos do biogás e da eletricidade produzida. Sendo assim, este fator apresenta-se como um ponto que deve ser rigorosamente controlado no processo de operação do equipamento de purificação, devendo haver muito cuidado na sua armazenagem e também no controle de possíveis vazamentos no purificador, bem como o acompanhamento constante da eficiência de purificação através de testes.

5 CONCLUSÕES

A análise econômica dos dois cenários mostrou que o biogás apresenta-se como uma alternativa economicamente viável para a geração de energia elétrica. A inclusão da etapa de purificação no processo de produção de energia alterou o custo do biogás de 0,157 R\$/m³ para 0,165 R\$/m³, e o custo da energia elétrica de 0,218 R\$/kW para 0,222 R\$/kW. Apesar deste acréscimo nos valores finais, o cenário de análise do biogás purificado apresentou um tempo de retorno minimamente menor que o cenário do biogás não purificado. Enquanto a TIR obtida para o cenário de biogás não purificado foi de 22,42%, a TIR encontrada para o cenário do biogás purificado foi de 22,5%.

Quanto à etapa de purificação, constata-se que sua implantação é viável, visto que o projeto ainda permanece lucrativo depois que o purificador foi instalado. Sendo o objetivo do sistema proposto a eliminação dos problemas de corrosão causados pelo H₂S no processo de geração de energia elétrica, assim que o sistema estiver operando a um tempo considerável para realização de análises sobre a redução dos custos de manutenção do sistema de motogeração, é muito provável que a inclusão da etapa de purificação se torne ainda mais viável economicamente, pois estima-se que a redução desses custos seja consideravelmente maior que 50%, valor utilizado nas análises do trabalho.

O sistema mostra-se uma alternativa que pode ser facilmente implantada em outras plantas de geração de energia a partir de biogás, visto que após a implantação no frigorífico de aves, já foi implantado um segundo equipamento em uma granja de suínos, mostrando-se muito eficiente. É um equipamento compacto, de custo de implantação e manutenção relativamente baratos quando comparados ao investimento total no sistema de produção de biogás e co-geração de energia. Além disso, não são necessárias grandes modificações no sistema para a sua implantação.

Constatou-se também que o processo pode se tornar mais lucrativo com a inclusão de novas receitas, aproveitando o potencial do sistema e otimizando os custos, conforme sugestões a seguir.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Realizar análise econômica considerando como receitas dos processos as seguintes variáveis, além da energia elétrica gerada:

- Gastos evitados na substituição de fertilizante químico pelo biofertilizante gerado nos biodigestores;
- Gastos evitados com aterro sanitário para o depósito dos dejetos industriais gerados;
- Comercialização do enxofre gerado na purificação.

Outra sugestão é a análise da substituição do combustível utilizado para a produção de energia térmica da indústria (substituição de lenha por biogás).

REFERÊNCIAS

AIRES, A. M. **Biodigestão Anaeróbia da Cama de Frangos de Corte com ou sem Separação das Frações Sólida e Líquida**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Brasil, 2009.

AMARAL, R. G. **Viabilidade Econômica da Implantação de um Sistema de Geração de Energia Elétrica a Partir de Biogás Gerado em um Abatedouro de Aves**. Trabalho de Diplomação – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2011.

ATKINS, P. **Físico-Química**. v. 1. 8 ed. Rio de Janeiro, LTC, 2008. 589 p.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. – 2ª ed. Atual e ampliada. – são Paulo: Saraiva, 2007.

BELLAVER, C.; OLIVEIRA, P. A. Balanço da água nas cadeias de aves e suínos. In: **Avicultura Industrial**, 2009. pág. 39-44. Disponível em: <http://www.qualyfoco.com.br/arquivos_publicacoes/arquivos/1266836613_Agua_esencial_v2.pdf>. Acesso em: 18/02/2013.

BELLI FILHO, P.; CABRAL, F. A. da S.; LISBOA, H. de M.; WILLEMANN, A. Remoção de H₂S Através de Biofiltração na ETE do Município de Orleans/SC. **XXX CONGRESO DE LA ASOCIACIÓN INTERAMERICANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL (AIDIS)**, 2006.

BERLINER, C.; BRIMSON, J. A. **Gerenciamento de custos em indústrias avançadas: base conceitual CAM-I**. Tradução de José Luiz Bassetto – São Paulo: T. A. Queiroz: Fundação Salim Farah Maluf, 1992.

BERTEVELLO, L. C. **Absorção Gás-Líquido com Reação Química. Modelagem de Colunas de Pratos – Modelo de Estágio de Não-Equilíbrio**. 1997. 123 p. Dissertação (Mestrado) – UNICAMP, Universidade Estadual de Campinas. Brasil, 1997.

BOHN, C.; FRARE, L. M.; ARIOLI, R.; EYNG, E. BITTENCOURT, P. R. S.; SCHIAVON MAIA, D.; PEREIRA, N. C. Implementação de um Sistema para Remoção de H₂S de Biogás Proveniente do Tratamento de Efluentes de um Frigorífico de Aves. In: **XVII SICITE – Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR**, Curitiba, 2012.

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

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução N° 430, de 13 de Maio de 2011**. Ministério do Meio Ambiente, 2011.

CARVALHO, L. S.; NEVES, S. B.; LIMA, Y; DUARTE, I. R. C.; TEIXEIRA, W. D.; SANTANA, M. L.; FERRARI, A. M. A.; Estudo da Tecnologia de Separação do CO₂ de Gases Industriais por Absorção com Monoetanolamina – MEA, **Anais do 4º PDPETRO**, Campinas, Outubro, 2007.

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. **Biogás – Definição**. Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br/mudancas-climaticas/biogas/Biog%C3%A1s/17-Defini%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 18/02/2013.

CHERNICARO, C. A. de I. **Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997.

COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso do Biogás da Bovinocultura e Suinocultura para Geração de Energia Elétrica e Irrigação de Propriedades Rurais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006. 59p.

CONVERTI, A.; ZILLI, M. **A biofiltração: uma tecnologia já afirmada no tratamento de emissões gasosas**, Anais do VI Seminário de Hidrólise Enzimática de Biomassa. Maringá, Dezembro, 1999.

COSTA, A. A. dos S. **Análise Técnico-Econômica da Utilização de um Gerador a Gás Natural em um Sistema de Cogeração: Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) apresentada à Universidade Estadual de São Paulo, Guaratinguetá, 2003. 112 p.

COSTA, D. F. da. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto**. 2006. 194. f. Dissertação (Mestrado em Energia da Universidade de São Paulo) – Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/biblioteca/producao/2006/Teses/Dissertacao_David.pdf>. Acesso em: 28/02/2013.

DAMMANN, D. R.; MORAIS, J.; PAULA, S. de. **Compostagem de resíduos de abatedouro de aves**. 2007. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2007.

DAVID, D. E. H.; CARVALHO, H. G. de; PENTEADO, R. S. **Gestão de ideias**. Curitiba: Aymaré Educação, 2011.

DINDORE, V. Y. **Gas purification using membrane gas absorption processes**. 2003. 205 f. Thesis (Master of Science) – University of Twente, the Netherlands, 2003.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistemas de Tratamento de Dejetos Suínos – Inventário Tecnológico**. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/invtec/09.html>>. Acesso em: 18/02/2013.

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

FONTANA, R. M.; IAROSINSKI NETO, A. Um modelo de referência para o processo de mudança estrutural em sistemas produtivos. **XII SIMPEP** – Bauru - SP, Novembro, 2005.

FRARE, L. M. **Estudos para a Implementação de uma Planta para Remoção de Ácido Sulfídrico de Processos de Produção de Biogás**. 2006. 162 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Brasil, 2006.

Gestão Agroindustrial: **GEPAI**: Grupo de Estudos e pesquisas agroindustriais / coordenador Mário Otávio Batalha. – 3ª ed. – 5 reimpr. – São Paulo: Atlas, 2011.

GIL, A., C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3ª ed. – São Paulo: Atlas, 1991.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos**: aplicações práticas para economistas, engenheiros, analistas de investimentos e administradores. 7ª ed. – São Paulo: Atlas, 2010.

HOLANDA, M. R. de. **Avaliação do Potencial de Cogeração a Partir de Resíduos Sólidos Municipais na Região de Guaratinguetá**. 1998. 158 p. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, Brasil, 1998.

HORIKAWA, M. S.; ROSSI, F.; GIMENES, M. L.; COSTA, C. M. M.; SILVA, M. G. C. Chemical Absorption of H₂S for Biogas Purification. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 21, n. 03, pp. 415 - 422, July - September 2004.

KANIKOSKI, F.; SCARAVONATTI, L. M. RODRIGUES, T. **Estudo da Produção de Energia Elétrica a Partir do Biogás para um Frigorífico de Aves**. 2010. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Tecnologia em Gestão Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2010.

KOHL, A. L.; RIESENFELD, F. C. **Gas Purification**. 4. ed. Houston: Gulf Publishing Company, Texas, 1985.

KUSSANO, M. R.; BATALHA, M. O.; MIRANDA, P. S. M. Os Desafios de Adequação à Questão Ambiental: Diagnóstico, Limitações e Possibilidades de um Frigorífico Avícola. In: **XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_079_550_11843.pdf>. Acesso em: 20/02/2013.

LAR – COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL LAR. **Unidade Industrial de Aves**. Disponível em: <<http://www.lar.ind.br/v3/unidade.php?industria=2&acao=visualizar>>. Acesso em: 27/02/2013.

LEITE, A. B; BERTOLI, S. L.; BARROS, A. A. C. **Absorção química de dióxido de nitrogênio (NO₂)**. Eng. sanit. ambiental. Vol.10 - Nº 1 - jan/mar, pp. 49-57, 2005.

LIMA, Paulo C. R. **Biogás da Suinocultura: Uma importante fonte de geração de energia**. 2007. 26 f. Estudo – Centro de Documentação e Informação Coordenação de Biblioteca, Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados, Distrito Federal, 2007. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br/bd/handle/bdcamara/1724>> Acesso em: 25/02/2012.

MAGALHÃES, A. P. T. **Biogás**: um projeto de saneamento urbano. São Paulo: Nobel, 1986.

MAGALHÃES, G. **Introdução à metodologia da pesquisa**: caminhos da ciência e tecnologia. São Paulo: Ática, 2005.

MAINIER, F. B.; ROCHA, A. A. H₂S: Novas Rotas de Remoção Química e Recuperação de Enxofre. **Anais do 2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás**. Rio de Janeiro, Junho, 2003.

MAINIER, F. B.; SANDRES, G. C.; TAVARES, S. S. M. Corrosão por Sulfeto de Hidrogênio (H₂S) e Suas Implicações no Meio Ambiente e na Segurança Industrial. In: **8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica**, Cusco, 2007.

MAINIER, F. B.; VIOLA, E. D. M. O Sulfeto de Hidrogênio (H₂S) e o Meio Ambiente. Universidade Federal Fluminense e INMETRO/LATEC (UFF). **Anais II Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SEGeT’ 2005**.

MARCONI, M. de A., LAKATOS, E. M. Fundamentos da Metodologia Científica. 7ª ed. - São Paulo: Atlas, 2010.

MARTINS, D. S.; ASSIS, E. G. Estudo da Viabilidade Econômica da Implantação de um biodigestor em uma granja de perus. In: **XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, Foz do Iguaçu, 2007. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGETP2007_TR590444_9790.pdf>. Acesso em: 20/02/2013.

MORAES, L. de M. Gerenciamento de Resíduos de Abatedouro de Aves: Alternativas de Manejo e Tratamento. In: **20º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 1999, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/brasil20/iii-019.pdf>>. Acesso em: 18/02/2013.

MORAES, M. J. **Manual de instruções para o usuário do biogás**, 1980.

NEVERS, N. **Air pollution control engineering**. 1. ed. New York: McGraw Hill, 1985.

NIETO, R. **Tratamento de Efluentes Líquidos**. Workshops Meio Ambiente – Convênio CETESB-CIESP. Disponível em: <<http://www.ciespsorocaba.com.br/documentos/palestras/ciesp-cetesb.pdf>>. Acesso em: 21/02/2013.

NOGUEIRA JUNIOR, L. C.; TRIVELATO, L. F. L.; FREITAS, L. S. de. Reestruturação de um processo produtivo na fabricação de locomotivas e a autonomia de equipes de trabalho. **XIII SIMPEP** – Bauru - SP, Novembro, 2006.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão: uma alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1986.

O'BRIEN, M. **Catalytic Oxidation of Sulfides in Biogas, Ventilation Air and Wastewater Streams from Anaerobic Digesters**. Food Industry Environmental Conference, USA, pp. 1 –13, 1991.

OSTROWER, F. **Criatividade e processo de criação**. 27 ed. Petrópolis: Vozes, 2012.. 186 p.

PEREIRA, S. C. F. **Gerenciamento de Cadeias de Suprimentos: análise da avaliação de desempenho de uma cadeia de carne e produtos industrializados de frango no Brasil**. 2003. 357 f. Tese (Doutorado em Economia) - Fundação Getulio Vargas Escola de Administração de Empresas de São Paulo, São Paulo, 2003.

PONTES, A. F. V. **Avaliação do Desempenho de Reator Anaeróbio-Aeróbio com Recirculação da Fase Líquida no Tratamento de Água Residuária Proveniente de Abatedouro de Aves**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009. 127p.

PRATI, L. **Geração de Energia Elétrica a Partir do Biogás Gerado por Biodigestores**. 2010. 81 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Brasil, 2010.

RASOTO, A.; GNOATTO, A. A.; OLIVEIRA, A. G. de; ROSA, C. F. da; ISHIKAWA, G.; CARVALHO, H. A. de; LIMA, I. A. de; LIMA, J. D. de; TRENTIN, M. G.; RASOTO, V. I. **Gestão Financeira: enfoque em inovação**. Curitiba: Aymarã Educação, 2012.

RAVAGNANI, A. T. F. S. G. **Modelagem Técnico-Econômica de Sequestro de CO₂ considerando Injeção em Campos Maduros**. 2007. 186 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2007.

SCHUBERT, P. **Análise de investimentos e Taxa de Retorno**. São Paulo: Editora Ática S.A., 1989.

SGANZERLA, E. **Biodigestor: uma solução**. Porto Alegre: Agropecuária, 1983. 81 p.

SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Pesquisa trimestral do abate de animais – julho-setembro 2012.** Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/default.asp?t=1&z=t&o=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1&u7=1&u8=1&u9=1&u10=1&u11=1&u12=3&u13=1&u14=26674&u15=1&u16=1&u1=1>>. Acesso em: 06/02/2013.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Fundamentos de Química Analítica.** Tradução da 8ª Edição. São Paulo: Thomson, 2008.

SOUSA, G. W. L.; VAN AKEN, E.; GROESBECK, R. L. Applying an Enterprise Engineering Approach to Engineering Work: a focus on business process modeling. **Engineering Management Journal**, v.14, n. 3, p. 15-24, 2002.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisões financeiras e análise de investimentos: Fundamentos, técnicas e aplicações.** 6 ed. São Paulo: Atlas, 2008. 178 p.

SOUZA, H. P.; ROCHA, S. M. S.; SÉRVULO, E. F. C.; CAMMAROTA, M. C.; CARDOSO, V.L. Redução da Produção de H₂S em Sistemas Anaeróbios. In: **VI COBEQ – Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**, Campinas, 2005.

SOUZA, S. N. M.; PEREIRA, W. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; PAVAN, A. A.; SORDI, A. Custo da Eletricidade Gerada em Conjunto de Motor Gerador Utilizando Biogás da Suinocultura. **Acta Scientiarum Technology**. Maringá, v. 26. no. 2. p. 127-133, 2004.

UBABEF – União Brasileira de Avicultura. **Relatório Anual 2012.** Disponível em: <<http://www.abef.com.br/ubabef/exibenoticiaubabef.php?notcodigo=3293>>. Acesso em: 05/02/2013.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. **Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos.** Curitiba: Editora UTFPR, 2009.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgoto.** 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p.

WANG, D.; TEO, W.K.; LIB, K. **Selective removal of trace H₂S from gas streams containing CO₂ using hollow fibre membrane modules/contractors.** Separation and Purification Technology, v. 35, pp. 125–131, 2004.

WINROCK INTERNATIONAL BRASIL. **Manual de Treinamento em Biodigestão**. 2008. Disponível em: <http://www.ieham.org/html/docs/Manual_Biodigestao.pdf>. Acesso em: 10/02/2013.

ZICARI, S. M. **Removal of hydrogen sulfide from biogas using cow-manure compost**. 2003. 120f. Thesis (Master of Science) – Faculty of the Graduate School of Cornell University, Cornell, 2003.

APÊNDICE A

Tabela A.1 – Influência do número de trocas de solução purificadora no custo do biogás e da eletricidade.

Concentração fixa em 0,12 M		
Trocas de Solução	Custo Biogás (R\$/m ³)	Custo Eletricidade (R\$/kW)
1	0,161	0,216
2	0,162	0,218
3	0,164	0,220
4	0,165	0,222
5	0,166	0,224
6	0,167	0,226
7	0,168	0,228
8	0,169	0,230
9	0,170	0,232
10	0,171	0,234
11	0,173	0,236
12	0,174	0,238

Tabela A.2 – Influência da concentração da solução purificadora no custo do biogás e da eletricidade.

Número de trocas fixo em 4		
Concentração	Custo Biogás (R\$/m ³)	Custo Eletricidade (R\$/kW)
0,040	0,162	0,217
0,047	0,162	0,217
0,055	0,162	0,218
0,062	0,163	0,218
0,069	0,163	0,219
0,076	0,163	0,219
0,084	0,163	0,220
0,091	0,164	0,220
0,098	0,164	0,221
0,106	0,164	0,221
0,113	0,164	0,222
0,120	0,165	0,222

APÊNDICE B

SOLUÇÃO PURIFICADORA Fe/EDTA		
Peso Molar Fe	55,847	g/mol
Volume de Solução Preparado	500	L
Concentração da Solução (M)	0,12	mol/L
Concentração de Ferro m/m (δ_{Fe})	13,2	%
Massa de Ferro da solução	3,35	Kg
Quantidade de Fe/EDTA necessária		
Massa de Fe/EDTA da solução	25,39	Kg
Custo por Kg de Fe/EDTA	35	R\$
Trocas anuais da solução	4	troca(s)
Custos anuais com Fe/EDTA	R\$	3.553,90

VARIÁVEIS PARA ANÁLISE ECONÔMICA	
Tempo de amortização investimento	10 anos
Taxa Mínima de Atratividade	7 % a.a.

Custo biogás sem purificação	R\$	0,157
Custo biogás com purificação	R\$	0,165
Custo energia sem purificação	R\$	0,218
Custo energia com purificação	R\$	0,222

Consumos biogás m ³ /h		
Motogerador 1	100	60
Motogerador 2	50	30
Motogerador 3	50	30
Potência real biodigestores	70,00%	

Classe tarifária da empresa: Horossazonal verde A3a		
Horário de Ponta		Fora de Ponta
Tarifas (R\$/kW)	1,0047	0,22572
Valor de demanda (R\$/kW)	R\$	8,25

Horas de Operação Diárias Motogeradores	
Fora de pico=	15
Pico=	3
Período de um ano	
Dias no período =	365
Feriados =	11
Dias de fins de semana =	96
Horas motogeradores ponta =	774
Horas motogeradores fora de ponta =	5796
Horas de funcion. Motoger. (total)	6570
Horas de ponta =	11,78%
Horas fora de ponta =	88,22%

Figura B.1 – Entrada de variáveis para análise de viabilidade

APÊNDICE C

CUSTO DO BIOGÁS NÃO PURIFICADO
FLUXO DE CAIXA

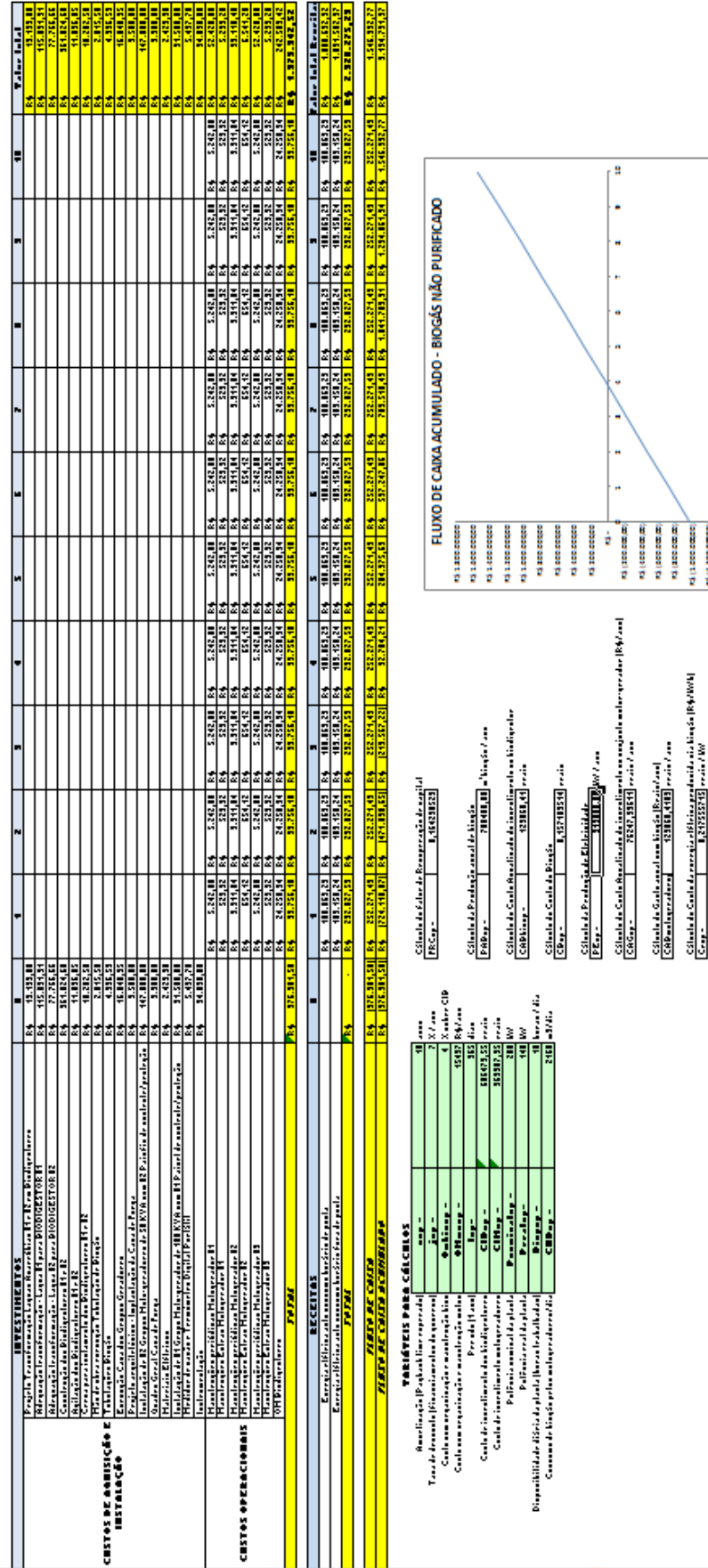
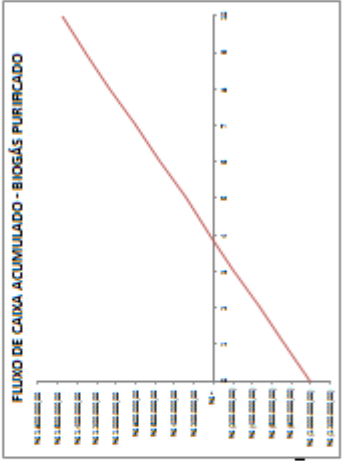


Figura C.1 – Custos da geração de energia elétrica a partir do biogás não purificado

APÊNDICE D

CUSTO DO BIOGÁS PURIFICADO FLUXO DE CAIXA

Descrição	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
INVESTIMENTOS													
Projeto Executivo e Licitação	R\$	14.100,00											14.100,00
Projeto de Engenharia	R\$	10.350,00											10.350,00
Projeto de Instalação	R\$	10.350,00											10.350,00
Projeto de Manutenção	R\$	10.350,00											10.350,00
Projeto de Operação	R\$	10.350,00											10.350,00
Projeto de Transporte	R\$	10.350,00											10.350,00
Projeto de Energia	R\$	10.350,00											10.350,00
Projeto de Saneamento	R\$	10.350,00											10.350,00
Projeto de Segurança	R\$	10.350,00											10.350,00
Projeto de Comunicação	R\$	10.350,00											10.350,00
Projeto de Outros	R\$	10.350,00											10.350,00
CUSTOS DE AQUISIÇÃO E INSTALAÇÃO													
Equipamento de Controle	R\$	10.350,00											10.350,00
Equipamento de Medição	R\$	10.350,00											10.350,00
Equipamento de Proteção	R\$	10.350,00											10.350,00
Equipamento de Comunicação	R\$	10.350,00											10.350,00
Equipamento de Outros	R\$	10.350,00											10.350,00
CUSTOS OPERACIONAIS													
Manutenção	R\$	10.350,00											10.350,00
Operação	R\$	10.350,00											10.350,00
Transporte	R\$	10.350,00											10.350,00
Energia	R\$	10.350,00											10.350,00
Saneamento	R\$	10.350,00											10.350,00
Segurança	R\$	10.350,00											10.350,00
Comunicação	R\$	10.350,00											10.350,00
Outros	R\$	10.350,00											10.350,00
CUSTOS DE AQUISIÇÃO E INSTALAÇÃO DE EQUIPAMENTOS DE CONTROLE E MEDIÇÃO													
Equipamento de Controle	R\$	10.350,00											10.350,00
Equipamento de Medição	R\$	10.350,00											10.350,00
Equipamento de Proteção	R\$	10.350,00											10.350,00
Equipamento de Comunicação	R\$	10.350,00											10.350,00
Equipamento de Outros	R\$	10.350,00											10.350,00
RECEITAS													
Receita de Venda de Energia Elétrica	R\$												
Receita de Venda de Biogás Purificado	R\$												
Receita de Venda de Outros Produtos	R\$												
Receita de Venda de Serviços	R\$												
Receita de Venda de Outros	R\$												
TOTAL DO CUSTO DO BIOGÁS PURIFICADO													
	R\$	10.350,00											10.350,00



VARIÁVEIS PARA CÁLCULOS

Benefício (IP) kWh/litro de gás	10
Taxa de desconto (Financiamento da operação)	7,5 %/ano
Capacidade instalada (m³/dia)	720
Capacidade instalada (m³/ano)	261,6
Capacidade instalada (m³/mês)	21,8
Capacidade instalada (m³/hora)	0,917
Capacidade instalada (m³/min)	0,153
Capacidade instalada (m³/seg)	0,0255
Capacidade instalada (m³/minuto)	0,00425
Capacidade instalada (m³/segundo)	0,000708
Capacidade instalada (m³/segundo)	0,000708

Figura D.1 – Custos da geração de energia elétrica a partir do biogás purificado

APÊNDICE E

		BIOGÁS MÃO PURIFICADO										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
WPL	R\$	976.381,60	252.271,43	252.271,43	252.271,43	252.271,43	252.271,43	252.271,43	252.271,43	252.271,43	252.271,43	252.271,43
	R\$	235.767,69	220.343,63	206.928,63	192.496,66	179.886,04	168.099,10	157.101,37	146.824,27	137.218,94	128.242,00	128.242,00
	TIR	22,420%	-R\$ 206.070,44	R\$ 168.330,69	R\$ 137.502,61	R\$ 112.320,38	R\$ 91.790,02	R\$ 74.946,92	R\$ 61.221,14	R\$ 50.009,10	R\$ 40.850,44	R\$ 33.369,09
PayBack Time			-R\$ 724.110,07	-R\$ 471.638,65	-R\$ 219.567,22	R\$ 32.704,21	R\$ 284.975,63	R\$ 537.247,06	R\$ 789.518,49	R\$ 1.041.789,91	R\$ 1.294.061,34	R\$ 1.546.332,77
		BIOGÁS PURIFICADO										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
WPL	R\$	986.385,66	255.985,94	255.985,94	255.985,94	255.985,94	255.985,94	255.985,94	255.985,94	255.985,94	255.985,94	255.985,94
	R\$	239.239,19	223.698,03	208.960,78	192.290,45	182.514,44	170.574,24	159.416,18	148.986,16	139.239,39	130.190,27	130.190,27
	TIR	22,500%	-R\$ 208.968,11	R\$ 170.598,21	R\$ 139.254,05	R\$ 113.676,78	R\$ 92.797,37	R\$ 75.762,96	R\$ 61.839,15	R\$ 50.480,94	R\$ 41.208,33	R\$ 33.639,94
PayBack Time			-R\$ 732.399,72	-R\$ 476.413,79	-R\$ 220.427,85	R\$ 35.598,09	R\$ 291.544,02	R\$ 547.529,96	R\$ 803.615,90	R\$ 1.059.901,83	R\$ 1.315.487,77	R\$ 1.571.473,71

COMPARATIVO DOS FLUXOS DE CAIXA ACUMULADOS

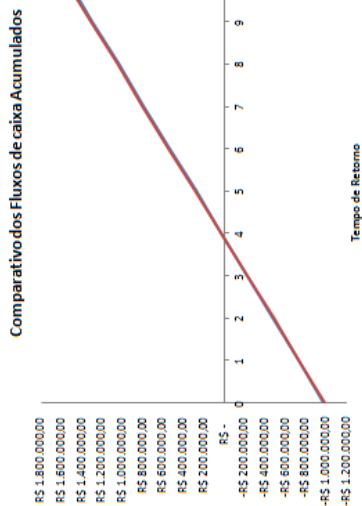


Figura E.1 – Análises de viabilidade econômica para os dois cenários