

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE**

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS COMO FONTE DE ENERGIA  
RENOVÁVEL NO PROCESSO PRODUTIVO DE INDÚSTRIAS DE  
BEBIDAS**

**ADRIANE RICARTES GUIMARÃES SALAZAR**

**CAMPO GRANDE**

**2014**

**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL**  
**FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUSTENTABILIDADE**

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS COMO FONTE DE ENERGIA  
RENOVÁVEL NO PROCESSO PRODUTIVO DE INDÚSTRIAS DE  
BEBIDAS**

**ADRIANE RICARTES GUIMARÃES SALAZAR**

Trabalho de Conclusão de Curso do Mestrado Profissional apresentado na Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, para obtenção do título de Mestre em Eficiência Energética e Sustentabilidade, na área de concentração Eficiência Energética.

**Orientadora: Profa. Dra. Andrea Teresa Riccio Barbosa**

**CAMPO GRANDE**  
**SETEMBRO/2014**

# **FOLHA DE APROVAÇÃO - ATA DA DEFESA**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho ao meu exemplo de vida e maior incentivador da busca incessante pelo conhecimento, meu pai, Adir de Souza Guimarães.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu esposo, Pedro Paulo, pelo companheirismo, incentivo, paciência, confiança, amor e por me transmitir a tranquilidade para me dedicar a este trabalho.

Às minhas filhas, Isabela e Gabriela, pela compreensão dos momentos de minha ausência e pelo amor incondicional que me fortalece e incentiva a atingir meus objetivos.

Aos meus pais e irmãs, pelo total apoio nas horas difíceis.

A minha orientadora, prof. Dra. Andrea Teresa Riccio Barbosa, pela paciência e comprometimento com a orientação clara, precisa e eficiente.

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul pela oportunidade de aquisição de conhecimento.

Aos colegas de mestrado pelas horas de convivência e pelo compartilhamento de experiências e conhecimento.

Aos proprietários e gestores da empresa que disponibilizou os dados para a realização da metodologia desta pesquisa de mestrado.

Ao proprietário da Empresa A3 Projetos e Consultoria Ambiental, Engenheiro Ambiental Robson C. dos Anjos, pelo apoio e disponibilidade para esclarecer sobre o tratamento de efluentes da empresa pesquisada.

A todos meus amigos e familiares pelo incentivo, pela preocupação e pelo carinho.

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a construção desta pesquisa de mestrado, meus sinceros agradecimentos.

## EPÍGRAFE

“A ignorância do homem não se resume apenas na falta de conhecimento, mas sim na acomodação da constante busca do autoconhecimento”.

(Gandhi)

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTOS .....	iv
EPÍGRAFE.....	v
LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE TABELAS .....	xi
LISTA DE EQUAÇÕES .....	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS DE SIGLAS .....	xiv
LISTA DE SÍMBOLOS .....	xvi
RESUMO .....	xviii
ABSTRACT .....	xix
1. INTRODUÇÃO.....	20
1.2. Justificativa .....	23
1.3. Objetivo Geral.....	24
1.4. Objetivo Específico.....	24
1.5. Divisão do Trabalho.....	25
2. IMPACTOS AMBIENTAIS PROVENIENTES DA PRODUÇÃO DE REFRIGERANTES .....	26
2.1. Matéria Prima Utilizada na fabricação de Refrigerantes .....	28
2.1.1. Água .....	28
2.1.2. Açúcar .....	28
2.1.3. Suco e Extrato Vegetal.....	29
2.1.4. Conservantes .....	30
2.1.5. Acidulantes.....	30
2.1.6. Antioxidantes .....	31
2.1.7. Aromatizantes e/ou Flavorizantes.....	31
2.1.8. Corantes .....	32
2.1.9. Dióxido de Carbono CO <sub>2</sub> .....	32
2.2. Processo de Engarrafamento.....	33

2.3.	Uso de Energia.....	35
2.4.	Principais poluentes gerados.....	37
2.4.1.	Resíduos sólidos.....	37
2.4.2.	Efluentes líquidos.....	37
2.4.3.	Resíduos pós-consumo.....	39
2.4.4.	Emissões de metano a partir de efluentes industriais.....	39
3.	LEGISLAÇÕES APLICÁVEIS .....	41
3.1.	Legislação setor bebidas .....	42
3.2.	Legislação recursos hídricos .....	42
3.3.	Direito Ambiental .....	43
3.4.	Legislação de resíduos sólidos.....	44
3.5.	Legislação de tratamento de efluentes .....	45
3.6.	Política Industrial do estado de Mato Grosso do Sul associada a sustentabilidade .....	46
4.	TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS.....	48
4.1.	Tratamento Biológico de Efluentes .....	48
4.2.	Reatores Anaeróbios .....	49
4.2.1.	Reatores de 1ª Geração - Sistemas de Tratamento por Lagoas.....	50
4.2.1.1.	Lagoa Facultativa .....	52
4.2.1.2.	Lagoa Anaeróbia Facultativa .....	54
4.2.1.3.	Lagoa de Maturação.....	56
4.2.1.4.	Resumo Processos de Tratamento por Lagoas.....	58
4.2.2.	Reatores de 2ª Geração – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente .....	58
4.2.3.	Reatores de 3ª Geração – Reator Anaeróbio de Leito Expandido .....	62
5.	BIOGÁS .....	66
5.1.	Definição.....	66
5.2.	Características do Biogás.....	66
5.3.	Processo de Limpeza do Biogás .....	67
5.3.1.	Remoção de umidade .....	68
5.3.2.	Remoção de Dióxido de Carbono CO <sub>2</sub> .....	68

5.3.3.	Remoção de H <sub>2</sub> S .....	70
5.3.4.	Remoção de Partículas .....	71
5.4.	Utilização do Biogás .....	72
5.4.1.	Compressão e Armazenamento de Biogás .....	73
5.4.2.	Medidas de Segurança para utilização do biogás.....	73
5.5.	Alternativas para o Aproveitamento Energético de Biogás.....	74
5.5.1.	Geração de Energia Elétrica.....	74
5.5.1.1.	Motor de combustão interna – ciclo Otto.....	75
5.5.1.2.	Microturbinas a gás .....	77
5.5.2.	Geração de Energia Térmica.....	79
5.5.3.	Uso veicular .....	80
5.5.4.	Iluminação a gás.....	81
6.	ANÁLISE TARIFÁRIA.....	83
6.2.	Classificação dos consumidores .....	84
6.3.	Modalidade Tarifária .....	85
6.4.	A Energia Reativa e o Fator de Potência .....	86
6.4.1.	Consequências e Causas de um Baixo Fator de Potência .....	88
6.4.1.1.	Perdas na Instalação .....	88
6.4.1.2.	Quedas de Tensão .....	88
6.4.1.3.	Subutilização da Capacidade Instalada .....	89
6.5.	Faturamento do Grupo A .....	89
6.5.1.	Faturamento de Demanda e Energia Ativa .....	89
6.5.2.	Faturamento de Consumo e Demanda de Reativo Excedente .....	90
7.	METODOLOGIA.....	93
7.2.	Caracterização da empresa.....	93
7.3.	Processo Produtivo .....	96
7.3.1.	Consumo da Caldeira .....	98
7.3.2.	Consumo de Energia Elétrica.....	99
7.3.3.	Consumo Empilhadeiras .....	103
7.4.	Sistema de Tratamento de Efluentes.....	104
7.4.1.	Etapas do Sistema de Tratamento de Efluentes da indústria.....	105

7.4.1.1.	Tratamento Primário .....	106
7.4.1.2.	Tratamento Biológico .....	109
7.5.	Implantação de Biodigestor .....	112
7.5.1.	Implantação de biodigestor através da cobertura da lagoa anaeróbia ....	113
7.6.	Possibilidades de Aproveitamento do Biogás.....	115
7.6.1.	Abastecimento da Caldeira: .....	116
7.6.2.	Abastecimento das empilhadeiras:.....	117
7.6.3.	Geração de energia elétrica: .....	118
7.7.	Análise de viabilidade.....	121
7.7.1.	Cenário 1: Implantação de biodigestor + Grupo Gerador 30kVA .....	123
7.7.2.	Cenário 2: Implantação de biodigestor + Caldeira a gás em substituição à caldeira à lenha .....	124
7.7.3.	Cenário 3: Implantação de biodigestor + Grupo Gerador 30kVA + Caldeira à gás em substituição à caldeira à lenha.....	125
7.7.4.	Cenário 4: Implantação de biodigestor + Grupo Gerador 30kVA + Caldeira em novas instalações .....	126
8.	DISCUSSÕES .....	128
9.	CONCLUSÕES .....	135
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	138
	ANEXO 1 – PLANTAS E CORTES LAGOAS ANAERÓBIA E FACULTATIVA .....	149
	ANEXO 2 - DETALHE CALDEIRA MINI M3P-10.....	151

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 - Lagoa Anaeróbia.....	51
Figura 4.2 - Balanço da digestão anaeróbia da matéria orgânica .....	52
Figura 4.3 - Esquema detalhado de uma lagoa facultativa .....	53
Figura 4.4 - Esquema detalhado de uma lagoa anaeróbia facultativa .....	55
Figura 4.5 - Esquema detalhado de uma lagoa de maturação .....	57
Figura 4.6 – Esquema de um reator UASB .....	59
Figura 4.7 - Balanço da digestão anaeróbia da matéria orgânica .....	60
Figura 4.8 - Esquema de um Reator Anaeróbio de Leito Expandido.....	63
Figura 4.9 - Esquema Reator Anaeróbio modelo IC .....	64
Figura 5.1 - Motores Ciclo Otto para biogás .....	75
Figura 5.2 - Esquema do funcionamento de um motor ciclo Otto. ....	76
Figura 5.3 – Desenho esquemático de uma microturbina a gás .....	78
Figura 5.4 - Sistema de ciclo a vapor – Ciclo Rankine. ....	79
Figura 5.5 – Sistema de Iluminação a gás .....	82
Figura 6.1 - Triângulo de Potência .....	86
Figura 7.1 - Planta baixa da indústria.....	94
Figura 7.2 - Fluxograma do Processo Industrial .....	97
Figura 7.3 - Esquema detalhado do processo de aquecimento da caldeira.....	98
Figura 7.4 - Imagem da caldeira.....	99
Figura 7.5 - Empilhadeira Yale .....	103
Figura 7.6 - Sistema de tratamento de efluentes da indústria em estudo.....	105
Figura 7.7 - Canaletas de captação do Efluente.....	106
Figura 7.8 - Gradeamento primário .....	106
Figura 7.9 - Bombeamento efluente .....	106
Figura 7.10 - Tanque de Equalização/Neutralização de pH .....	107
Figura 7.11 - Detalhes Tanque de Equalização .....	108
Figura 7.12 – Medidores de vazão .....	108
Figura 7.13 - Imagem Lagoa Anaeróbia.....	109
Figura 7.14 - Imagem Lagoa Facultativa .....	110
Figura 7.15 - Lançamento efluente no córrego receptor .....	110
Figura 7.16- Imagem do gasômetro projeto PUREFA .....	121

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Participação da Água na Composição das Bebidas.....	28
Tabela 2.2 -Consumos energéticos específicos, em MJ/t, de produtos da indústria de bebidas, por usos finais.....	37
Tabela 2.3 - Caracterização de efluentes de indústria de refrigerantes. ....	38
Tabela 3.1 - Legislação Estadual de Incentivo Fiscal à Indústria do Estado de Mato Grosso do Sul.....	47
Tabela 4.1 - Gerações de Reatores Anaeróbios.....	50
Tabela 4.2 – Descrição do processo de tratamento de efluentes por Lagoas .....	58
Tabela 5.1 - Composição do Biogás .....	66
Tabela 5.2 - Equivalência de 1 m <sup>3</sup> de biogás com outros energéticos.....	67
Tabela 5.3 - Comparação do PCI do biogás e outros gases.....	67
Tabela 5.4 - Consumo de biogás de acordo com sua utilização. ....	73
Tabela 5.5 – Sistemas de Armazenamento de Biogás .....	73
Tabela 6.1- Características das modalidades tarifárias segundo a REN ANEEL 479/2012 ....	85
Tabela 6.2 – Opções de enquadramento tarifário para o Grupo A .....	85
Tabela 7.1 – Produtos a serem fabricados e capacidade de produção da fábrica .....	95
Tabela 7.2 - Consumo mensal de matérias primas utilizadas para produção do refrigerante ..	95
Tabela 7.3 - Características de produção de Efluente .....	104
Tabela 7.4 - Resultados Análises Físico Químicas.....	111
Tabela 7.5 - Necessidade de remoção de compostos gasosos de acordo com a utilização do biogás.....	115
Tabela 7.6- Características do Biogás para utilização como combustível de caldeira .....	116
Tabela 7.7 - Comparação entre as relações de custo da instalação por kilowatt gerado para ambas as tecnologias (Microturbina Capstone e Grupo-gerador da Trigás) .....	119
Tabela 7.8- Análise Composição do Biogás - Projeto PUREFA .....	120
Tabela 7.9-Custos de Implantação Cenário 1 - biodigestor e grupo motor gerador de 30kVA .....	123
Tabela 7.10 – Resultados da Análise Investimento Cenário 1 - biodigestor e grupo motor gerador de 30kVA .....	124
Tabela 7.11-Custos de Implantação Cenário 2 - biodigestor e caldeira à gás .....	124
Tabela 7.12 - Resultados da Análise Investimento Cenário 2 - biodigestor e caldeira à gás .	125

Tabela 7.13 -Custos de Implantação Cenário 3 – biodigestor, caldeira e grupo motor gerador de 30kVA.....	125
Tabela 7.14 - Resultados da Análise Investimento Cenário 3 – biodigestor, caldeira e grupo motor gerador de 30kVA.....	126
Tabela 7.15-Custos de Implantação Cenário 4 – biodigestor, caldeira e grupo motor gerador de 30kVA – Novas Instalações.....	127
Tabela 7.16 - Resultados da Análise Investimento Cenário 4 – biodigestor, caldeira e grupo motor gerador de 30kVA – Novas Instalações.....	127
Tabela 8.1 - Dimensionamento Indústria de Bebidas - Reator UASB e IC .....	130
Tabela 8.2 – Projetos de Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil em 2014.....	131
Tabela 8.3 - Resumo Resultados Análise de Viabilidade.....	133

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1 – Formação do ácido carbônico .....	32
Equação 5.1 - Reação de Oxidação de Sulfeto no biogás .....	70
Equação 6.1 – Cobrança de Tarifa de Ultrapassagem de demanda.....	86
Equação 6.2 – Consumo de energia elétrica ativa .....	90
Equação 6.3 - Consumo de energia elétrica ativa para consumidores especiais ou livres .....	90
Equação 6.4 - Faturamento de Consumo e Demanda de Reativo Excedente com equipamento de medição .....	91
Equação 6.5 - Faturamento de Consumo e Demanda de Reativo Excedente sem equipamento de medição .....	92

## LISTA DE ABREVIATURAS DE SIGLAS

ABEPET	Associação Brasileira Dos Fabricantes De Embalagens Pet
ABIA	Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEM	Balanco Energético Nacional
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CCER	Contrato de Compra de Energia Regulada
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CF/88	Constituição Federal de 1988
CH <sub>4</sub>	Metano
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CUSD	Contrato de Uso do Sistema de Distribuição
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EGSB	Reator Anaeróbico de Leito Granular Expandido ( <i>expanded granular sludge bed</i> )
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETE	Estação de tratamento de esgoto
FeCl <sub>2</sub>	Cloreto de ferro
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GEE	Gases de Efeito Estufa
GNV	Gás natural veicular
H <sub>2</sub> S	Gás sulfídrico
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IC	Circulação Interna
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
NaOH	Hidróxido de sódio
NBR	Norma Brasileira
OD	Oxigênio dissolvido

OMS	Organização Mundial de Saúde.
PCI	Poder Calorífico Inferior
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PET	Polietileno tereftalato
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PUREFA	Programa de Uso Racional de Energia e Fontes Alternativas
RALF	Reator Anaeróbio de Leito Fluidilizado
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEMA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SIPA	Serviço de Inspeção de Produtos de Origem Animal
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SIV	Serviço de Inspeção Vegetal
SS	Sólidos suspensos
TAS	Tecnologias Ambientalmente Sustentáveis
TRC	Tempo de Retenção Celular
TRH	Tempo de Retenção Hidráulica
UASB	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Camada de Lodo ( <i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i> )

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
bar	Unidade de medida de pressão
CV	Unidade de medida de potência e força expressa em cavalo-vapor
g/m <sup>2</sup>	Relação entre a massa por superfície expressa em gramas por metro quadrado.
GgCH <sub>4</sub>	Unidade de medida de emissões de metano expressa em Giga (10 <sup>9</sup> ) gramas de CH <sub>4</sub> .
kcal/m <sup>3</sup>	Unidade de medida de quantidade de energia por unidade de massa (ou de volume, no caso dos gases) liberada na oxidação de um determinado combustível.
Kcal/Nm <sup>3</sup>	Unidade de medida para quantidade de calor produzido por metro cúbico de combustível expressa em quilocalorias por normal metro cúbico
kg	Unidade de medida de massa em kilograma
kg DBO/m <sup>3</sup> dia	Relação diária entre a massa de carga orgânica (DBO) por volume de efluente em kilograma por metros cúbicos por dia
kg/cm <sup>3</sup>	Unidade de medida de massa específica kilograma por centímetro cúbico
kg/h	Kilograma por hora
km/h	Unidade de medida de velocidade de um corpo em quilômetros por hora
kWh	Unidade de medida de energia elétrica consumida por um equipamento no período de 1 hora
m	Unidade de medida de comprimento em metros
m/s	Unidade de medida de velocidade de um corpo em metros por segundo
m <sup>2</sup>	Unidade de medida de área em metros quadrados
m <sup>3</sup>	Unidade de medida de volume em metros cúbicos
mg/l	Unidade de medida de concentração expressa em miligrama por litro
MJ/Nm <sup>3</sup>	Unidade de medida para quantidade de calor produzido por metro cúbico de combustível expressa em mega joule por normal metro cúbico
MJ/t	Relação entre o consumo de energia por produção de um produto em Megajoule por tonelada
mm	Unidade de medida de comprimento em milímetro

Nm <sup>3</sup> /h	Unidade de vazão utilizada para expressar vazões de gases expressa em normal metro cúbico por hora.
°C	Temperatura em graus Celsius
pH	Unidade de medida que mede o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma determinada solução.
ppm	Unidade de medida de concentração expressa em partes por milhão
TgCH <sub>4</sub>	Unidade de medida de emissões de metano expressa em Tera (10 <sup>12</sup> ) gramas de CH <sub>4</sub> .
V	Unidade de medida de tensão elétrica, diferença de potencial e força eletromotriz expressa em Volt
VA	Unidade de medida de potência aparente em sistemas elétricos de corrente alternada expressa em Volt-ampére
VAr	Unidade de medida de potência reativa em sistemas elétricos de corrente alternada expressa em Volt-ampére reativo.
W	Unidade de potência expressa em Watt

## **RESUMO**

SALAZAR, A.R.G. (2014). Estudo da Utilização do Biogás como Fonte de Energia Renovável no Processo Produtivo de Indústrias de Bebidas. Campo Grande, 2014. 153 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado Profissional) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

Considerando o cenário de oferta atual e futura de energia, o estudo das alternativas energéticas renováveis para a substituição e aplicação nos processos produtivos industriais está alinhado com a tendência mundial de desenvolvimento sustentável. Este trabalho tem por objetivo avaliar as oportunidades de aproveitamento energético do biogás obtido a partir do tratamento dos efluentes industriais, de forma a reduzir o consumo de insumos energéticos no processo produtivo de uma indústria de bebidas. O estudo de caso foi realizado em uma indústria de refrigerantes em Mato Grosso do Sul. Foram identificadas as cargas consumidoras por tipo de energia e o potencial estimado de produção de biogás a partir da estação de tratamento de efluentes em operação a fim de analisar as alternativas de conversão possíveis e elaborar cenários para a análise de viabilidade de implantação. Observou-se por este estudo que a viabilidade de aproveitamento energético do biogás está relacionada à característica do efluente gerado, possibilitando aumentar o atendimento às demandas energéticas do processo produtivo industrial. A viabilidade de implantação aumenta quando se evita a necessidade de readequações e adaptações. Daí a importância de considerar as alternativas energéticas renováveis desde o início do planejamento da implantação de uma indústria objetivando efetivar a capacidade de produção do biogás que possibilita a racionalização nos usos dos recursos disponíveis e ainda a obtenção de lucratividade no investimento realizado.

Palavras- chaves: Energias Renováveis, Biogás, Tratamento de Efluente Industrial.

## **ABSTRACT**

Considering the scenario of the current and future supply of energy, the study of renewable energy options for the replacement and application in industrial processes is in line with the global trend of sustainable development. This paper aims to assess the opportunities for energy use of biogas obtained from the treatment of industrial effluents in order to reduce the consumption of energy inputs in the production process of a beverage industry. The case study was carried in a soft drink industry located in Mato Grosso do Sul. The consumer loads by energy type and the estimated potential production of biogas from the wastewater treatment plant in operation were identified in order to analyze the possible conversion alternatives and to develop scenarios to analyze the feasibility of implementing. It was observed in this study that the viability of energy use of biogas is related to the characteristic of effluent generated, enabling to increase the attendance to energy demands of industrial production process. The feasibility of deployment increases when avoids the need for adjustments and Readjustments. Thus the importance of considering renewable energy alternatives since the beginning of planning the deployment of an industry aiming to determine the capacity of the biogas that allows rationalizing the use of available resources and still achieve profitability in investment.

Key words: Renewable Energy, Biogas, Wastewater treatment.

# 1. INTRODUÇÃO

Em uma retrospectiva histórica de quase meio século, De Souza (2000) observa que o conceito de desenvolvimento inicialmente era relacionado ao crescimento econômico, aliado à percepção de que a conservação ambiental e a manutenção das qualidades de vida e ambiental eram consideradas incompatíveis com o desenvolvimento industrial.

Além disso, havia uma corrente de pensamento na época que atribuía os problemas dos países subdesenvolvidos às grandes taxas de natalidade e que acreditava que esses problemas poderiam ser facilmente resolvidos por meio de simples transferências financeira, tecnológica e de experiência dos países desenvolvidos. Assim, o crescimento econômico com a criação de empregos era apontado como a solução para os problemas dos países subdesenvolvidos. A viabilidade ambiental de tal processo não era considerada nas decisões tomadas [DE SOUZA, 2000].

De maneira gradativa, porém, começou a ser revista a posição de incompatibilidade entre crescimento econômico e qualidade ambiental. Esse período também foi marcado por uma grande recessão econômica mundial devido à Crise do Petróleo, o que contribuiu para que se observasse a necessidade de incorporar a questão ambiental — no caso, a escassez de recursos — aos processos de desenvolvimento [DE SOUZA, 2000].

A partir de 1972, segundo De Souza (2000), com a realização da Conferência de Estocolmo, houve o início da movimentação mundial ao encontro da temática em relação à necessidade e a possibilidade de projetar e implementar estratégias ambientalmente adequadas para promover um desenvolvimento social e econômico equitativo. Neste momento estabeleceu-se um caminho intermediário entre a crença na solução de todos os problemas ambientais, por meio do emprego de tecnologia, e o pessimismo ‘malthusiano’<sup>1</sup> a respeito do esgotamento dos recursos.

Já na década de 80, segundo De Souza (2000) o conceito de desenvolvimento passou a adquirir um caráter multidimensional em que as sociedades deveriam melhorar como um todo, respeitando as suas especificidades. Era necessário formular políticas para a ação que

---

<sup>1</sup> Conhece-se como "malthusianismo" a doutrina de Thomas Robert Malthus (1766-1834), que fundamentalmente defendia a necessidade de impor um limite à reprodução do ser humano, pois o crescimento demográfico implicaria sempre falta de alimentos. Fonte: Infopédia, 2014.

integrassem o meio ambiente às práticas de desenvolvimento. Houve um avanço no sentido de explicitar quais eram os objetivos do desenvolvimento sustentável para definir a direção das práticas. Houve também um estímulo à substituição de processos poluidores ou consumidores de insumos — que geravam comprometimento ambiental — por outros mais eficientes e ambientalmente adequados.

Assim, entendeu-se que o desenvolvimento sustentável propõe a racionalização do uso dos recursos naturais de maneira a atender às necessidades da geração presente, sem comprometer as necessidades das gerações futuras. Os limites seriam dados pelos estágios da tecnologia e da organização social e pela capacidade da biosfera em absorver os efeitos das atividades humanas e a possibilidade de a gestão ambiental articular todos esses fatores. A publicação *Our common future* (Nosso futuro comum), elaborada pela Comissão Brundtland<sup>2</sup> em 1987 [BRUNDTLAND, 1987], trouxe os princípios básicos para essa nova ordem [DE SOUZA, 2000].

Esse produto serviu como base para a elaboração de propostas políticas para a Rio-92 e trouxe, também, dois conceitos: o de ‘uma nova ordem econômica internacional’ e o de ‘desenvolvimento sustentável’. Sob esta ótica entende-se que a dificuldade em determinar a sustentabilidade de um sistema energético é muito grande, e, depende não apenas da disponibilidade do recurso energético e sua origem, mas também da maneira como é empregado.

Nota-se que o crescimento acelerado da população mundial, bem como o desenvolvimento de modernas tecnologias e aparelhos eletroeletrônicos para uma sociedade consumista, são fatores que têm colaborado para o aumento da demanda de energia.

Por outro lado, acredita-se que este crescimento também colabora para o crescimento das emissões gasosas dos chamados Gases de Efeito Estufa (GEE) que vem causando as mudanças climáticas no globo terrestre, atualmente um assunto bastante discutido em todo mundo. Segundo Salomon (2007), o dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e o metano ( $CH_4$ ) estão entre os principais gases de efeito estufa, sendo que este último com uma ação mais agressiva na atmosfera, por volta de 23 vezes maior do que o  $CO_2$ , requerendo assim uma maior atenção em relação ao seu controle. As principais fontes naturais de metano são as áreas alagadas

---

<sup>2</sup> Em 1983, o Secretário-Geral da ONU convidou a médica Gro Harlem Brundtland, mestre em saúde pública e ex-Primeira Ministra da Noruega, para estabelecer e presidir a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Em abril de 1987, a Comissão Brundtland, como ficou conhecida, publicou um relatório inovador, “Nosso Futuro Comum” – que traz o conceito de desenvolvimento sustentável para o discurso público. [ONU BRASIL\_2014]

como pantanal, barragens, arrozais, enquanto que as fontes antropogênicas<sup>3</sup> representam a queima de combustíveis fósseis, a digestão anaeróbia de resíduos orgânicos e dejetos animais, o tratamento de esgotos domésticos, etc.

De acordo com Salomon (2007), a questão do gerenciamento e destinação dos resíduos sólidos e líquidos, trata-se de um dos principais problemas enfrentados pela administração pública municipal atualmente, e que está relacionado com a emissão de poluentes. Neste enfoque, entende-se que a utilização do biogás gerado por estes resíduos pode, além de solucionar os problemas ambientais, ser uma forte aliada na questão dos problemas energéticos do país e outros indiretamente relacionados, ao melhorar as práticas de gerenciamento de resíduos, preservar águas subterrâneas e superficiais, gerar empregos, reduzir a pobreza e incentivar o desenvolvimento tecnológico.

Observa-se que, em relação ao cenário mundial de produção de energia, o Brasil ocupa posição de destaque devido à sustentabilidade de sua matriz energética, a qual possui forte participação de fontes renováveis, ou seja, 41% de hidrelétricas e biomassa, enquanto na matriz mundial não atinge 15%. A hidroeletricidade, por sua vez, proporciona 70% da oferta interna de energia elétrica, ao contrário do resto do mundo onde os processos térmicos baseados na queima de combustíveis fósseis predominam [MME,2014].

Porém, apesar da elevada base hidráulica e uma posição favorável na era do baixo carbono, a energia deixou de ser uma vantagem competitiva do setor produtivo brasileiro. Tornou-se um sério problema para a indústria nacional, onde o custo da energia elétrica tem crescido sistematicamente acima da inflação, resultando em uma tarifa de eletricidade superior à praticada em vários países [CNI, 2011].

Segundo Lucon (2009), a crise financeira dos últimos anos representou uma oportunidade para reorganizar o sistema energético em bases mais sólidas e sustentáveis, quais sejam a eficiência, a maior participação das fontes renováveis e a descentralização da produção de energia.

Lucon (2009) ainda ressalta que nos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, onde o consumo *per capita* é pequeno, o problema não se resolve somente com adoção de medidas de eficiência energética. Em muitos casos os serviços energéticos finais (iluminação, cocção, etc) são ainda insuficientes, tornando importante a participação das

---

<sup>3</sup> **Ação antrópica ou antropogênica:** Qualquer atividade desenvolvida pelo homem sobre o meio ambiente, independentemente de ser maléfica ou benéfica. [BRASIL, MMA, 2010]

energias renováveis, que por sua própria natureza são menos poluentes, além de serem produzidas em pequenas unidades.

A descentralização da produção de energia se traduz em aumento da segurança de fornecimento e na criação de empregos, tal como ocorre particularmente na produção de etanol a partir de cana-de-açúcar no Brasil. Em termos energéticos, a produção de etanol gera entre 14 e 21 vezes mais empregos do que a produção equivalente de petróleo [Goldemberg, 2004]. Além disso, por estar mais próxima dos centros consumidores, também reduz os custos com a infraestrutura para o transporte, que hoje é um dos gargalos do sistema energético nacional.

Outro fator impactante no desenvolvimento do país refere-se à determinação da capacidade produtiva do setor industrial onde é necessário verificar a disponibilidade, custo e qualidade do seu principal insumo, a energia. Segundo dados da CNI [GUARDIA *et al*, 2010], o setor industrial responde por 39,6% de todo consumo de energia no Brasil. No tocante à energia elétrica, sua importância é ainda maior, pois representa 46,3% do consumo total.

Considerando o cenário da disponibilidade de energia atual, futura e seus impactos, o estudo das alternativas energéticas renováveis para a substituição e aplicação nos processos produtivos industriais, está alinhado com a tendência mundial de desenvolvimento sustentável. Neste sentido a preservação do meio ambiente será uma consequência do uso adequado da energia, e, o aproveitamento do biogás gerado a partir do tratamento de efluentes líquidos de uma indústria de bebidas vai ao encontro das necessidades do cenário atual do setor produtivo brasileiro.

## **1.2. Justificativa**

Na análise das oportunidades de eficiência energética para a indústria devem ser considerados todos os usos finais de eletricidade. No caso de uma indústria de bebidas, enfoque deste trabalho, consiste principalmente de força motriz, seguida pela refrigeração [ROCHA, 2010].

A deficiência no tratamento dos efluentes líquidos residenciais e industriais é um problema que atinge todas as áreas do país. O seu tratamento, que é composto por uma série de processos cujo objetivo é diminuir o potencial poluidor do esgoto antes de retorná-lo ao

meio ambiente, tem potencial de produção de biogás e outros subprodutos que podem trazer retorno econômico, além dos benefícios ambientais.

Unindo-se os fatos de que a energia tem um grande impacto no custo de produção industrial e que o tratamento de efluentes industriais é uma necessidade inerente ao processo produtivo da indústria de bebidas, o estudo das alternativas viáveis para o aproveitamento energético do biogás, proveniente de tratamento de esgoto em plantas industriais pode identificar um grande potencial. Desta forma, alia-se o desenvolvimento sustentável ao desenvolvimento econômico e social, com grandes possibilidades de replicabilidade em plantas similares.

### **1.3. Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é avaliar as oportunidades de aproveitamento energético do biogás obtido a partir do tratamento dos efluentes industriais, de forma a reduzir o consumo de insumos energéticos no processo produtivo de uma indústria de bebidas.

Como resultado deste estudo espera-se apresentar as alternativas viáveis de serem implementadas, considerando os cenários analisados em situações reais de produção.

### **1.4. Objetivo Específico**

Identificar a viabilidade de aproveitamento do biogás em um diagnóstico de eficiência energética de um processo industrial através das seguintes etapas:

- Levantamento da planta da indústria para identificar as cargas consumidoras e seus tipos de energia;
- Levantamento da planta de tratamento de efluentes analisando o potencial de produção de biogás;
- Análise das alternativas de conversão de energia possíveis de serem aplicadas à planta industrial em estudo;
- Desenvolvimento das propostas com análise de viabilidade de implementação.

### 1.5. Divisão do Trabalho

Para atingir os objetivos citados este trabalho foi dividido em 03 fases:

**Fase1- Revisão Bibliográfica:** apresenta uma contextualização sobre os diversos temas relacionados à análise das alternativas a serem adotadas para viabilizar a implementação de um sistema de aproveitamento do biogás gerado a partir do tratamento de efluentes líquidos industriais. Os temas referentes a esta fase estão abordados nos Capítulos 2, 3, 4, 5 e 6.

**Fase 2 - Metodologia:** detalhamento da situação atual da planta instalada com a identificação das cargas consumidoras de energia e do potencial de produção de biogás do sistema de tratamento de efluentes em operação na indústria.

**Fase 3 - Análises:** Análises das soluções e das viabilidades de implementação para aproveitamento energético do biogás.

Inicialmente, no Capítulo 2, são discutidos os impactos ambientais provenientes da atividade industrial e, no Capítulo 3 são apresentadas de maneira resumida as legislações aplicáveis à produção industrial incluindo o enfoque ambiental.

No capítulo 4 são apresentados os métodos de tratamento de efluentes industriais e suas principais características para então no Capítulo 5 serem detalhadas todas as características inerentes ao uso do biogás, incluindo as alternativas para o seu aproveitamento energético.

Concluindo a revisão bibliográfica, no Capítulo 6 são apresentados os principais enfoques relacionados à análise tarifária.

A metodologia é apresentada no Capítulo 7, e, seguindo no Capítulo 8 e 9, são apresentadas, respectivamente, as discussões e conclusões finais deste trabalho.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas citadas no presente estudo e que deram suporte ao desenvolvimento desta pesquisa.

## 2. IMPACTOS AMBIENTAIS PROVENIENTES DA PRODUÇÃO DE REFRIGERANTES

O impacto do setor industrial na deterioração ambiental é significativo, apesar dos esforços de redução das últimas décadas.

Segundo Maimon (1994), no que tange à poluição do ar, o ramo industrial é responsável por 40 a 50% das emissões de óxido de enxofre, 50% dos gases de efeito estufa e 25% das emissões de óxido de azoto. Quanto à poluição da água, afirma que a indústria contribui com 60% da demanda bioquímica de oxigênio e de materiais em suspensão, além de 90% dos despejos tóxicos. E, quanto ao lixo, o setor industrial descarrega 75% do lixo orgânico.

Nas últimas décadas, as empresas têm assistido a transformações muito amplas em seu ambiente competitivo, calcadas na valorização das preocupações de caráter ambiental e social, além das econômicas. As empresas estão, portanto, sujeitas às mudanças nos valores e ideologias da sociedade e às pressões do ambiente externo à organização, que acabam por influenciar seu desempenho no mercado [DE ABREU *et al*, 2004].

Nesse aspecto, no caso da indústria de alimentos e bebidas, objeto desta pesquisa, segundo estudos apresentados na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável - Rio+20, pela Confederação Nacional da Indústria - CNI e Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação – ABIA [2012], a população brasileira migrou fortemente dos alimentos *in natura* para os processados. O resultado hoje é que 85% dos alimentos consumidos no Brasil passam por algum processamento industrial, contra 70% em 1990 e apenas 56% em 1980.

Além deste fator, segundo a CNI e ABIA (2012), também cresceu o interesse pelos produtos do segmento de saúde e bem estar (*diet, light*, funcionais, fortificados, naturais e saudáveis), os quais faturaram em 2010, 8,2% das vendas totais do mercado brasileiro de alimentos e bebidas. Estes, ao mesmo tempo em que representam grandes oportunidades de crescimento, por se tratar de produtos de maior valor agregado, demandam um maior nível tecnológico e de gestão, resultando em um cenário de alta competitividade.

Paralelamente, as instituições governamentais e não-governamentais, a mídia, a sociedade civil e as instituições financeiras têm exposto os problemas ambientais da atividade

produtiva e forçado as organizações a adotarem sistemas de gestão e controle da variável ambiental. Esses investimentos na área ambiental, antes simplesmente considerados como necessários, hoje devem ser vistos como estratégicos à atuação das empresas, gerando benefícios sociais, ecológicos e econômicos [DE ABREU *et al*, 2004].

Considerando este aspecto, observa-se que a dimensão da amplitude do impacto ambiental está diretamente relacionada ao tipo de atividade industrial aliada à forma de utilização de recursos naturais para a obtenção de matéria prima ou às práticas adotadas no processo produtivo, podendo ser sustentáveis ou não.

As projeções de crescimento populacional e de aumento no padrão de consumo de alimentos, sobretudo nos países em desenvolvimento, elevam ainda mais a importância das melhores práticas sociais e ambientais na produção de comida e bebida para todos [CNI/ABIA, 2012].

Nesse sentido, em relação ao consumo de recursos naturais o setor de bebidas caracteriza-se como consumidor de grande quantidade de água, a qual configura como o ingrediente de maior participação na composição do produto final.

Segundo Santos *et al* (2005), a disponibilidade de informações específicas sobre o consumo de insumos e a geração de rejeitos pela indústria de refrigerantes é bastante escassa, devido a dois motivos principais:

- Este ramo industrial apresenta um potencial poluidor bastante inferior ao das indústrias cervejeiras, em geral, o que justifica a reduzida quantidade de estudos sobre seus processos e rejeitos;
- Em muitos casos a produção de refrigerantes se dá em plantas conjuntas com as cervejarias e, portanto, a avaliação de seus resíduos e efluentes não é conduzida em separado.

De modo geral, pode-se dizer que os principais impactos ambientais da fabricação de refrigerantes são similares a alguns da indústria cervejeira, como por exemplo: a elevada carga orgânica, a presença de sólidos em suspensão nos efluentes ou a geração de resíduos de rótulos e vasilhames danificados.

## 2.1. Matéria Prima Utilizada na fabricação de Refrigerantes

### 2.1.1. Água

Segundo Santos *et al* (2005), a produção de refrigerantes consome grande quantidade de água, cuja vazão consumida e distribuição pelas áreas da fábrica dependem de diversos fatores, entre eles o tipo de vasilhame utilizado e a tecnologia empregada para limpeza.

Dados britânicos da década de 80 apresentam consumos que variam de 2,3 a 6,1 m<sup>3</sup> água/m<sup>3</sup> refrigerante. Segundo estes dados, em plantas que produzem apenas refrigerantes carbonatados e concentrados, 78% da água é incorporada no produto, enquanto em plantas onde se fabricam refrigerantes carbonatados e sucos de fruta, apenas 23% é incorporado ao produto, sendo 33% da água usada para lavagem de garrafas [SANTOS *et al*, 2005].

Outra referência européia apresenta uma faixa de variação com valores bastante superiores, entre 6 e 14 m<sup>3</sup> de água/ m<sup>3</sup> refrigerante [SANTOS *et al*,2005].

Ainda este autor cita como um exemplo nacional, onde na preparação do xarope simples são utilizados cerca de 500 kg de açúcar cristal/m<sup>3</sup> de xarope simples, além de 430 litros de água, e pequena quantidade de benzoato de sódio.

Além de produto, quando engarrafada, a água é um insumo fundamental da indústria da alimentação. Segundo BNDES (2006), conforme mostrado na Tabela 2.1, a maior parte da composição das bebidas é de água.

**Tabela 2.1 - Participação da Água na Composição das Bebidas**

<b>CERVEJA</b>	<b>REFRIGERANTES</b>	<b>SUCOS</b>	<b>VINHOS</b>
Entre 90% e 92%	Entre 85% e 90%	Entre 82% e 98%	Entre 75% e 90%

Fonte: BNDES, 2006.

Por este motivo, a água deve apresentar características adequadas e não contribuir com substâncias que possam alterar a aparência, a estabilidade ou o sabor da bebida, e, para manter os padrões de potabilidade necessários ao processo de produção de refrigerantes, a água normalmente deve sofrer tratamentos que a tornem apropriada [VENTURINI FILHO, 2010].

### 2.1.2. Açúcar

O açúcar é empregado para transmitir gosto doce, realçar o sabor dos componentes e dar corpo, além de ajudar na estabilização do CO<sub>2</sub> e fornecer valor energético. Segundo

Venturini Filho (2010), as indústrias de refrigerantes são as maiores consumidoras de açúcares no mercado nacional.

É utilizado na forma de sacarose (açúcar refinado ou cristal) que poderá ser substituído total ou parcialmente por sacarose invertida, frutose, glicose e seus xaropes. No caso da utilização de xarope simples pronto, não é necessário proceder às etapas de dissolução do açúcar, tratamento térmico e filtração do xarope. Desta forma, dispensa-se assim, alguns equipamentos (tanques, válvulas, tubulações, trocadores de calor, agitadores, filtro, etc), materiais coadjuvantes de fabricação (auxiliares de filtração); economiza-se energia térmica e elétrica; racionaliza-se a mão de obra; melhoram-se as condições de higiene e segurança; reduz-se a produção de resíduo a ser descartado no meio ambiente e, conseqüentemente, têm-se a redução no custo industrial e a uniformização do produto. [VENTURINI FILHO, 2010]

Porém, ainda segundo Venturini Filho (2010), existe desvantagens na utilização do açúcar líquido, pois ele é micro biologicamente mais sensível demandando a necessidade de investimentos em tanques de armazenamento e sistema de proteção microbiológica; além da possibilidade de ocorrer problemas no abastecimento do produto, dependendo da distância do fornecedor.

### **2.1.3. Suco e Extrato Vegetal**

O suco e/ou o extrato vegetal, a água e o açúcar formam a base de um refrigerante. A quantidade mínima de suco e/ou extrato vegetal a ser utilizada numa formulação de refrigerantes, é definida pelas legislações:

- Decreto-lei n. 6.871, de 4 de junho de 2009. Ministério da Agricultura. Regulamenta a Lei n. 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas;
- Portaria n. 544, de 16 de novembro de 1998. Regulamento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para refrigerante.

Os sucos de fruta concentrados são utilizados em lugar do suco simples, pois na diluição com água carbonatada obtém-se maior autenticidade do aroma da fruta [VENTURINI FILHO, 2010].

#### **2.1.4. Conservantes**

Segundo Venturini Filho (2010), os conservantes são substâncias que impedem ou retardam as alterações dos alimentos e bebidas, provocadas por microrganismos (fungos, leveduras e bactérias) ou enzimas.

Alguns conservantes que deveriam inibir o crescimento microbiano podem ser metabolizados pelos microrganismos, quando forem utilizados em baixas concentrações. Portanto, o uso de conservantes não resolve o problema de más condições de sanidade de ingredientes e equipamentos, além disso, a eficiência do seu uso está relacionada com a composição e pH do produto, bem como da população de microrganismos presentes [VENTURINI FILHO, 2010].

Entre os conservantes utilizados no Brasil, estão o ácido benzoico e o ácido sórbico, além dos seus respectivos sais de sódio, cálcio e potássio. Os benzoatos e sorbatos são agentes bacteriostáticos, logo não eliminam os microrganismos, apenas não permitem que se proliferem. Dessa forma, serão tão eficientes quanto menor for a contaminação inicial [VENTURINI FILHO, 2010].

#### **2.1.5. Acidulantes**

Segundo Venturini Filho (2010), o acidulante é qualquer substância dotada da capacidade de intensificar o gosto ácido dos alimentos. O grau de acidez é muito importante nas propriedades dos diversos alimentos, como refrigerantes, sucos de frutas, laticínios, maioneses, geleias e doces. Tem a função de:

- Controlar o valor do pH;
- Atuar como enaltecedor de sabor e aroma;
- Agir como sequestrante de íons metálicos (ferro, manganês, cobalto, cromo e cobre);
- Ter ação antimicrobiana, auxiliando na conservação dos alimentos e aumentando a vida de prateleira;
- Causar a inversão de açúcares, evitando a sua cristalização;
- Aumentar a efetividade dos conservantes;
- Estabilizar o ácido ascórbico.

### **2.1.6. Antioxidantes**

A oxidação é um dos principais fatores envolvidos na deterioração dos alimentos que utilizam mecanismos variados para a ativação do processo, mas todos têm em comum a presença de oxigênio [VENTURINI FILHO, 2010].

Os antioxidantes são, na maioria das vezes, substâncias mais suscetíveis à oxidação que o alimento considerado. O efeito antioxidante consiste na inativação dos radicais livres, na complexação dos íons metálicos ou na redução dos hidroperóxidos para produtos incapazes de formar radicais livres e produtos de decomposição [VENTURINI FILHO, 2010].

Os antioxidantes melhoram a estabilidade dos aromas, aumentando assim a vida de prateleira do produto final. O antioxidante mais utilizado na fabricação de refrigerantes é o ácido ascórbico [VENTURINI FILHO, 2010].

### **2.1.7. Aromatizantes e/ou Flavorizantes**

Segundo Venturini Filho (2010), aromatizante é a substância que confere e intensifica o aroma dos alimentos, e, flavorizante é a substância que confere ou intensifica o sabor e o aroma dos alimentos.

Os flavorizantes e os aromatizantes, quando adicionados aos alimentos, exercem as mais diversas funções, como criar sabores inexistentes, reforçar, substituir, repor ou mascarar aqueles presentes. Os aromatizantes/flavorizantes utilizados em refrigerantes são: sucos naturais, extratos naturais, óleos essenciais, emulsões e aromas (naturais ou sintéticos) [VENTURINI FILHO, 2010].

Os principais aromas utilizados na indústria de refrigerantes são obtidos de extratos alcoólicos ou essências, soluções aquosas ou emulsões, soluções aromáticas em glicerol ou propilenoglicol e suco de fruta concentrado [VENTURINI FILHO, 2010].

### 2.1.8. Corantes

Os corantes conferem ou intensificam a cor dos alimentos, e são utilizados para restituir, melhorar ou padronizar a coloração dos produtos. De forma genérica, segundo Venturini Filho (2010), os corantes podem ser classificados como naturais e artificiais.

Os corantes naturais são aqueles que ocorrem em frutas e vegetais, tais como  $\beta$ -caroteno (cenoura), antocianinas (beterraba), entre outros e são pouco utilizados na fabricação de refrigerantes, pois proporcionam as desvantagens: baixa solubilidade em água; menor poder calorífero; instabilidade à luz solar; dificuldade de obtenção; alto custo; necessidade de maiores concentrações para obter um mesmo efeito que os corantes artificiais [VENTURINI FILHO, 2010].

Os corantes artificiais são mais satisfatórios do ponto de vista tecnológico, devido a sua estabilidade no produto final e sua alta força tintorial, sendo seu uso limitado e controlado pela legislação (Decreto-lei n. 6.871/2009 e Portaria n. 544/1998) [VENTURINI FILHO, 2010].

Os corantes não têm nenhum efeito nas propriedades gustativas das bebidas, mas são usados para reforçar a percepção do aroma pelos consumidores. Os mais conhecidos são: o amarelo tartrazina (amarelo), amarelo-crepúsculo (alaranjado), amaranto ou *bordeaux* (vermelho) e azul-brilhante (azul) [VENTURINI FILHO, 2010].

### 2.1.9. Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub>

O CO<sub>2</sub> é um gás incolor com odor ligeiramente picante, quando dissolvido em água apresenta sabor ácido resultante da formação do ácido carbônico [VENTURINI FILHO, 2010].

#### Equação 2.1 – Formação do ácido carbônico



Nas bebidas carbonatadas<sup>4</sup>, o dióxido de carbono é armazenado principalmente na forma de dióxido de carbono dissolvido [ $CO_{2(aq)}$ ] e não de ácido carbônico [ $H_2CO_{3(aq)}$ ]. Devido à facilidade de dissolução em água, é utilizado para promover a efervescência das bebidas carbonatadas, não é tóxico, é inerte, e pode ser liquefeito em temperaturas e pressões moderadas permitindo um volume adequado para o transporte e armazenamento [VENTURINI FILHO, 2010].

O volume de  $CO_2$  no refrigerante é um fator importante na qualidade do produto. A variação desse volume afeta diretamente o sabor e o aroma do refrigerante, além de ter efeito sobre as bactérias gram-negativas<sup>5</sup> aeróbias e psicrófilas<sup>6</sup>, funcionando como conservante e inibindo o crescimento dos micro-organismos aeróbios [VENTURINI FILHO, 2010].

## 2.2. Processo de Engarrafamento

O processo de engarrafamento do refrigerante é realizado por uma máquina chamada enchedora, a qual recebe as embalagens (garrafas ou latas) higienizadas, completa-as com a bebida e realiza a lacração da embalagem.

Os refrigerantes podem ser envasados em garrafas retornáveis de vidro de diversas capacidades, que apresentam como vantagens o alto valor mercadológico de visualização devido à transparência e perfeita impermeabilidade, porém apresenta desvantagens em relação às latas e garrafas PET quanto à fragilidade das garrafas, o peso relativamente grande e o preço elevado.

Segundo Venturini Filho (2010), a garrafa de vidro é reutilizada cerca de 30 a 35 vezes, a taxa de renovação é de cerca de 3 a 4% ao ano, sendo 1% devido a quebras na própria indústria. Esses vasilhames necessitam passar por uma lavagem com água aquecida (50 a 80°C) e soda cáustica (1,5 a 3,0%), antes do engarrafamento. A lavagem das garrafas é

---

<sup>4</sup> **Água carbonatada** é a água acrescida de uma certa quantidade de dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Também conhecida como soda ou clube soda, desprende borbulhas quando se despressuriza. Mediante a adição de açúcar e de substâncias com sabor à água carbonatada, criou-se a base dos refrigerantes atuais [WIKIPEDIA, 2014a]

<sup>5</sup> **Bactérias Aeróbias Gram-Negativas:** Amplo grupo de bactérias aeróbicas que se mostram róseas (negativas) quando tratadas pelo método da coloração de Gram. Isto ocorre, pois a parede celular das bactérias Gram-negativas tem baixo conteúdo de peptidoglicanos, portanto apresentam baixa afinidade pela cor violeta e alta afinidade pelo corante rosa da safranina [BVS, 2014a]

<sup>6</sup> **Bactérias Psicrófilas:** Grupo de bactérias que quebram/desorganizam a matéria orgânica sob temperaturas relativamente baixas, entre 0 e 30°C. Sua temperatura ótima é de 15 a 20°C. Elas geram pouca energia térmica ao trabalhar [BACKHUS, 2014]

realizada em máquinas lavadoras específicas, envolvendo custos de investimentos e operacionais elevados.

As latas de alumínio são leves e resistentes; apresentam excelente barreira contra a luz e água; gelam mais rapidamente, portanto economizam energia elétrica; propiciam custos menores com transporte em função do peso reduzido e com estocagem, pois é possível ganhar 17% mais espaço na armazenagem, além de ter maior giro que as demais embalagens [VENTURINI FILHO, 2010].

Atualmente, de acordo com Venturini Filho (2010), as garrafas PET<sup>7</sup> (polietileno tereftalato) estão substituindo o vidro por apresentarem diversas vantagens que impactam no custo da produção, porém, o uso de embalagens PET requer um nível ligeiramente maior de carbonatação comparado com o vidro, para compensar a perda de  $CO_2$  pelas paredes do recipiente durante o armazenamento e, a cada abertura sucessiva durante o consumo.

Outro ponto de grande impacto ambiental relacionado ao alto consumo de refrigerantes, ocasionado pela excelente relação custo/benefício na área de embalagens descartáveis, o PET representa hoje um dos principais resíduos urbanos, sendo a reciclagem, a maneira mais viável no combate à poluição do meio ambiente [VENTURINI FILHO, 2010].

Em relação à reciclagem, as latas de alumínio apresentam vantagens devido ao preço mais elevado da sucata de alumínio e ao fato do alumínio permitir sua reciclagem indefinidamente para o mesmo uso inicial, o que não acontece com os outros materiais que resultam em reciclados mais impuros, usados na fabricação de produtos de qualidade inferior [VENTURINI FILHO, 2010].

A alteração dos hábitos de consumo, as novas exigências de funcionalidade e as estratégias de marketing inovadoras vêm repercutindo nos produtos e nas suas embalagens. Venturini Filho (2010) afirma que a embalagem de vidro era a mais utilizada para refrigerantes, mas perdeu parcela significativa do mercado para as embalagens metálicas e plásticas (PET), sendo que do total de refrigerante envasado no país atualmente, 79,8% utiliza embalagem PET, 12,1% utilizam garrafas de vidro e 7,9% utilizam latas metálicas.

---

<sup>7</sup> PET: provém de Poli Tereftalato de Etileno, que consiste de um tipo de poliéster, polímero termoplástico de alta resistência mecânica e química, que além destas características apresenta reduzido peso [VENTURINI FILHO, 2010].

### 2.3. Uso de Energia

O suprimento de energia é imprescindível para todas as indústrias de transformação. A busca pela eficiência energética e por fontes limpas de energia nesse setor da economia, portanto, surtem efeitos óbvios sobre o meio ambiente [CNI/ABIA, 2012].

No caso brasileiro e, em especial, da indústria da alimentação nacional, a matriz energética já é bem mais limpa do que a de outros países. Isto ocorre porque praticamente a metade da energia vem de fontes renováveis, enquanto na média mundial essas fontes não passam de 15,9%. Em decorrência disso, não se pode perder de vista este diferencial brasileiro quando se debate a relação entre energia e meio ambiente no cenário internacional [CNI/ABIA, 2012]

O Balanço Energético Nacional (BEN) de 2012, referente a 2011, comprova que a indústria da alimentação utiliza ainda mais energia renovável do que a média brasileira. Segundo o BEN, a indústria de alimentos e bebidas, em 2011, extraiu 73,4% da energia consumida do bagaço de cana-de-açúcar. A lenha responde por 10,1% da matriz energética do setor e a eletricidade da rede atende 10,2% do consumo. Outras fontes, como o gás natural, o óleo combustível e o óleo diesel somam os 6,3% restantes [EPE, 2012].

As principais operações consumidoras de energia elétrica na indústria de alimentos e bebidas são [CNI, 2010]:

- Refrigeração, resfriamento e congelamento - na maior parte dos casos por compressão mecânica de vapor;
- Extrusão - pressurização mecânica do produto através dos bocais;
- Moagem, trituração ou pulverização;
- Bombeamento de fluidos.

As demais operações consumidoras de energia na indústria de alimentos e bebidas:

- Aquecimento / fornecimento de vapor ou da água quente;
- Assamento, tostagem - aquecimento em atmosfera controlada;
- Branqueamento - imersão em vapor ou em água fervendo para ajudar a preservação ou descascamento;
- Concentração por evaporação a vácuo - uso do calor e vácuo para retirar água de uma solução;

- Desidratação - geralmente pela aplicação de calor, mas também por alternativas que incluem a liofilização<sup>8</sup>, a aplicação de micro-ondas e de vácuo;
- Fermentação - aquecimento brando por períodos longos com fermento;
- Fritura;
- Mistura;
- Separação, pré-concentração de líquidos utilizando filtração mecânica. Inclui também, peneiramento, filtração, ultrafiltração, uso de membranas e pressão osmótica;
- Limpeza - lavagem a quente de máquinas e instalações, frequentemente com água sob alta pressão;
- Aquecimento ou calefação, iluminação e condicionamento de ar em instalações prediais.

Em quase todos os processos da indústria de alimentos e bebidas é necessário água quente, ou vapor, gerado em caldeiras. O uso de fornos, secadores e equipamentos de refrigeração também é muito comum. O principal uso final da eletricidade na indústria de alimentos e bebidas é a força motriz, seguida pela refrigeração [CNI, 2010]

Segundo dados do BEN 2012 (EPE, 2012), o segmento de alimentos e bebidas foi responsável por 25,9% do consumo total de energia na indústria brasileira em 2011. A participação deste segmento no consumo industrial total de energia elétrica, naquele ano foi de 13,00%.

Em relação ao consumo de energéticos por tipo de cadeia produtiva no setor de bebidas, observa-se, na Tabela 2.2, que os produtos que requerem maiores consumos específicos para a sua fabricação são sucos e concentrado de laranja, seguido das cervejas, chope e malte e por último os refrigerantes [CNI, 2010].

Também se observa na Tabela 2.2 que apesar da indústria de refrigerantes apresentar o menor consumo energético total da cadeia produtiva de bebidas, conforme apresentado no documento da CNI (2010), ela representa o maior demandante de calor proveniente de água quente no processo produtivo por tonelada de produto, impactando em 38% do seu consumo total.

---

<sup>8</sup> **Liofilização:** Técnica de desidratação que utiliza vácuo e baixa temperatura, utilizada para preservar microrganismos, tais como bactérias e fungos, alimentos e príncipio ativos. O organismo é congelado e a água é retirada por sublimação. Usada para a preservação de linhagens de microrganismos, dentre outras aplicações [DE CARVALHO *et al*, 2011].

**Tabela 2.2 -Consumos energéticos específicos, em MJ/t, de produtos da indústria de bebidas, por usos finais**

Produtos	Força Motriz	C. P. (vapor)	C. P. (ág. Qte)	A. D. (fornos)	A. D. (secadores)	Refriger.	Ilumin.	Total
Cerveja, chope e malte	457,9	448,7	542,5	1299,4	0	0	109,9	2.858,4
Refrigerantes	390,5	0	672,2	0	467,5	0	248,9	1.779,1
Suco e concentrado de laranja	1.075		280,5	2105	0	0	257,9	4.770,6

C.P.: calor de processo; A.D.: aquecimento direto. Refrigeração; Iluminação

Fonte: CNI, 2010

## 2.4. Principais poluentes gerados

### 2.4.1. Resíduos sólidos

Exceto pelas plantas de produção de extratos vegetais, sobre as quais, de acordo com Santos *et al* (2005), não há informações disponíveis, a produção de refrigerantes gera resíduos sólidos quase que exclusivamente na etapa de envase e acondicionamento. Alguns exemplos destes resíduos são:

- Garrafas de PET, latas de alumínio e garrafas defeituosas;
- Restos de papel e plástico de embalagens;
- Borra de rótulos da lavagem de garrafas.

### 2.4.2. Efluentes líquidos

Os efluentes líquidos da produção de refrigerantes são, em geral, oriundos de etapas de lavagem, seja dos vasilhames, equipamentos ou da instalação em si. A estes se podem somar ainda contribuições de carga provenientes de lotes defeituosos e perdas de processo, como por exemplo, derramamentos de produto [SANTOS *et al*, 2005].

De acordo com Santos *et al* (2005), estes efluentes têm como principais características: o pH alcalino, devido às soluções de limpeza utilizadas, e a elevada carga orgânica, devida ao açúcar do xarope e alguns extratos vegetais empregados na formulação.

A composição destes efluentes parece ser bastante variável, em função da tecnologia empregada tanto no processo produtivo como nas etapas de lavagem. Para exemplificar, a Tabela 2.3 mostra valores para alguns parâmetros medidos em indústrias do Estado de São Paulo que produzem tanto cerveja como refrigerante, e outros para plantas apenas de refrigerante [CETESB, 1992].

**Tabela 2.3 - Caracterização de efluentes de indústria de refrigerantes.**

Parâmetro	Indústria de cerveja e refrigerante. São Paulo, 1985	Indústria de refrigerante São Paulo, 1985
DBO <sup>9</sup> mg/l	3.045	940-1.335 (1.188)
DQO <sup>10</sup> mg/l	4.448	1.616-3.434 (2.149)
Resíduo total mg/l	-	1.704-02.210 (2.003)
Resíduo volátil mg/l	-	1.292-1.724 (1.532)
Resíduo não filtrável (SST) mg/l	664	236- 655 (495)
Nitrogênio kjel. Total mg/l	78	22- 49 (34,6)
Fosfato total mg/l	22	4-13 (6,7)
Surfactantes mg/l	-	0,22- 0,80 (0,45)
Óleos e graxas mg/l	-	69- 115 (87)
pH	-	2,4- 12,0 8-12,3 (10,2)
Temperatura °C	-	28- 35(32)

Fonte: CETESB, 1992

Considerando a produção de refrigerantes de 150m<sup>3</sup> no dia da medição, tem-se uma vazão específica de efluentes de 4,0m<sup>3</sup> efluente/m<sup>3</sup> refrigerante, e uma carga específica de 4,8kg DBO/ m<sup>3</sup> refrigerante [CETESB, 1992].

Segundo informações das empresas, o uso de equipamentos mais modernos para lavagem de garrafas pode reduzir a geração de efluentes para valores em torno de 2,0m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>refrigerante [CETESB, 1992].

Muitas indústrias já adotam metas de redução de consumo de água por quilo ou litro de produto fabricado. A maior marca de refrigerantes do país anunciou em 2010 a meta de atingir a neutralidade em água até 2020 – ou seja, devolver à natureza toda a água que retira [CNI/ABIA, 2012].

<sup>9</sup> Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): Exprime o valor da poluição produzida por matéria orgânica oxidável biologicamente. Correspondente à quantidade de oxigênio que é consumida e de micro-organismos do esgoto ou águas poluídas na oxidação biológica, quando mantida a uma dada temperatura por um espaço de tempo convencionado [DOS RIOS, 2014].

<sup>10</sup> Demanda Química de Oxigênio (DQO): Medida de capacidade de consumo de oxigênio para oxidar quimicamente a matéria orgânica presente na água residuária. É expressa como a quantidade de oxigênio consumido pela oxidação química no teste específico [DOS RIOS, 2014].

### 2.4.3. Resíduos pós-consumo

De acordo com Santos *et al* (2005), a expansão do uso de embalagens não retornáveis (especialmente PET), a partir do início da década de 90, tem gerado um grave problema ambiental relativo à geração de resíduos de pós-consumo, pois as embalagens de PET são parte significativa dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.

Estima-se que em torno de 15,6% do peso de todo o resíduo sólido urbano brasileiro seja constituído de plástico, sendo 32% deste peso constituído por PET [CEMPRE, 2014].

O descarte após o uso de grandes volumes de embalagens de PET de modo inadequado consiste atualmente numa questão ambiental de grande relevância, por causar problemas desde a poluição visual de corpos d'água até o entupimento de bueiros e galerias pluviais, incluindo a proliferação de mosquitos vetores de diversas doenças [SANTOS *et al*, 2005].

A solução para estes problemas passa necessariamente pela melhoria do sistema de coleta, uma vez que o PET é um material 100% reciclável e, a resina reciclada possui diversos usos. Dentre estes usos podemos citar a produção de [ABEPET, 2014]:

- Cordas;
- Cerdas para vassouras e escovas;
- Peças injetadas (automotivas, utensílios domésticos, etc);
- Embalagens para fins não alimentícios;
- Embalagens multi- camadas para fins alimentícios;
- Fibras de poliéster (enchimento de estofados, pelúcias, tecidos, etc).

No ano de 2011, o Brasil reciclou cerca de 295 mil toneladas de PET, o que representa 57,1% do total consumido. Este valor tem aumentado progressivamente, e espera-se que este aumente com o contínuo desenvolvimento de novos usos (telhas, calhas, incorporação em tintas, etc) [CEMPRE, 2014].

### 2.4.4. Emissões de metano a partir de efluentes industriais

Efluentes com um alto grau de conteúdo orgânico, como o esgoto doméstico e os efluentes da indústria de alimentos e bebidas, indústria de papel e celulose têm grande potencial de emissão de metano (CH<sub>4</sub>) [BRASIL MCT, 2012].

Apesar de o metano ser o gás de maior importância produzido nos sistemas de tratamento de resíduos, poucos estudos relacionam a sua emissão com esses sistemas. A maioria das estimativas está voltada, além de resíduos sólidos, aos efluentes de origem domésticas, possivelmente devido às dificuldades em estimar as emissões oriundas das águas residuárias industriais, em virtude da grande diversidade que pode ser tratada por via anaeróbia, com características e composições específicas [BOHRZ, 2010].

As águas residuárias industriais, quando comparadas àquelas geradas em plantas de tratamento municipais, induzem, em geral, a uma maior produção de  $\text{CH}_4$  por  $\text{m}^3$  de efluente tratado, devido à elevada carga orgânica e concentração de sólidos suspensos [BOHRZ, 2010].

Bohrz (2010) apresenta dados de pesquisas onde mais de 90% do total das emissões provindas dos sistemas de tratamento de efluentes líquidos é de origem industrial, o que inclui as indústrias de alimentos, papel e refinarias de petróleo, totalizando a emissão de  $6\text{TgCH}_4/\text{ano}$  no período pré-industrial (1850),  $25\text{TgCH}_4/\text{ano}$  em 1992, e estimativas de  $45\text{TgCH}_4/\text{ano}$  para 2050.

De acordo com o segundo inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de Gases de Efeito Estufa - GEE, a emissão de  $\text{CH}_4$  pelo setor de tratamento de efluentes industriais aumentou de  $95\text{GgCH}_4$  no ano de 1990, para  $206\text{GgCH}_4$  no ano de 2005, representando uma variação de 116,8%. Para a estimativa das emissões de  $\text{CH}_4$ , foram utilizados dados da produção industrial, obtidos junto às associações do setor, e, o fator de emissão para cada um dos setores considerados [BRASIL MCT, 2012].

### 3. LEGISLAÇÕES APLICÁVEIS

Com a realização de conferências mundiais sobre meio ambiente e aquecimento global, houve um grande salto no desenvolvimento industrial referente ao tratamento de resíduos, principalmente depois da Rio-92. Nela, foram discutidas e estabelecidas metas para garantia e entendimento do desenvolvimento sustentável, visando à substituição de técnicas convencionais de tratamento de resíduos – denominadas tratamento de fim de tubo (*end of pipe*) – por Tecnologias Ambientalmente Sustentáveis (TAS). Nota-se que estas contemplam uma visão preventiva do processo industrial, ou seja, a minimização da geração de resíduos por meio de novas etapas inseridas no processo produtivo [SOUZA, 2010b].

Como descrito na Agenda 21<sup>11</sup>, as TAS protegem o meio ambiente, ao reduzir a poluição, por meio de recursos sustentáveis, reciclando e manejando resíduos de forma mais aceitável do que aquela utilizada com as tecnologias anteriores [SOUZA, 2010b].

De acordo com Souza (2010b), a disseminação do conceito da prevenção da poluição, culminando em atitudes proativas, depende da conscientização ambiental realizada nos países e da efetividade das agências reguladoras, que nem sempre atuam de forma ativa nos países em desenvolvimento. As regulamentações são um importante fator para a difusão do conceito de prevenção ambiental, incentivando a implantação de novas tecnologias, assim como foi para as tecnologias de fim de tubo, especialmente nas décadas de 70 e 80. No entanto, a morosidade no processo de atualização de tais normas faz com que o desenvolvimento nesta área seja lento e de difícil aceitação pelas indústrias.

A indústria de refrigerantes no Brasil é representada por algumas grandes companhias fabricantes, mas há um grande número de empresas pequenas. O processo de fabricação é relativamente simples e barato, sendo que o tratamento dos efluentes gerados representa boa parte dos custos finais. Por este motivo, muitos fabricantes pequenos acabam por não adotar qualquer sistema de tratamento, lançando seus efluentes diretamente a um corpo receptor ou à rede de esgotos [PEIXOTO, 2008].

---

<sup>11</sup> Agenda 21: lista de atividades formulada na Rio-92, que preconiza condições para se estabelecer o desenvolvimento sustentável em todo o mundo.

### **3.1. Legislação setor bebidas**

A legislação sobre bebidas em geral é fundamentada no Decreto 2.314/97 e posteriores (3.510/00 e 4.851/03), que regulamenta a Lei 8.918/94 e dispõe sobre a padronização, classificação, registro, inspeção, produção e fiscalização de bebidas em geral, excetuando-se as derivadas da uva e do vinho.

No Brasil, a normatização do registro, padronização, classificação, inspeção e fiscalização da produção e comércio de bebidas ficam a cargo do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Dentro do MAPA, as bebidas que apresentam como principal matéria-prima os vegetais, são fiscalizadas/inspeccionadas pelo Serviço de Inspeção Vegetal – SIV, e as de origem animal, como as bebidas lácteas, pelo Serviço de Inspeção de Produtos de Origem Animal – SIPA [VENTURINI FILHO, 2005].

### **3.2. Legislação recursos hídricos**

No Brasil, as questões relacionadas aos recursos hídricos são regidas pela a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97) e a Resolução CONAMA nº 20/86, atualizada pela Resolução CONAMA nº 357/05, complementada e alterada pela Resolução CONAMA nº 430/2011. A primeira institui as normas e os procedimentos gerais de gerenciamento de recursos hídricos, incluindo instrumentos de gestão, como o enquadramento e a classificação dos corpos hídricos, concebidos por padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 20/86. Essa resolução, atualizada pela Resolução nº 357/05 e complementada e alterada pela Resolução nº 430/2011, dispõe não somente sobre os padrões de qualidade de cada recurso hídrico, como também sobre os padrões de lançamento de efluentes das atividades industriais, de acordo com a classificação do corpo receptor [SOUZA, 2010b].

Porém, são as leis estaduais, embasadas em normas gerais estabelecidas pela União, que efetivamente regem a atividade industrial de cada Estado. Normalmente mais restritivas, são responsáveis pela fiscalização ambiental de cunho estadual. Porém, em alguns Estados essas leis se tornam ineficientes, devido ao reduzido número de agências ambientais capazes de fiscalizar ativamente cada atividade industrial [SOUZA, 2010b].

Neste sentido, de acordo com Souza (2010b), com o aumento da pressão econômica, da competição global e das preocupações ambientais, a indústria deve constantemente inovar e melhorar seu processo de produção para torná-la mais sustentável. Esforços são necessários para que o nível de produção atual seja mantido com a adoção de tecnologias limpas, melhorando o gerenciamento dos recursos naturais e minimizando o lançamento de poluentes.

### 3.3. Direito Ambiental

O Direito Ambiental encontra seu conteúdo normativo destacado no Capítulo VI da Constituição Federal de 1988 (CF/88), em seu único artigo – art. 225 com seus Parágrafos e Incisos. Art. 225: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) tem como objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental que propicia à vida, visando assegurar no país, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana (art. 2º, da Lei Federal nº 6.938/81).

A referida Lei Federal nº 6.938/81, ao elencar os instrumentos da PNMA, destaca, dentre eles:

- (art.9º) o estudo de impacto ambiental, fortalecido pela CF/88, que dispõe no art. 225, § 1º, que é poder-dever do Poder Público exigí-lo;
- O licenciamento ambiental, onde as atividades consideradas efetiva e potencialmente poluidoras dependerão de prévio licenciamento de órgão estadual competente. No caso do Mato Grosso do Sul, a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA), integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, em caráter supletivo, sem prejuízo de outras licenças exigíveis.

O art. 1º, da Resolução CONAMA nº 237/97, dá as seguintes definições:

**Licenciamento Ambiental** - procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais considerados efetiva ou potencialmente

poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso.

**Licença Ambiental** - ato administrativo pelo qual o órgão ambiental competente, estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo empreendedor, pessoa física ou jurídica, para localizar, instalar, ampliar e operar empreendimentos ou atividades utilizadoras dos recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou aquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental.

Fontenele *et al*(2006) observaram que a legislação não trata da prevenção da geração de resíduos que possam provocar degradação ambiental. Pelo contrário, trata do controle sobre os resíduos que podem ser gerados, contribuindo para uma prática do tipo de tecnologia “fim de tubo” por parte das empresas. Mesmo considerando que existem processos que, devido às suas características, não têm como evitar a geração de resíduos, a legislação poderia ser mais direcionada a evitar ao máximo a poluição.

### 3.4. Legislação de resíduos sólidos

A grande diversidade das atividades industriais ocasiona durante o processo produtivo a geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, os quais podem poluir/contaminar o solo, a água e o ar, sendo preciso observar que nem todas as indústrias geram resíduos com poder impactante nesses três ambientes [FONTENELE *et al*, 2006].

De acordo com a Norma Brasileira — NBR 10.004, os resíduos sólidos são classificados com base na sua periculosidade e solubilidade da seguinte forma:

- **Resíduos Classe I:** são perigosos, tendo periculosidade por inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade;
- **Resíduos Classe II:** são não-inertes, podendo ter propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água;
- **Resíduos Classe III:** são inertes, não representando maiores problemas para a saúde pública ou riscos para o meio ambiente.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) editou, em 16 de maio de 2011, a Resolução nº 430, a qual dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de águas superficiais, bem como estabelece as condições e padrões

do lançamento de efluentes, definindo que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, diretos ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedecem as condições, padrões e exigências dispostos nesta resolução e em outras normas aplicáveis.

### **3.5. Legislação de tratamento de efluentes**

Von Sperling (2005) afirma que os padrões de qualidade para efluentes devem ser cumpridos, por força da legislação, pelas entidades envolvidas com a água a ser utilizada, sendo que cada país define seus padrões baseados nas características específicas do país. Dependendo da estrutura política do país, também podem existir padrões regionais.

As diretrizes ou recomendações são propostas por entidades de aceitação geral (como a OMS - Organização Mundial de Saúde), são genéricas por natureza, não tem força de lei e usualmente objetivam a proteção da saúde pública e do meio ambiente em termos mundiais [VON SPERLING, 2005].

Segundo Von Sperling (2005), quanto à qualidade da água em corpos d'água e ao reuso de efluentes tratados considera-se os seguintes tipos de padrão ou diretriz:

- Padrões de lançamento no corpo receptor;
- Padrões de qualidade do corpo receptor;
- Padrões ou diretrizes de qualidade para determinado uso do efluente tratado (ex: irrigação).

No Brasil, a Resolução CONAMA 357 de 2005 dividiu as águas do território nacional em águas doces (salinidade  $\leq 0,05\%$ ), salobras (salinidade maior que  $0,05\%$  e menor que  $3,0\%$ ) e salinas (salinidade  $\geq 3,0\%$ ). Em função dos usos previstos, há 13 classes variando entre os usos mais nobres e os menos nobres.

A cada uma dessas classes corresponde uma determinada qualidade a ser mantida no corpo d'água, a qual é expressa na forma de padrões que são aplicáveis aos corpos receptores e para o lançamento de efluentes nos corpos d'água (padrões de descarga ou de emissão).

Segundo Von Sperling (2005), ambos os padrões estão de certa forma inter-relacionados. No entanto, os padrões de lançamento existem apenas por uma questão prática, já que é difícil se manter o controle efetivo das fontes poluidoras com base apenas na qualidade do corpo receptor.

Von Sperling (2005) afirma que o atendimento aos padrões de lançamento deve garantir simultaneamente o atendimento aos padrões do corpo receptor. Neste sentido, duas situações podem ocorrer:

- Caso o efluente satisfaça os padrões de lançamento, mas não satisfaça os padrões do corpo receptor, as características do lançamento deverão ser tais que, necessariamente, atendam ao padrão do corpo receptor, ou seja, o lançamento deverá ter características mais restritivas do que as expressas pelo padrão de lançamento usual;
- Caso o efluente não satisfaça os padrões de lançamento, mas satisfaça os padrões do corpo receptor, o órgão ambiental poderá autorizar lançamentos com valores acima dos padrões de lançamento.

As legislações estaduais devem ser sempre consultadas, pois podem eventualmente ser mais restritivas que a legislação nacional, bem como incluir padrões de lançamento para determinados constituintes não abrangidos na legislação federal (ex: DBO, DQO, SS, N, P).

De maneira geral, as principais normas são:

- Decreto 24.643 – código das águas criado em 1934;
- Lei Federal nº 9433/97 – Lei das águas;
- Lei Federal nº 12.305/10 - Política Nacional de Resíduos Sólidos;
- Resolução CONAMA nº 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente;
- Portaria Nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde;
- As legislações estaduais, como o Decreto 8468/76 da CETESB;
- Normas Técnicas ABNT NBR 7.229:1993, NBR 13.969:1997, NBR 12.208:1992 e NBR 12.209:2011;

### **3.6. Política Industrial do estado de Mato Grosso do Sul associada a sustentabilidade**

Na legislação estadual de Mato Grosso do Sul estão contemplados os meios de concessão de benefícios fiscais para o incentivo à produção industrial mediante a prática de desenvolvimento integrado e sustentável. Estas medidas estão alinhadas às tendências atuais de sustentabilidade, além de aliar a importância da preservação dos biomas característicos

presentes no estado ao instituir mecanismos de reconhecimento de programas de desenvolvimento sustentáveis nas indústrias locais.

Os benefícios ou os incentivos fiscais previstos na legislação podem ser concedidos com os acréscimos pertinentes, nos casos em que os estabelecimentos industriais adotem planos de sustentabilidade ambiental ou nas hipóteses em que a sua concessão tenha por objetivo estimular a interiorização dos empreendimentos produtivos.

Na Tabela 3.1, seguem relacionados os documentos e suas características principais no que se refere às possibilidades de benefícios fiscais associados à sustentabilidade da atividade industrial.

**Tabela 3.1 - Legislação Estadual de Incentivo Fiscal à Indústria do Estado de Mato Grosso do Sul**

<b>Documento</b>	<b>Definição</b>	<b>Concessões e Regras</b>
Lei Complementar nº 93 de 05/11/2001	Institui o Programa Estadual de Fomento à Industrialização, ao Trabalho, ao Emprego e à Renda (MS-EMPREENDEDOR).	Benefícios ou incentivos, fiscais, financeiro-fiscais ou extrafiscais sendo elegíveis os empreendimentos econômicos produtivo, qualificados como de interesse prioritário ou adicional para o desenvolvimento integrado e sustentável de Mato Grosso do Sul, em conformidade com as diretrizes governamentais, e preenchendo os requisitos legais e regulamentares.
Lei nº 4.049 de 30/06/2011	Dispõe sobre o Programa Estadual de Desenvolvimento Industrial MS Forte-Indústria	Os benefícios e incentivos fiscais que constituem instrumentos de política fiscal ou de fomento à industrialização do Estado e à circulação de bens econômicos em seu território.
Decreto nº 13.606, de 25 de abril de 2013	Dispõe sobre prorrogação de benefícios e incentivos fiscais relativos ao ICMS, concedidos a estabelecimentos industriais com base na Lei Complementar nº 93, de 5 de novembro de 2001, e na Lei nº 4.049, de 30 de junho de 2011.	Aos percentuais de benefícios ou de incentivos fiscais concedidos aos estabelecimentos industriais que adotam planos de sustentabilidade ambiental pode ser acrescido o percentual de até cinco por cento, em relação exclusivamente às operações interestaduais com os produtos por eles alcançados, mediante a emissão de laudo técnico por órgão definido na legislação.

Fonte: Mato Grosso do Sul, 2001, 2011 e 2013.

## **4. TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS**

### **4.1. Tratamento Biológico de Efluentes**

Os processos de tratamento biológico de efluentes são elaborados de forma a acelerar os mecanismos de degradação biológica que ocorrem naturalmente nos corpos receptores. Entretanto, a decomposição dos poluentes orgânicos biodegradáveis é alcançada, em condições controladas, em intervalos de tempo menores e mais definidos do que nos sistemas naturais, fazendo-se uso de reações bioquímicas realizadas por microrganismos (VON SPERLING, 1995).

Uma grande variedade de microrganismos toma parte no processo: bactérias, algas, protozoários, fungos, e outros. A base de todo o processo biológico é o contato efetivo entre esses organismos e o material orgânico contido nos esgotos, de tal forma que esse possa ser utilizado como alimento pelos microrganismos. Os microrganismos convertem a matéria orgânica em gás carbônico, água e material celular (crescimento e reprodução dos microrganismos). Em condições anaeróbias, tem-se também a produção de metano. A decomposição biológica do material orgânico requer a manutenção de condições favoráveis, como temperatura, pH, tempo de contato e outros e, em condições aeróbias, oxigênio (VON SPERLING, 1995).

De acordo com Bohrz (2010), o tratamento de efluentes industriais através da digestão anaeróbia, apesar de já aplicado desde a metade do século XIX, somente obteve significativos progressos quanto à compreensão de seus fundamentos e controle do processo, quando, na década de 70, atingiu o auge através da produção de biogás como fonte de combustível, o que ia ao encontro das necessidades da crise energética da época.

Ainda conforme Bohrz (2010), em virtude das pressões exercidas por leis ambientais mais rígidas e do aumento dos custos energéticos nas estações de tratamento, os processos anaeróbios utilizados em conjunto com sistemas aeróbios passaram a ser explorados como uma alternativa ao tratamento biológico de despejos líquidos, pois permitiam uma alta eficiência na remoção da carga orgânica e redução nos custos de operação de uma planta de tratamento de efluentes.

Para o caso dos efluentes gerados na indústria de bebidas, Sereno Filho (2013) afirma que são ricos em açúcares, possuem pH alcalino e temperatura ambiente. Apresentam elevada

carga orgânica (DBO, DQO e sólidos totais) devido ao açúcar do xarope e dos extratos vegetais utilizados na formulação das bebidas. Entretanto, a caracterização deste efluente varia de acordo com o processo produtivo, principalmente devido à tecnologia empregada durante as etapas de fabricação das bebidas.

Desta forma, em função da elevada carga orgânica e elevado grau de complexidade da composição dos efluentes industriais gerados nestas indústrias, conforme Sereno Filho (2013), faz-se necessário um alto grau de tratamento da água de processo, exigindo uma combinação de processos para que a remoção dos poluentes seja eficiente. Em relação ao tratamento biológico desses efluentes tem-se à disposição dois métodos diferentes: tratamento anaeróbio, utilizando microrganismos que independem de oxigênio, e tratamento aeróbio, ao qual se fornece oxigênio para os microrganismos através de aeração.

Para tornar viáveis os processos biológicos para o tratamento de efluentes industriais são necessários equipamentos com elevadas capacidades de tratamento aliados à boa eficiência de remoção dos poluentes orgânicos. Na prática isso significa que um reator industrial deve ser capaz de trabalhar com altas taxas de carregamentos orgânicos e baixos tempos de detenção [SERENO FILHO, 2013].

#### **4.2. Reatores Anaeróbios**

De acordo com Salomon (2007), na Europa, no início dos anos 80, a biodigestão anaeróbia tornou-se atraente, pois possibilitou o tratamento de diferentes tipos de águas residuárias de origem industrial.

Em decorrência da ampliação de conhecimento na área, os sistemas anaeróbios de tratamento, notadamente os reatores de manta de lodo (UASB) e os filtros anaeróbios, foram melhorados, passando a ocupar uma posição de destaque. Diversos biodigestores anaeróbios de alto desempenho para o tratamento de águas residuárias têm sido propostos [SALOMON, 2007].

Geralmente os reatores biológicos podem ser divididos em dois grupos distintos: os reatores de biomassa em suspensão e os reatores de biomassa fixa a um suporte inerte. Rizzo & Leite (2004), apresentam a evolução ao longo dos anos dividindo em três gerações de reatores como mostra a Tabela 4.1.

**Tabela 4.1 - Gerações de Reatores Anaeróbios**

<b>Reatores de 1ª Geração</b>	<b>Reatores de 2ª Geração</b>	<b>Reatores de 3ª Geração</b>
Fossa Moura	Filtro Anaeróbio	Reator Anaeróbio de Leito
Tanque Séptico	Reator Anaeróbio de Fluxo	Fluidizado
Tanque Imhoff	Ascendente e Camada de	Reator Anaeróbio de Leito
Lagoas Anaeróbias	Lodo(UASB)	Expandido
Reator Convencional		
Reator Anaeróbio de Contato		

Fonte: Rizzo, *et al.*, (2004).

Ressalta-se que somente serão descritos detalhadamente neste capítulo, os processos dos tipos de reatores relacionados à indústria em estudo de caso, de forma a subsidiar a metodologia de análise desta pesquisa.

#### **4.2.1. Reatores de 1ª Geração - Sistemas de Tratamento por Lagoas**

Estes reatores são aqueles em que a biomassa encontra-se em suspensão. Neste caso, o tempo de retenção celular é igual ao tempo de retenção hidráulico, repercutindo este fato diretamente no tamanho dos reatores quando se necessita tratar grandes volumes de efluentes [SALOMON, 2007].

As lagoas anaeróbias são grandes tanques (bacias) onde são estabelecidas condições anaeróbias, ou seja, lagoas não agitadas e com grande profundidade, quando empregadas para o tratamento de efluentes com elevada carga orgânica. Essas lagoas podem ser de apenas alguns  $m^2$  ou até vários  $km^2$  de área, com profundidade de 2,5 a 5m. A carga orgânica é geralmente elevada na faixa de 280 a 4.500  $kg\ DBO/m^3\ dia$ . A remoção de DBO encontra-se na faixa de 50 a 80% para um tempo de retenção de 5 a 50 dias [Eckenfelder, 1989 apud Rizzo, *et al.*, 2004].

As lagoas anaeróbias cobertas geralmente são retangulares, como um grande tanque (Figura 4.1), onde o efluente é introduzido pelo fundo através de um sistema de distribuição, visando aumentar o contato com lodo anaeróbio presente na parte inferior do tanque. A altura do leito de lodo decresce ao longo do comprimento do tanque e conseqüentemente a atividade biológica. O tanque é coberto por uma membrana flutuante que permite manter o aquecimento e coletar o biogás produzido.

Na Figura 4.1 observa-se a imagem de lagoas de tratamento de esgoto de Sistema Australiano, composto por uma lagoa anaeróbia com capacidade de armazenamento de 17,164 metros, uma lagoa facultativa com capacidade de armazenamento de 56,786 metros e uma

lagoa de maturação com capacidade de armazenamento de 24,833 metros [PREF. MUN. MONTE APRAZÍVEL, 2010].



**Figura 4.1 - Lagoa Anaeróbia**

Fonte: Pref. Municipal de Monte Aprazível, 2010.

Este tipo de sistema é adequado para efluentes com níveis elevados de sólidos em suspensão e quantidades significativas de graxas. O tempo de retenção hidráulico encontra-se na faixa de 6 a 30 dias, para cargas orgânicas de 1 a 2 kg DQO/m<sup>3</sup>dia [Noyola, 1993 apud Rizzo, *et al.*, 2004].

De acordo com Faria (2012), sistemas de tratamento por lagoas consistem numa boa opção de tratamento de esgoto, sobretudo, em países de clima quente e áreas disponíveis. O autor cita algumas vantagens desses sistemas:

- Baixos custos de operação e manutenção;
- Sistema operacional simples;
- Elevada eficiência de remoção da matéria orgânica, podendo alcançar níveis aceitáveis relativos aos parâmetros ambientais vigentes;
- Elevada eficiência na remoção de patógenos<sup>12</sup>, e;
- Elevada eficiência na remoção de nitrogênio, desde que projetadas para esse fim;

As etapas do sistema tratamento por lagoas são: Lagoa Facultativa, Lagoa Anaeróbia Facultativa e Lagoa de maturação.

---

<sup>12</sup> Patógenos: substâncias nocivas a saúde [BVS, 2014b]

#### 4.2.1.1. Lagoa Facultativa

Essas lagoas funcionam através da atividade fotossintética das algas sob a influência da luz solar e da ação das bactérias. O surgimento das algas é função da presença de nutrientes oriundos da matéria orgânica dos resíduos. Esta forma de oxidação, por ser anaeróbia, implica no consumo de oxigênio devido à respiração dos microorganismos decompositores, principalmente, as bactérias heterotróficas aeróbias. As bactérias, na presença de oxigênio, convertem a matéria orgânica em compostos simples e inertes como o dióxido de carbono e água, além de sais de nitrogênio e fósforo. Esses compostos inorgânicos são utilizados pelas algas e por meio da fotossíntese ocorre à liberação do oxigênio molecular. Este, por sua vez, é utilizado pelas bactérias aeróbias e facultativas <sup>13</sup>na sintetização da matéria orgânica [FARIA, 2012]. A representação esquemática de sistemas integrados de bactérias e algas está representada na Figura 4.2.

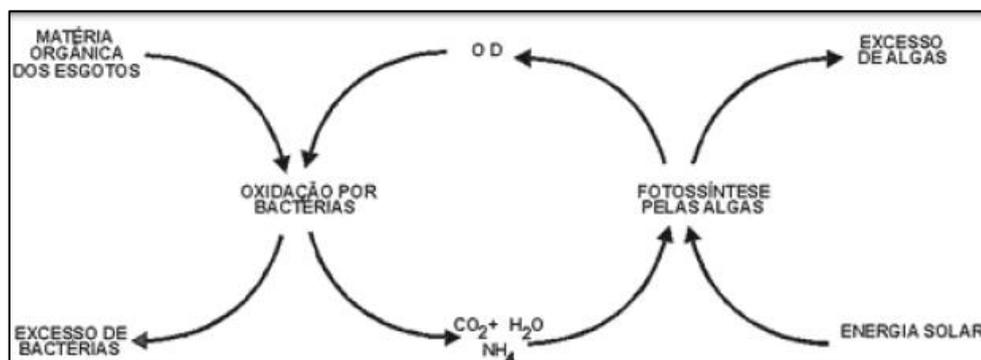


Figura 4.2 - Balanço da digestão anaeróbia da matéria orgânica

Fonte: Faria, 2012

No fundo da lagoa, em condições anaeróbias, a matéria orgânica sedimenta e necessita ser estabilizada. Porém, esta estabilização, por ser anaeróbia, não traduz em consumo de oxigênio e libera gases como metano, carbono, sulfeto de hidrogênio e nitrogênio amoniacal, os quais se deslocam para a superfície da lagoa e grande parte se desprende para a atmosfera [FARIA, 2012]. A representação esquemática de uma lagoa facultativa esta descrita na Figura 4.3, onde observa-se as reações que acontecem nas zonas anaeróbias (fundo da lagoa), facultativa (meio da lagoa) e aeróbia (superfície da lagoa).

<sup>13</sup> Bactérias facultativas são bactérias que podem adaptar-se para crescer e metabolizar tanto na presença como na ausência de oxigênio, pelo qual também são chamadas de anaeróbias facultativas ou aeróbias facultativas. Podem desenvolver um metabolismo tanto respiratório usando o oxigênio como fermentativo na ausência do oxigênio. As bactérias anaeróbias facultativas podem obter energia na ausência do oxigênio, mas o oxigênio não lhe é tóxico [WIKIPÉDIA, 2014b].

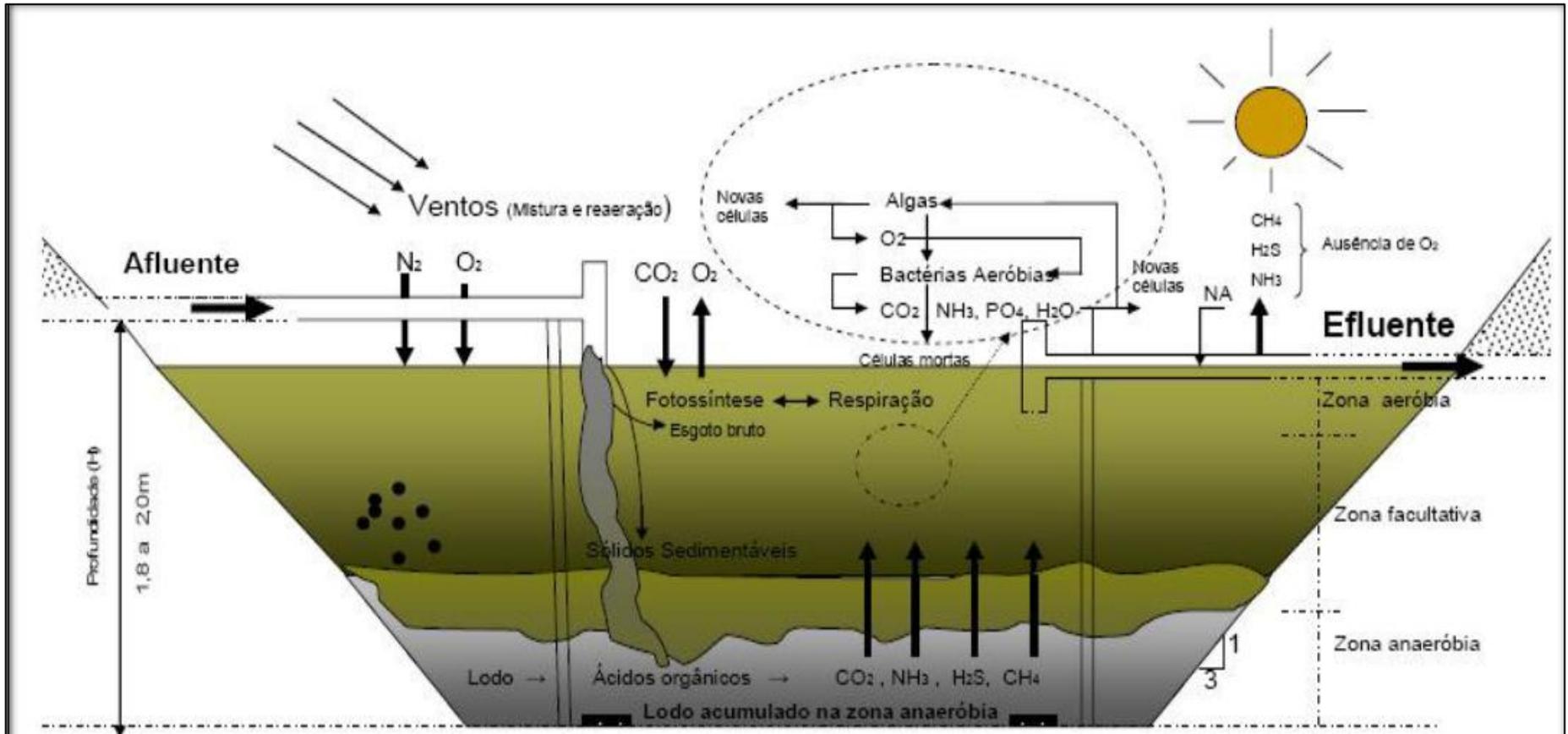


Figura 4.3 - Esquema detalhado de uma lagoa facultativa

Fonte: FARIA, 2012

#### 4.2.1.2. Lagoa Anaeróbia Facultativa

As lagoas anaeróbias constituem-se em uma forma alternativa de tratamento, onde a existência de condições estritamente anaeróbias é essencial. Tal é alcançado através do lançamento de uma grande carga de DBO por unidade de volume da lagoa, fazendo com que a taxa de consumo de oxigênio seja várias vezes superior à taxa de produção [VON SPERLING, 2002].

De acordo com Von Sperling (2002), no balanço de oxigênio, a produção pela fotossíntese e pela re-aeração atmosféricas são neste caso, desprezíveis e, segundo Faria (2012), são completamente isentas de oxigênio dissolvido e de atividade fotossintética, mas associadas aos mecanismos de fermentação e respiração anaeróbicos.

O tratamento anaeróbio é um processo sequencial que envolve três estágios. Na primeira fase, ocorre a hidrólise de materiais complexos, ou seja, o material orgânico complexo é transformado em matéria orgânica simples solúvel via hidrólise enzimática [FARIA, 2012].

Na segunda etapa, ocorre a produção de ácidos, os quais são formados pelas bactérias anaeróbias e facultativas. Estes ácidos convertem os compostos orgânicos solúveis em ácidos orgânicos através bactérias anaeróbias conhecidas como produtoras de ácidos [FARIA, 2012].

No terceiro estágio, ocorre a fermentação metanogênica, ou seja, os ácidos orgânicos simples são convertidos em metano e dióxido de carbono através de bactérias anaeróbias produtoras do metano [FARIA, 2012].

As lagoas anaeróbias são usualmente profundas, da ordem de 3m a 5m. A profundidade é importante no sentido de reduzir a possibilidade de penetração do oxigênio produzido na superfície para as demais camadas. Pelo fato das lagoas serem mais profundas, a área requerida é correspondente menor [VON SPERLING, 2002].

São usadas com grandes vantagens como tratamento primário de águas residuárias, industriais e/ou de dejetos suínos com grande concentração de compostos orgânicos e altos teores de sólidos [FARIA, 2012].

Na Figura 4.4 está o esquema detalhado do processo de conversão de matéria orgânica em condições anaeróbias, onde observa-se que as reações de acidogênese libera os ácidos orgânicos que são transformados em biogases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$  e  $\text{H}_2\text{S}$ ) pela metanogênese.

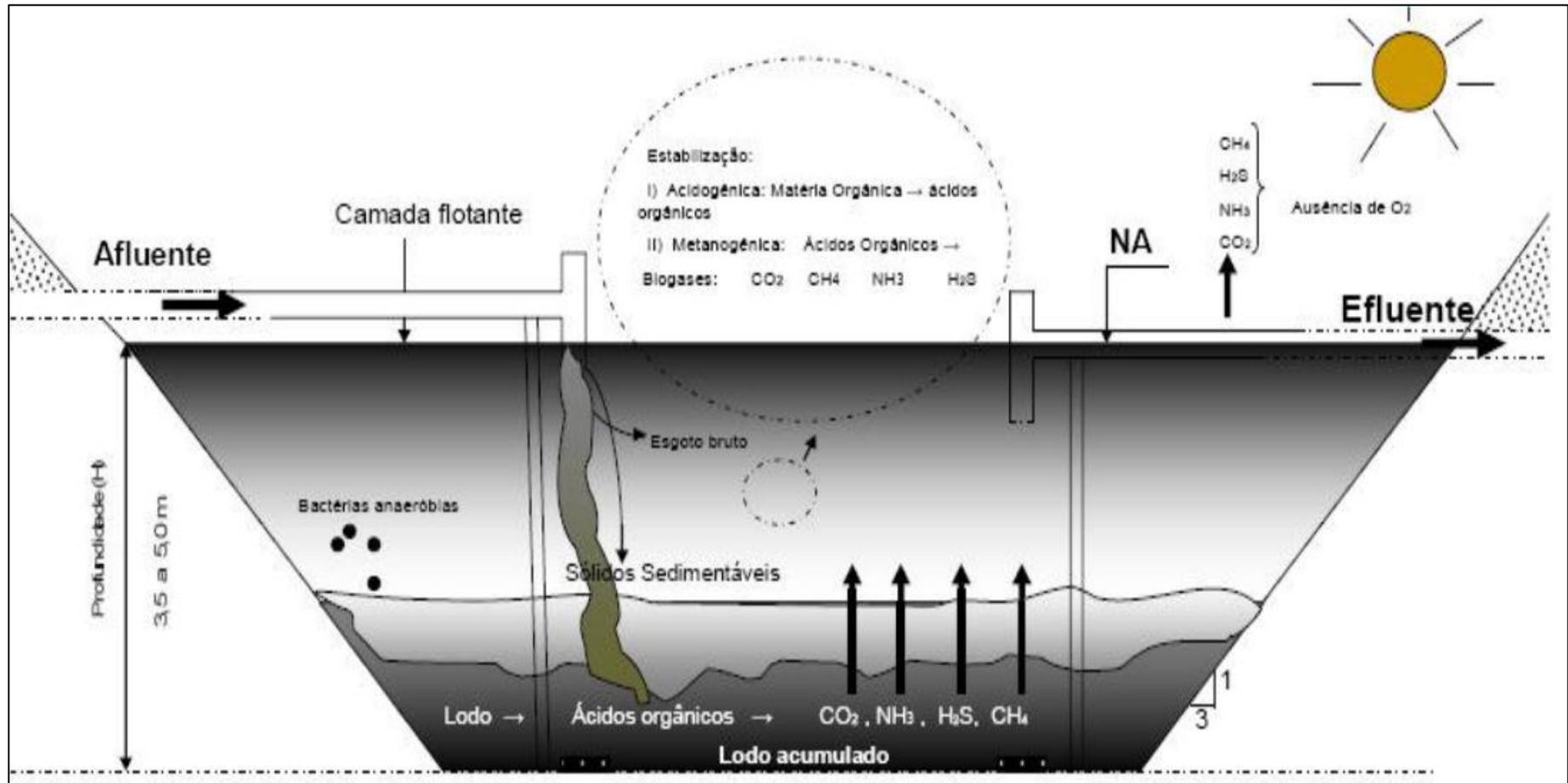


Figura 4.4 - Esquema detalhado de uma lagoa anaeróbia facultativa

Fonte: FÁRIA, 2012.

#### 4.2.1.3. Lagoa de Maturação

As lagoas de maturação são usadas como tratamento de descargas orgânicas leves provenientes de efluentes de outras lagoas. As eficiências de remoções de DBO e DQO são geralmente baixas, porém, a função principal é a destruição de micro-organismos patogênicos, além da redução de nutrientes e sólidos em suspensão [FARIA, 2012].

Segundo Von Sperling (2002), nas lagoas de maturação predominam condições ambientais adversas para bactérias patogênicas, como radiação ultravioleta, elevado pH, elevado OD<sup>14</sup>, temperatura mais baixa que a do corpo humano, falta de nutrientes e predação por outros organismos.

Este tipo de lagoa para tratamento de águas residuárias compreende unidades rasas necessárias para manter as condições aeróbias. O desempenho da lagoa depende exclusivamente do oxigênio produzido pelas algas, sendo ele transferido quase que por toda a lagoa através da turbulência dos ventos [FARIA, 2012].

Von Sperling (2002) afirma que usualmente as lagoas de maturação são projetadas como uma série de lagoas, ou como uma lagoa única com divisões por chicanas<sup>15</sup>, pois constituem um pós-tratamento de processos que objetivem a remoção da DBO, se tornando por este motivo numa alternativa bastante econômica à desinfecção do efluente por métodos mais convencionais, como a cloração.

As lagoas de maturação possibilitam um polimento no efluente de qualquer sistema de tratamento de esgoto devido ao seu objetivo principal ser o de remoção de patógenos, sendo que a eficiência na remoção de coliformes é elevadíssima dependendo da forma como foi projetada. Com relação a outros organismos de interesse na saúde pública, as lagoas usualmente atingem a eliminação total (100%) de cistos de protozoários e ovos de helmintos [VON SPERLING, 2002].

O processo da lagoa de maturação está exemplificado na Figura 4.5, onde observa-se que a lagoa de maturação possui uma profundidade pequena (0,60 a 1,50 m) para possibilitar uma alta penetração da radiação solar que resulta em pH elevado devido à elevada atividade fotossintética, além da elevada concentração de OD, que segundo Von Sperling (2002) constituem os mecanismos que proporcionam as características ideais para a remoção de organismos patogênicos.

---

<sup>14</sup> OD (oxigênio dissolvido): quantidade de oxigênio molecular dissolvido no líquido [EMBRAPA, 2014].

<sup>15</sup> Chicanas: sistema que consiste na colocação de obstáculos a intervalos regulares para orientar o percurso do fluxo hidráulico na direção desejada [EMBRAPA, 2014].

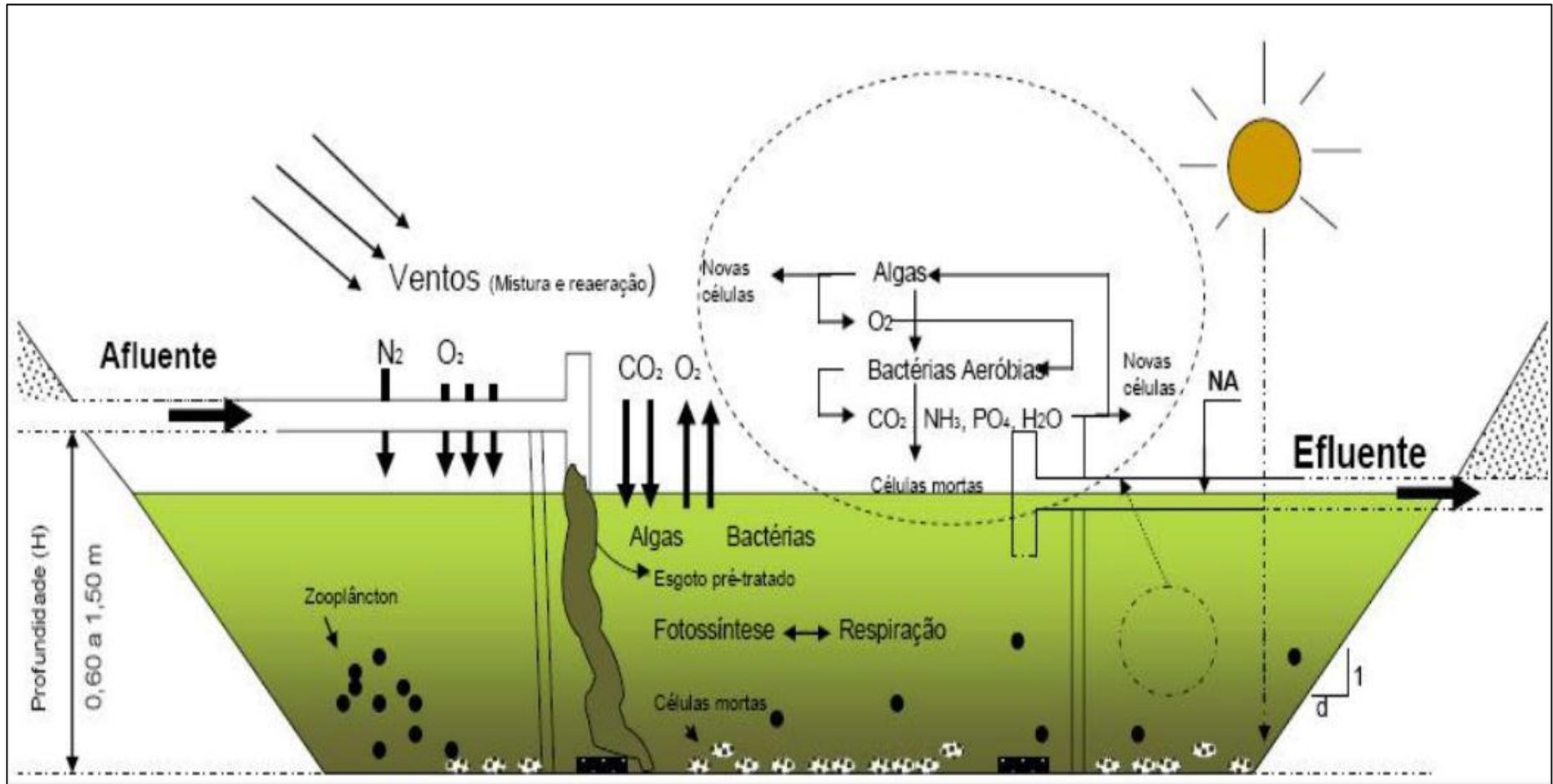


Figura 4.5 - Esquema detalhado de uma lagoa de maturação

Fonte: FÁRIA, 2012.

#### 4.2.1.4. Resumo Processos de Tratamento por Lagoas

A Tabela 4.2 apresenta um resumo com a descrição dos processos de tratamento de efluentes por Lagoas, discutidos neste estudo.

**Tabela 4.2 – Descrição do processo de tratamento de efluentes por Lagoas**

<b>Sistema</b>	<b>Descrição</b>
<b>Lagoa facultativa</b>	A DBO solúvel e finamente particulada é estabilizada aerobicamente por bactérias dispersas no meio líquido, ao passo que a DBO suspensa tende a sedimentar, sendo estabilizada anaerobiamente por bactérias no fundo da lagoa. O oxigênio é fornecido pelas algas, através da fotossíntese.
<b>Lagoa anaeróbia – Lagoa facultativa</b>	A DBO é em torno de 50% estabilizada na lagoa anaeróbia (mais profunda e com menor volume), enquanto a DBO remanescente é removida na lagoa facultativa. O sistema ocupa uma área inferior ao de uma lagoa facultativa única.
<b>Lagoa aerada facultativa</b>	Os mecanismos de remoção da DBO são similares aos de uma lagoa facultativa. No entanto, o oxigênio é fornecido por aeradores mecânicos, ao invés da fotossíntese. Como a lagoa é também facultativa, uma grande parte dos sólidos do esgoto e da biomassa sedimenta, sendo decomposta anaerobiamente no fundo.
<b>Lagoa aerada de mistura completa – lagoa de decantação</b>	A energia introduzida por unidade de volume da lagoa é elevada, o que faz com que os sólidos (principalmente a biomassa) permaneçam dispersos no meio líquido, ou em mistura completa. A decorrente maior concentração de bactérias no meio líquido aumenta a eficiência do sistema na remoção da DBO, o que permite que a lagoa tenha um volume inferior ao de uma lagoa aerada facultativa. No entanto, o efluente contém elevados teores de sólidos (bactérias), que necessitam ser removidos antes do lançamento no corpo receptor. A lagoa de decantação a jusante proporciona condições para essa remoção. O lodo da lagoa de decantação deve ser removido em períodos de poucos anos.
<b>Lagoa de polimento ou maturação</b>	O objetivo principal da lagoa de polimento ou maturação é a remoção de patogênicos. Nas lagoas de maturação predominam condições ambientais adversas para os patogênicos, como radiação ultravioleta, elevado pH, elevado OD, temperatura mais baixa que a do corpo humano, falta de nutrientes e predação por outros organismos. As lagoas de maturação constituem um pós-tratamento de processos que objetiva na remoção da DBO, sendo usualmente projetadas como uma série de lagoas ou, como uma lagoa única com divisões por chicanas. A eficiência na remoção de coliformes é bastante elevada.

Fonte: Von Sperling, 2002.

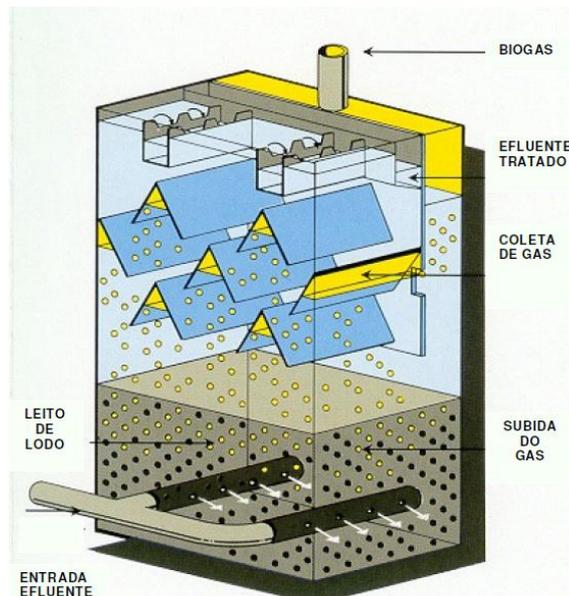
#### 4.2.2. Reatores de 2ª Geração – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente

São aqueles em que os microrganismos encontram-se retidos dentro do reator devido à presença de um suporte ou então pela sua capacidade de sedimentação. Nestes tipos de reatores o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) empregado pode ser bem menor que o Tempo de Retenção Celular - TRC [SALOMON, 2007]

Reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), ou reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo, ou Reator Anaeróbio de Leito Fluidilizado (RALF), são as formas mais eficientes atualmente no processo de degradação biológica. A concentração de

biomassa no reator é bastante elevada, justificando a denominação de manta de lodo, por isso, o TRH é pequeno, sendo o sistema mais adequado na degradação biológica de resíduos líquidos, como resíduos agroindustriais e tratamento de esgoto. Devido a esta elevada concentração, o volume requerido para reatores anaeróbios de manta de lodo é bastante reduzido em comparação com outros sistemas de tratamento. Nesse reator, o gás metano gerado é recolhido na parte superior, podendo ser utilizado no reaproveitamento energético com a sua queima [FARIA, 2012].

Na Figura 4.6 está apresentado o esquema de funcionamento de um reator modelo UASB, onde segundo Salomon (2007), este reator consiste de um tanque de fluxo ascendente no qual micro-organismos crescem dispersos, sem a necessidade de um material suporte, formando flocos ou grânulos densos com alta resistência mecânica que permanecem no reator.



**Figura 4.6 – Esquema de um reator UASB**

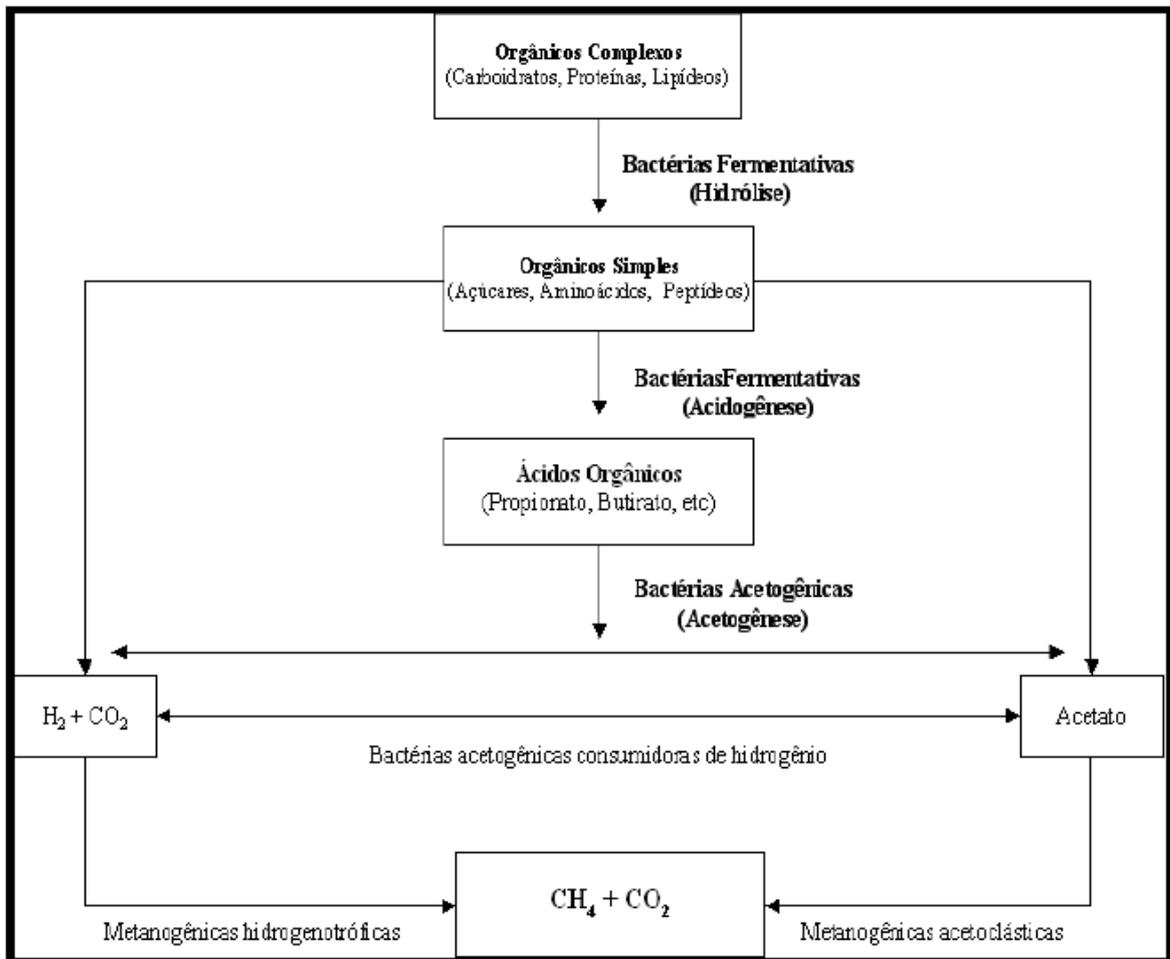
Fonte: SALOMON, 2007

Na sua parte superior há um separador trifásico (sólido-líquido-gás), onde ocorre a remoção do gás produzido, assim como a sedimentação e retorno automático do lodo à câmara de digestão, conforme apresentada na Figura 4.6. Devido à agitação natural provocada pelo próprio fluxo hidráulico ascendente e gases gerados na digestão da matéria orgânica, o reator dispensa qualquer dispositivo adicional de mistura [SALOMON, 2007].

O processo da digestão anaeróbia pode ser considerado como um micro-ecossistema onde micro-organismos trabalham conjuntamente na conversão da matéria orgânica complexa

em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas. Esses microrganismos atuam como uma simbiose entre várias espécies de bactérias ativas no tratamento anaeróbio, para remoção de matéria orgânica. O reator do tipo UASB pode ser utilizado no tratamento de efluentes, domésticos e industriais, com teor de carga orgânica elevada [FARIA, 2012].

As principais reações bioquímicas que ocorrem no processo de reação anaeróbia dentro do reator podem ser divididas em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese, e metanogênese, conforme demonstrado na Figura 4.7.



**Figura 4.7 - Balanço da digestão anaeróbia da matéria orgânica**

Fonte: Farias (2012)

**HIDRÓLISE:** conversão de materiais particulados em materiais dissolvidos mais simples pela ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas. Essa fase é lenta e pode ser afetada por diversos fatores como: pH, temperatura, tempo de retenção hidráulica, tamanho e distribuição das partículas [FARIA, 2012].

**ACIDOGÊNESE:** os produtos da hidrólise são metabolizados no interior das células das bactérias fermentativas, sendo convertidas em compostos mais simples, assim como ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido lático, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio. Como os ácidos graxos voláteis são os principais produtos dos organismos fermentativos, estes são chamados bactérias fermentativas acidogênicas [FARIA, 2012].

**ACETOGÊNESE:** As bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica em substrato apropriado para as bactérias metanogênicas. Dessa forma, as bactérias acetogênicas fazem parte de um grupo metabólico intermediário que produz substrato para as metanogênicas. Os produtos gerados pelas bactérias acetogênicas são hidrogênio, dióxido de carbono e acetato. Durante a formação dos ácidos acético e propiônico, uma grande quantidade de hidrogênio é formada, fazendo com que o valor do pH no meio aquoso decresça. De todos os produtos metabolizados pelas bactérias acidogênicas, apenas o hidrogênio e o acetato podem ser utilizados diretamente pelas metanogênicas. Porém, pelo menos 50% da DQO biodegradável é convertida em propianato e butirato, os quais são posteriormente decompostos em acetato e hidrogênio pela ação das bactérias acetogênicas [FARIA, 2012].

**METANOGÊNESE:** etapa final do processo global de degradação anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono; é efetuada pelas bactérias metanogênicas. As bactérias metanogênicas utilizam apenas um limitado número de substratos, compreendendo ácido acético, hidrogênio, dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono. Elas são divididas em dois grupos principais: o primeiro que forma metano a partir de ácido acético ou metanol, e o segundo que produz metano a partir do hidrogênio e dióxido de carbono [FARIA, 2012].

A digestão anaeróbia não elimina substâncias indesejadas do efluente, como a presença de microrganismos patogênicos e nutrientes. O objetivo inicial do reator é a remoção de matéria orgânica utilizando reatores como pré-tratamento, após a biomassa digerida pode-se utilizar também o tratamento complementar em sistemas convencionais como lagoas de estabilização ou o sistema de lodo ativado. Segundo Farias (2012), esses sistemas integrados podem fornecer um efluente adequado, a um custo muito menor do que os sistemas convencionais.

Dados fornecidos por Metcalf & Eddy (1991) apud Salomon (2007), referente ao desempenho do reator UASB em tratamento de efluentes industriais, apresentaram resultados

entre 75 a 80 % de remoção de DQO com uma carga orgânica aplicada de 4 a 12  $kg\ DQO/m^3\ dia$ , com um TRH de 4 a 12 horas.

Este tipo de reator quando aplicado corretamente apresenta grandes vantagens caracterizadas por ser um sistema compacto; ter baixo custo de implantação e operação; ter uma baixa produção de lodo; ter um baixo consumo de energia; ter satisfatória eficiência de remoção de DQO e DBO; possibilidade de uma rápida partida e elevada concentração de lodo excedente [SALOMON, 2007].

A estabilização da matéria orgânica ocorre em todas as zonas do reator, leito e camada de lodo, sendo a mistura do sistema promovida pelo fluxo ascensional do efluente pela formação de gases [SALOMON, 2007].

Segundo Salomon (2007) deve-se considerar a estimativa de produção de biogás a partir de um resíduo para se operar e controlar um reator UASB, segundo alguns critérios:

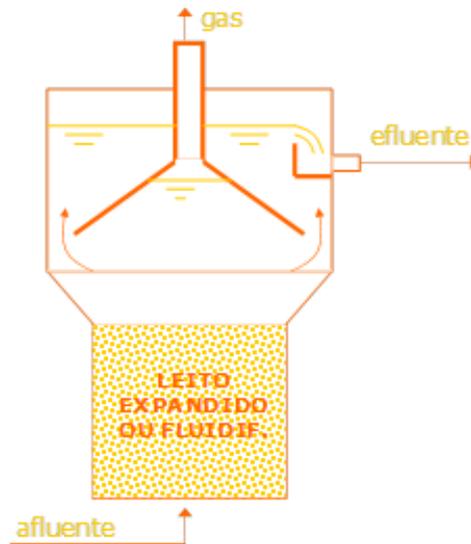
- A produção teórica de  $CH_4$ , num estado constante, é proporcional a quantidade de DQO consumida no reator (1g de DQO consumido corresponde à produção de 0,35 litros de  $CH_4$ , a temperatura e pressão normais);
- Uma parte do biogás produzido é dissolvida e perdida no efluente;
- Parte da DQO é transformada em biomassa.

#### **4.2.3. Reatores de 3ª Geração – Reator Anaeróbio de Leito Expandido**

Nestes tipos de reatores os microrganismos encontram-se aderidos a um suporte que pode ser expandido ou fluidizado. O material normalmente empregado como suporte deve possuir uma grande área superficial para adesão dos microrganismos e manter boas características de sedimentação para assegurar a retenção da biomassa no reator [SALOMON, 2007].

Nos anos 70, Jewell (1987) apud Rizzo, *et al.*, (2004) desenvolveu um novo tipo de reator biológico (Figura 4.8) capaz de reter a biomassa ativa. Neste sistema, os microrganismos encontram-se aderidos a um suporte inerte de baixo peso específico, tal como: areia, antracito ou um material plástico. O suporte recoberto pela biomassa, em forma de uma película, é expandido pelas altas velocidades ascendentes empregadas, devido à elevada taxa de recirculação da solução.

Nesse caso, o grau de expansão pode chegar até a 40% do leito sedimentado. Verificou-se também que a eficiência de remoção da DBO, no tratamento de esgoto sanitário, pode chegar a 90% com um TRH de 2 horas [SALOMON, 2007].



**Figura 4.8 - Esquema de um Reator Anaeróbio de Leito Expandido**

Fonte: Salomon, 2007

Dentre os vários projetos para reatores do tipo EGSB (*expanded granular sludge bed*), que buscam eliminar as deficiências encontradas nos reatores UASB, destaca-se o Reator Anaeróbio de Circulação Interna (IC) pela engenhosidade e simplicidade construtiva. O Reator IC consiste basicamente na instalação de dois reatores UASB sobrepostos. O reator inferior recebendo um alto carregamento orgânico e o superior pouquíssimo carregado. Seu trunfo principal é a separação do biogás em dois estágios dentro do reator. O gás coletado no primeiro estágio proporciona o arraste (“*gas-lift*”) de efluente e lodo anaeróbio para o topo do reator de onde são separados e internamente recirculados à parte inferior do reator, procedimento este que lhe confere o nome (Reator Anaeróbio de Circulação Interna) [SERENO FILHO, 2013].

Na Figura 4.9 observa-se o esquema do processo do reator anaeróbio IC, o qual consiste em um tanque cilíndrico, vertical, com altura variando de 16 a 25 metros e pequena área superficial, com diâmetros variando de 1,0 –11,5 metros. O corpo do reator pode ser executado em aço inoxidável ou aço carbono revestido com proteção anticorrosiva. Em ambos os casos há um revestimento interno das paredes em plástico de engenharia, no fundo (evitar erosão na alimentação) e na parte superior para evitar a corrosão causada pela conversão de sulfetos. O teto de lodo na zona de mistura, o tanque separador gás/líquido e as tubulações

internas sempre são construídas em aço inoxidável. Os separadores internos são construídos totalmente em plástico de engenharia (polipropileno) e ocupam toda a área superficial do reator. Estes cuidados garantem a longa vida útil do equipamento quando submetidos às condições do processo anaeróbio [SERENO FILHO, 2013].

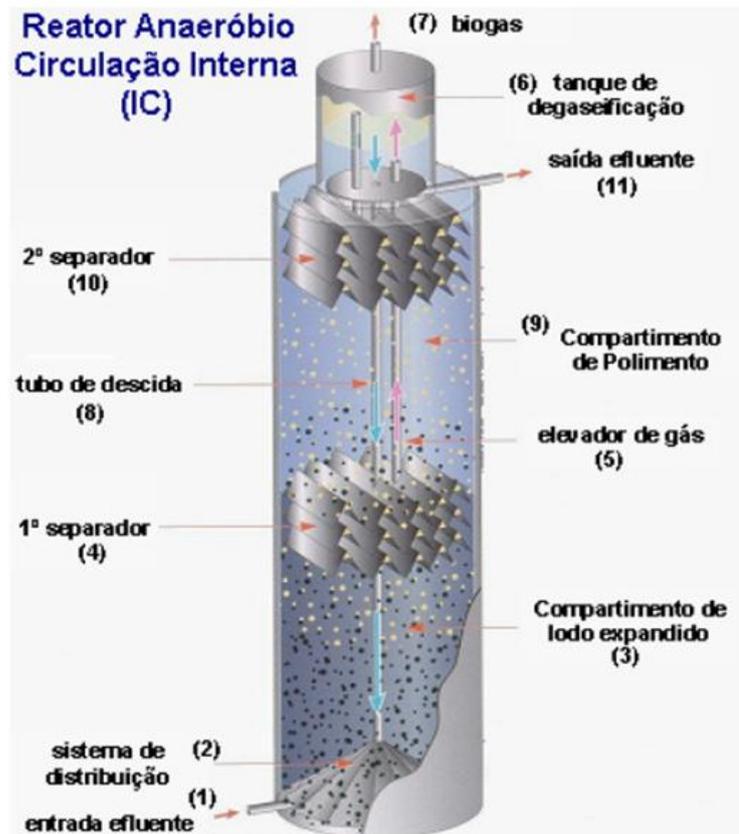


Figura 4.9 - Esquema Reator Anaeróbio modelo IC

Fonte: Lamo & Dias, 2014

Na Figura 4.9, observa-se que o efluente (1) é bombeado para o reator entrando no sistema de distribuição (2) onde é misturado com o efluente tratado e o lodo anaeróbio recirculados. O compartimento inferior do reator abriga a zona de Leito Granulado Expandido (3), bastante carregada orgânica e hidraulicamente, onde cerca de 70 – 75% da DQO são convertidos em biogás.

O biogás produzido nessa região é coletado pelo 1º separador de fases (4) e é utilizado para gerar o “*gas-lift*” que proporciona o arraste de efluente e lodo via tubulação de subida (5) para o separador gás líquido (6) instalado no topo do reator.

Na sequência, o biogás é separado da mistura efluente/lodo e deixa o sistema (7). A mistura efluente/lodo é direcionada ao fundo do reator pelo tubo de descida (8), resultando no

fluxo de circulação interna. O efluente que atravessa o 1º separador, livre da grande concentração de biogás, encontra a zona de polimento (9) onde a pequena parcela residual da DQO é degradada atingindo remoções de 75 - 85%. O biogás produzido nessa área é coletado no 2º separador trifásico instalado na parte superior do reator, enquanto o efluente tratado deixa o reator pelos vertedores (11) [SERENO FILHO, 2013].

## 5. BIOGÁS

### 5.1. Definição

Segundo Pierobon (2007), o biogás pode ser definido simplesmente como uma das inúmeras formas de fixação de energia proveniente do sol na forma de energia química disponível através de uma queima simples.

Ele é proveniente da degradação química de organismos mortos ou de excreções, através da ação de micro-organismos decompositores anaeróbios (sem a presença de oxigênio), que agem como catalisadores das reações de formação do biogás.

O crescimento do processo de industrialização resultou num aumento das quantidades de efluentes com alto teor de orgânicos, o que poderia resultar num potencial aumento de fontes alternativas de energia. Estes efluentes passíveis de causar um grande impacto ambiental podem se tornar uma considerável fonte de energia.

### 5.2. Características do Biogás

Segundo Nishimura (2009), o biogás é uma mistura de gases composta por cerca de 50% a 80% de metano e de 20% a 40% de dióxido de carbono. É formado também, em quantidade reduzida, por outros gases como hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono e amônia.

A composição do biogás varia de acordo com o resíduo utilizado, condições climáticas e características do biodigestor, entre outros. Apresenta, porém, de forma aproximada, a composição mostrada na Tabela 5.1 [NISHIMURA, 2009].

**Tabela 5.1 - Composição do Biogás**

<b>Gás</b>	<b>Quantidade (%)</b>
Metano	50 a 80
Dióxido de Carbono	20 a 40
Hidrogênio	1 a 3
Nitrogênio	0,5 a 3
Ácido sulfídrico e outros	1 a 5

Fonte: Nishimura (2009).

O metano, principal componente do biogás, não possui cheiro, cor ou sabor, mas os outros gases presentes conferem-lhe um ligeiro odor desagradável. Sua chama apresenta uma coloração azul-lilás. Não produz fuligem e seu índice de poluição atmosférica é inferior ao do butano, presente no gás de cozinha [NISHIMURA, 2009].

Segundo Gaspar (2003), o biogás, por apresentar uma alta porcentagem de metano em sua composição, possui um alto poder calorífico, que varia de 5.000 a 7.000 kcal/m<sup>3</sup>, e que, submetido a um alto índice de purificação, pode atingir o valor de 12.000 kcal/m<sup>3</sup>.

O Poder Calorífico Inferior (PCI) é utilizado para determinar o potencial teórico de energia contido em alguma fonte de combustível [FARIA, 2012]. O PCI do biogás aumenta quanto maior for a concentração de metano, uma vez que o dióxido de carbono presente no biogás é uma forma oxidada do carbono, não podendo ser queimado. A Tabela 5.2 mostra a equivalência de 1 m<sup>3</sup> de biogás com outros energéticos [NISHIMURA, 2009].

**Tabela 5.2 - Equivalência de 1 m<sup>3</sup> de biogás com outros energéticos**

<b>Energético</b>	<b>Quantidade Equivalente a 1 m<sup>3</sup> de Biogás</b>
Gasolina	0,613 l
Querosene	0,579 l
Diesel	0,553 l
GLP	0,454 kg
Álcool	0,79 l
Carvão Mineral	0,735 kg
Lenha	1,538 kg
Energia Elétrica	1,428 kWh

Fonte: Sganzerla (1983).

A Tabela 5.3 demonstra a comparação do PCI do biogás e outros gases, considerando que a proporção em metano do biogás é aproximadamente de 60%.

**Tabela 5.3 - Comparação do PCI do biogás e outros gases**

<b>Gás</b>	<b>PCI (Kcal/m<sup>3</sup>)</b>
Metano	8.500
Propano	22.000
Butano	28.000
Gás de Cidade	4.000
Gás Natural	8.554
Biogás	5.500

Fonte: Faria, 2012.

### **5.3. Processo de Limpeza do Biogás**

Costa (2006) afirma que os sistemas de limpeza de gases são desenvolvidos para corrigir as propriedades naturais do biogás para que o mesmo atenda às especificações técnicas dos equipamentos de conversão.

Segundo Salomon (2007), a presença de substâncias não combustíveis no biogás, como a água e o dióxido de carbono prejudica o processo de queima, tornando-o menos eficiente ao absorver parte da energia gerada. Além destes, também há a presença de gás sulfídrico ( $H_2S$ ) que pode acarretar corrosão, diminuindo tanto o rendimento, quanto à vida útil do motor térmico utilizado.

A composição do biogás é variável e ele é um gás ácido. A maioria dos digestores anaeróbios produz um biogás que contém entre 0,3 a 2% de  $H_2S$ , observando-se também a presença de traços de nitrogênio e hidrogênio [COSTA, 2006].

Dependendo da aplicação é recomendável a purificação do biogás removendo o  $H_2S$ , o  $CO_2$  e a umidade. As práticas mais utilizadas são: remoção de umidade, remoção de dióxido de carbono ( $CO_2$ ), remoção de  $H_2S$  e remoção de partículas [SALOMON, 2007], cujas descrições dos respectivos processos estão detalhadas a seguir.

### **5.3.1. Remoção de umidade**

Salomon (2007) afirma que a remoção de umidade pode ser feita com glicóis, com sílica gel, etc, e, dependendo da utilização final do gás será estabelecido o grau de umidade aceitável.

### **5.3.2. Remoção de Dióxido de Carbono $CO_2$**

Diferentes mecanismos conseguem separar alguns constituintes do gás, entre eles: absorção física, absorção química, adsorção em uma superfície contínua, separação por membranas, separação criogênica e separação a partir de conversão química (reações químicas).

Segundo Salomon (2007), o método de absorção física é um dos mais simples de lavagem do biogás. Neste processo o biogás é comprimido e alimentado no sentido ascendente no leito de uma coluna de absorção, onde a água pressurizada é pulverizada em sentido contrário ao biogás, do topo. O processo de absorção é contra corrente. Assim o  $CO_2$  e o  $H_2S$  são dissolvidos na água sendo coletados no fundo da torre de absorção. A água pode ser recirculada para a primeira lavagem do biogás na torre.

Já o método de absorção química envolve a formação de ligações químicas reversíveis entre o soluto e o solvente. Este processo consiste basicamente na introdução do gás na base da coluna de absorção enquanto a solução absorvedora, de 20 a 30 % em peso de carbonato de potássio ( $K_2CO_3$ ) é injetada no topo da coluna. A temperatura de operação é em torno de 110° C tanto para absorção como para a regeneração. A reação inversa na coluna de regeneração resulta na liberação de  $CO_2$  para atmosfera. A simples redução da pressão ao passar da coluna de absorção para a de regeneração libera parte do  $CO_2$ , o restante é retirado através da injeção de vapor no fundo da coluna de regeneração [SALOMON, 2007].

O processo de adsorção sobre uma superfície sólida envolve transferência do soluto do gás à superfície de um material sólido, onde se concentram principalmente em consequência das forças Van der Waals<sup>16</sup>. Os adsorventes comerciais são geralmente sólidos granular com uma área de superfície grande por unidade de volume. Dependendo do adsorvente utilizado no processo pode-se remover seletivamente ou simultaneamente o  $CO_2$ ,  $H_2S$ , umidade e outras impurezas do biogás [SALOMON, 2007].

Sobre o processo de separação por membranas, Salomon (2007) afirma que para o metano com alta pureza a permeabilidade deve ser alta. Uma membrana sólida construída de polímeros de acetato–celulose é de 20 e 60 vezes mais permeável para o  $CO_2$  e  $H_2S$ , respectivamente, do que para o  $CH_4$ . Ainda ressalta que, o fluxo de gás que atravessa a membrana aumenta proporcionalmente com a diferença de pressão parcial. Entretanto, a pressão máxima que a membrana pode suportar deve ser levada em consideração [GLUB *et al.*, 1991 apud SALOMON, 2007].

O método criogênico de purificação do biogás envolve a separação dos componentes do gás por condensação e destilação fracionária a baixas temperaturas. Neste processo o biogás é comprimido a aproximadamente 80 bar. O compressor utilizado é de múltiplos estágios com “*intercooling*”. O biogás é refrigerado por *chillers* e trocadores de calor acima de -45°C, condensando o  $CO_2$  que é removido e separado. Posteriormente, o  $CO_2$  é processado para recuperar o metano que é reciclado para a entrada de gás. Neste processo consegue-se obter 97% de metano puro [Hagen *et al.*, 2001 apud SALOMON, 2007].

O método de conversão química reduz as concentrações indesejáveis de alguns componentes do biogás em baixíssimos níveis, sendo utilizado, geralmente depois que a

---

<sup>16</sup> As forças de Van der Waals são forças de atração que atuam entre moléculas, átomos ou íons. Estas forças não ultrapassam, geralmente, a ordem de 2 kcal/mol e podem ser entendidas considerando as atrações como sendo de natureza elétrica. (INFOPÉDIA, 2014b).

remoção foi realizada por outros métodos. Um destes processos é a metanação (*methanation*), em que o CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> são convertidos cataliticamente em metano e água. O processo químico de conversão é extremamente caro e não é autorizado na maioria de aplicações do biogás (Glub *et al.*, 1991 apud Salomon, 2007). Há exigência de uma grande quantidade de hidrogênio puro, o que faz com que este processo seja geralmente inviável.

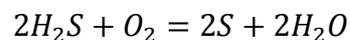
### 5.3.3. Remoção de H<sub>2</sub>S

O ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S) está sempre presente no biogás em diversas concentrações. Ele deve ser removido, pois pode causar corrosão no compressor, nos tanques de armazenamento e nos motores em geral (Wellinger *et al.*, 1999 apud Salomon, 2007). O H<sub>2</sub>S é corrosivo e tóxico, bem como, causa danos ao ambiente, pois durante a combustão é convertido em dióxido de enxofre. Também pode afetar o processo de digestão anaeróbia por inibição. Os principais processos de remoção de H<sub>2</sub>S utilizados podem ser divididos em duas categorias gerais: processo seco de oxidação e processos de oxidação na fase líquida.

Segundo Salomon (2007), o processo seco de oxidação remove o H<sub>2</sub>S do biogás através da conversão para enxofre ou óxidos de enxofre. É utilizado quando o teor de enxofre no gás é relativamente baixo e requer alta pureza.

Um dos métodos utilizados no processo seco de oxidação, conforme Salomon (2007), é a introdução de uma pequena quantidade de oxigênio (2-6%) no sistema de biogás com um compressor. Como consequência, o sulfeto no biogás é oxidado em enxofre reduzindo a concentração do H<sub>2</sub>S. A reação que ocorre é a apresentada na Equação 5.1

**Equação 5.1 - Reação de Oxidação de Sulfeto no biogás**



Este processo tem um baixo custo de investimento e operação e é relativamente simples. Não são necessários produtos químicos nem equipamentos especiais. Dependendo da temperatura, do tempo de reação e local onde o ar é adicionado, a concentração do H<sub>2</sub>S é reduzida em até 95%, menos do que 50 ppm. Entretanto deve-se ficar atento a quantidade de ar no biogás, que pode ser explosivo em uma escala de 6 -12%, dependendo da quantidade de metano no biogás [Wellinger *et al.*, 1999 apud SALOMON, 2007].

Outro método também utilizado para oxidação a seco é a adsorção utilizando óxidos de ferro, onde o  $H_2S$  reage com os hidróxidos e óxidos de ferro para formar sulfeto de ferro. O biogás passa através de *pellets* de óxidos de ferro e remove o  $H_2S$ . Quando estes *pellets* são completamente recobertos por enxofre eles são removidos para regeneração do enxofre. É um método simples, mas durante a regeneração ocorre perda de calor. Este processo é sensível á presença de água no biogás [SALOMON, 2007].

Já o caso dos processos de oxidação na fase líquida, Salomon (2007) afirma que são utilizados em tratamento de gases onde a concentração de  $H_2S$  é relativamente baixa, sendo os processos de absorção física e absorção química.

No processo de absorção física, o  $H_2S$  pode ser absorvido por um solvente, que pode ser a água. O consumo de água é relativamente alto para a quantidade pequena de  $H_2S$  absorvido. Para melhorar o processo algumas substâncias químicas podem ser adicionadas a água como o NaOH. Os subprodutos formados são sulfetos ou hidrossulfetos de sódio que não podem ser recuperados e devem ser tratados para sua disposição final [SALOMON, 2007].

Já a absorção química do  $H_2S$  pode ser feita com soluções de sais de ferro, tais como o cloreto de ferro. Este método é altamente eficaz na redução de altos níveis de  $H_2S$ . Os produtos formados são precipitados insolúveis.  $FeCl_2$  pode ser diretamente adicionado no digestor. Estes métodos de remoção de  $H_2S$  são mais apropriados para digestores anaeróbios de pequeno porte, mas todos os outros processos são economicamente viáveis em plantas de grande escala. Por este método a concentração final de  $H_2S$  chega a torno de 10 ppm [SALOMON, 2007].

#### **5.3.4. Remoção de Partículas**

Salomon (2007) afirma que devido ao fato da eficiência de retenção dos lavadores ser proporcional ao consumo de energia utilizada na sua operação, algumas unidades que trabalham com baixa perda de pressão no fluxo de gases são menos eficientes do que unidades que operam com perdas de pressão maiores. Os tipos mais comuns de lavadores são: lavadores tipo torre; lavadores centrífugos e lavadores venturi.

Os lavadores tipo torre são eficientes na coleta de particulados. As torres basicamente possuem uma grande superfície de contato e são projetadas para absorção de gases.

Funcionam com baixa perda de pressão. Seu funcionamento é o seguinte: o efluente gasoso entra por uma abertura na parte inferior do equipamento e escoar na direção do topo do lavador. A solução é atomizada sobre a superfície de contato e drenada por gravidade para ser recirculada, purificada parcialmente pela separação por sedimentação que ocorre no fundo do lavador. Quanto mais profunda a superfície de contato maior o tempo de contato entre o gás e o líquido aumentando sua eficiência. A velocidade do gás ideal é geralmente entre 0,6 – 1,2 m/s e o tamanho das gotas abaixo de 1,0 mm [SALOMON, 2007].

Nos lavadores centrífugos, o aumento da velocidade relativa entre as gotículas de líquido e a corrente gasosa, chamada de centrifugação do gás pode elevar a eficiência dos lavadores. O gás pode entrar tangencialmente no lavador e possível também colocar em seu interior uma série de aletas que promovem a movimentação em rotação do gás, fazendo com que ocorra esse efeito de centrifugação. As gotículas são bem menores nos lavadores centrífugos do que nas torres, podendo ocorrer a evaporação da água dentro do lavador. Para que não ocorra este problema costuma-se saturar os gases de umidade antes da sua entrada no lavador [SALOMON, 2007].

Já os lavadores Venturi caracterizam-se por uma grande perda de pressão no gás aumentando assim o custo operacional do Venturi em relação aos outros lavadores. O gás a ser tratado entra pela seção convergente do Venturi, e passa pela garganta, onde o fluxo de gás recebe um jato de água que se desintegra formando gotículas muito pequenas. Se o gás nesta região for saturado ou supersaturado de umidade, haverá condensação sobre as partículas na região de maior pressão do difusor aumentando a eficiência. A pressão volta a subir após a garganta, no difusor, mas não atinge o valor inicial [SALOMON, 2007].

#### **5.4. Utilização do Biogás**

Sendo um gás combustível, o biogás pode ser utilizado em diversas atividades domésticas e rurais. Dos usos finais do biogás, a combustão direta e a operação de motores de combustão interna são os mais comuns [DIAZ, 2006]. Na Tabela 5.4 é mostrado o consumo de biogás em diferentes usos.

**Tabela 5.4 - Consumo de biogás de acordo com sua utilização.**

<b>Utilização</b>	<b>Consumo</b>
Fogão	0,33 m <sup>3</sup> /dia/pessoa
Lampião	0,12 m <sup>3</sup> /h
Chuveiro	0,8 m <sup>3</sup> /banho
Motor de Combustão Interna	0,45 m <sup>3</sup> /hp/h
Aquecimento de Água a 100°C	0,08 m <sup>3</sup> /l
Incubadora	0,71 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> de volume interno/h
Geração de Energia Elétrica	0,62 m <sup>3</sup> /kWh

Fonte: NISHIMURA (2009).

#### 5.4.1. Compressão e Armazenamento de Biogás

Salomon (2007) afirma que o biogás contendo principalmente metano não pode ser facilmente armazenado e nem liquefeito a pressão e temperatura ambiente (temperatura crítica de -82°C e pressão 47,5 bar). A compressão é melhor no biogás limpo. Os sistemas de armazenamento mais comumente utilizados são apresentados na Tabela 5.5.

**Tabela 5.5 – Sistemas de Armazenamento de Biogás**

<b>Pressão</b>	<b>Estocagem</b>	<b>Material</b>
Baixa (0,138 – 0,414 bar)	Selo d'água	Aço
Baixa	Gás 'bag'	Plástico, vinil, lona (borracha)
Média (1,05 – 1,97 bar)	Tanques de propano e butano	Aço
Alta (200 bar)	Cilindros comerciais de gás	Aço

Fonte: Salomon, 2007.

#### 5.4.2. Medidas de Segurança para utilização do biogás

Segundo Salomon (2007) o principal perigo na utilização do biogás é quanto a explosões, devido a seus componentes quando o metano se mistura com o ar. A literatura recomenda que a concentração de metano seja mantida fora da faixa de 5-15% (em volume) e a de oxigênio inferior a 3-15%. A atenção maior deve se concentrar para não ocorrer a entrada de ar nas etapas de transporte, armazenamento ou tratamento. As principais medidas de segurança para os sistemas com biogás são:

- Evitar vazamentos utilizando materiais adequados para execução dos reatores, armazenamentos e transporte dos gases;
- Instalação de pára-raios;
- Treinamento regular do pessoal que opera no sistema de tratamento;

- Sinalização adequada nas áreas de maior perigo;
- Evitar aumento da temperatura do biogás nas etapas de armazenamento e transporte;
- Instalação de equipamentos corta-chamas na sucção de gases ou em setores em que se prevê a compressão dos gases;
- Os *flares* devem ser instalados longe de vias de circulação, cercados e equipados com dispositivos corta-chamas;
- Devem se prever drenos para a extração de vapores condensados da mistura de gases;
- Deve se fazer um monitoramento da composição do biogás;
- Critérios de segurança e execução feitas por empresas especializadas;
- Respeitar normas relativas a projeto de sistemas de gases combustíveis.

## **5.5. Alternativas para o Aproveitamento Energético de Biogás**

A energia liberada pela queima de metano contido no biogás pode ser extremamente útil ao homem, seja pelo uso direto do calor (para aquecimento, geração de vapor, secagem de materiais, etc.) ou da luz (iluminação de vias públicas), ou ainda, pela sua transformação em outra forma de energia, tais como: a elétrica (por meio de geradores e microturbinas específicas), a energia cinética (utilizando esse gás em motobombas e motores adaptados para tal), entre outras [ICLEI, 2010].

A seguir são apresentadas as alternativas mais utilizadas para o aproveitamento energético do biogás gerado em sistemas anaeróbicos de tratamento de efluentes urbanos.

### **5.5.1. Geração de Energia Elétrica**

Para gerar energia elétrica a partir do biogás, é necessário que ocorra sua combustão controlada, onde a energia química será transformada em térmica ou mecânica, que por sua vez, ativa um gerador que a converte em energia elétrica. Segundo ICLEI (2010), entre as tecnologias mais utilizadas atualmente para esse fim destacam-se os motores de combustão interna – Ciclo Otto e as microturbinas a gás.

### 5.5.1.1. Motor de combustão interna – ciclo Otto

Os motores de combustão interna são extensamente usados por poderem operar com diferentes tipos de combustíveis tanto líquidos como gasosos. São máquinas térmicas nas quais a energia química do combustível se transforma em trabalho mecânico, sendo que o fluido de trabalho consiste dos produtos da combustão da mistura ar-combustível, e a câmara de combustão e o próprio processo de combustão e estão integrados ao funcionamento geral de motor. Representam a tecnologia mais difundida dentre as máquinas térmicas, devido a sua simplicidade, robustez e alta relação potência/peso, o que faz com que estes acionadores sejam empregados em larga escala como elementos de propulsão para geração de eletricidade contínua, de back-up ou de carga de pico e para acionamento de bombas, compressores ou qualquer outro tipo de carga estacionária [SALOMON, 2007].

O motor ciclo Otto caracteriza-se por ter sua ignição por faísca e é o equipamento mais utilizado para queima do biogás, devido ao maior rendimento elétrico e menor custo, quando comparado às outras tecnologias. Para promover a queima de biogás em motores ciclo Otto são necessárias pequenas modificações nos sistemas de alimentação, ignição e taxa de compressão [ICLEI, 2010].

Motores a biogás de grande porte têm o inconveniente de serem importados, já que, no Brasil, a maior potência disponível é de cerca de 230 kW.

O rendimento destes motores é de aproximadamente 28 % e a geração de energia elétrica é realizada pelo grupo gerador, acoplado diretamente ao motor.

A Figura 5.1 apresenta motores ciclo Otto para biogás de, aproximadamente, 1 MW de potência.

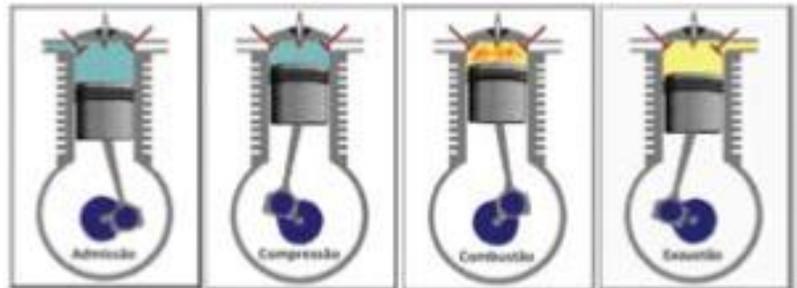


**Figura 5.1 - Motores Ciclo Otto para biogás**

Fonte: CENBIO, 2001.

Na Figura 5.2 observa-se o esquema do princípio de funcionamento de um motor ciclo Otto, dividido em quatro tempos, sendo [ICLEI, 2009]:

- **Admissão** (primeiro tempo): abertura da válvula de admissão através da qual é injetada ao cilindro a mistura ar-combustível e o pistão é empurrado para baixo com o movimento do virabrequim;
- **Compressão** (segundo tempo): fechamento da válvula de admissão e compressão da mistura (ordem de 10:1) e conforme o pistão sobe (antes de chegar a parte superior) a vela gera uma faísca;
- **Combustão** (terceiro tempo): onde ocorre a explosão da mistura e expansão dos gases quentes formados na explosão. Essa expansão dos gases promove uma determinada força, permitindo que o pistão desça;
- **Exaustão** (quarto tempo): abertura da válvula de escape através da qual os gases são expulsos pelo pistão.



**Figura 5.2 - Esquema do funcionamento de um motor ciclo Otto.**

Fonte: ICLEI, 2009.

As principais características desses sistemas, segundo Salomon (2007), são:

- Utilização para pequenas e médias demandas elétricas, de centenas de kW até dezenas de MW.
- Possibilidade de utilizar diversos tipos de combustíveis líquidos ou gasosos tais como óleo diesel, óleo pesado, gás natural, biogás ou ainda uma mistura deles. Isso é bastante vantajoso, pois o sistema torna-se muito flexível.
- A relação energia térmica/energia mecânica é menor que os outros acionadores primários, o que pode ser interessante para cogeração no setor terciário.
- A eficiência dos motores de combustão interna não é tão sensível às condições ambiente locais (temperatura, pressão e umidade) quanto são as turbinas a gás.
- As instalações são modulares e flexíveis, com isto o tempo de construção de uma central é curto e a entrada em operação (*start up*) é rápida. Além de serem apropriadas para as condições de partidas e paradas diárias.
- Possui alta relação potência/peso.

- Requerem manutenções mais frequentes.

Um estudo realizado por Lombard *et al.* (2004) citado por Salomon (2007), a eficiência do motor decresce drasticamente quando o teor de CH<sub>4</sub> é menor que 50%. O custo de manutenção é fixo (até mesmo quando utilizado com cargas parciais), ocorrem perdas auxiliares constantes quando em cargas parciais, o operador tem que reiniciar manualmente a máquina e o “*start up*” é muito sensível ao conteúdo do metano.

De acordo com Salomon (2007), atualmente os motores de combustão interna já vêm preparados para queimar o biogás com diferentes teores de metano, dióxido de carbono e ácido sulfídrico. Os conjuntos moto geradores de energia elétrica representam um importante avanço na geração de energia elétrica limpa e renovável, a partir do biogás. Cada container (12 m de comprimento) vem equipado com os seguintes itens (Brasmetano, 2007 apud Salomon, 2007):

- Motor a Biogás, turbo alimentado com *intercooler*, de fabricação nacional;
- Sistema de alimentação e ignição gerenciadas eletronicamente;
- Geradores sem escovas;
- Painel de comando manual;
- Unidade de auto alimentação de biogás de acionamento direto pelo motor;
- Filtros desumidificadores;
- Unidade de aquecimento/controla de temperatura do Biogás, incorporado à Unidade de auto alimentação;
- Unidade de resfriamento, controle da temperatura do motor;
- Unidade de segurança, composta de válvulas de bloqueio automáticas.

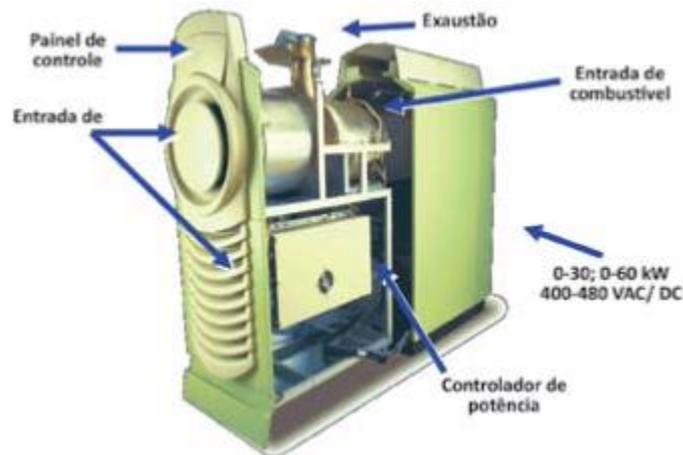
#### 5.5.1.2. Microturbinas a gás

As microturbinas evoluíram das aplicações da turbina nas indústrias aeroespacial e automotiva, para as aplicações em sistemas elétricos de potência apresentando diversas inovações tecnológicas como o uso de mancais a ar, de ligas metálicas e cerâmicas resistentes a altas temperaturas e de componentes eletrônicos de alta potência [ICLEI, 2009]

As microturbinas são turbinas de combustão que operam na faixa de 30 kW a 1 MW, com elevada velocidade de rotação e diversos tipos de combustível, entre eles o biogás [ICLEI, 2010].

A utilização de um gás de baixo poder calorífico (gás de biomassa) em microturbinas requer duas considerações: a remodelação da microturbina para queima de um gás pobre, especificamente a câmara de combustão, e uma limpeza do gás antes desta queima. A maioria destas unidades geradoras usa um recuperador com a finalidade de aproveitar o calor dos gases de exaustão para aquecer o ar da combustão. Sem o recuperador a eficiência global da Microturbina está entre 15 e 17 % enquanto que, utilizando um recuperador eficiente (~85%), a eficiência pode se duplicar e atingir valores de 33 % [SALOMON, 2007].

Na Figura 5.3 está demonstrado o desenho esquemático de uma microturbina a gás.



**Figura 5.3 – Desenho esquemático de uma microturbina a gás**

Fonte: ICLEI, 2009

Dentre as principais vantagens da utilização de microturbinas a biogás, de acordo com Salomon (2007), estão:

- Capacidade para operar um gás utilizando baixo conteúdo de metano:  $CH_4 > 35\%$  sem afetações na sua eficiência.
- Bom comportamento a temperaturas entre  $-10^{\circ}C$  a  $45^{\circ}C$ .
- Boa eficiência 30 a 33 % (baseada no PCI).
- Baixas emissões ( $< 10$  ppm de  $NO_x$ ).
- Possibilidade de cogeração.
- Excelente modularidade.

Desvantagens:

- A eficiência a cargas parciais é baixa.
- Limitada experiência de utilização.
- O uso de rolamentos a ar reduz os custos de manutenção, mas, é imprescindível o uso de filtros de ar.

Existem disponíveis no mercado microturbinas de 30, 65, 200, 600, 800 e 1.000 kW. Portanto, dependendo do potencial de geração de energia elétrica, para cada microturbina o investimento varia de R\$ 195.000,00 para 30 kW, a R\$ 3.200.000,00 para 1.000 kW (1 MW). Os valores referentes ao sistema de pré-tratamento do biogás antes de alimentar a microturbina não foram computados [ICLEI, 2009]

No Brasil está em execução o projeto da ETE da SABESB, localizada em Barueri na grande São Paulo, em parceria com o CENBIO (Centro Nacional de Referência em Biomassa) uma planta piloto visando o aproveitamento do biogás como combustível em microturbinas a gás para a geração de energia elétrica. Os primeiros levantamentos indicaram uma produção média de 24.000m<sup>3</sup> (tratamento secundário) por dia de biogás chegando a 28.000m<sup>3</sup> em alguns períodos, com um PCI de 5300 kcal/Nm<sup>3</sup> (22,2 MJ/Nm<sup>3</sup>) [SALOMON, 2007].

### 5.5.2. Geração de Energia Térmica

Entre os possíveis usos energéticos do biogás, destacam-se o uso direto em aquecedores a gás para produção de água quente para condicionamento ambiental ou para calor de processo, secagem de grãos em propriedades rurais, secagem de lodo em ETEs, queima em caldeiras, no aquecimento de granjas, cocção, iluminação a gás, tratamento de chorume, secagem de lodos, entre outros [ICLEI, 2010].

Um dos processos utilizados para a geração de energia térmica são os sistemas de ciclo a vapor. Estes sistemas funcionam de acordo com o ciclo Rankine, que consiste basicamente em caldeira, turbina, condensador e bomba (Figura 5.4).

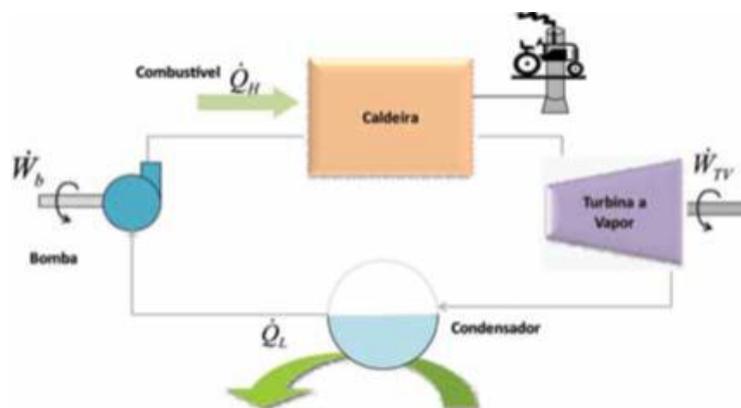


Figura 5.4 - Sistema de ciclo a vapor – Ciclo Rankine.

Fonte: ICLEI, 2010.

Neste ciclo é utilizado calor proveniente da combustão de determinado combustível, em uma caldeira, para geração de vapor, que poderá ser utilizado para processos industriais, aquecimento direto ou geração de energia elétrica, por meio do acionamento de uma turbina a vapor acoplada a um gerador [ICLEI, 2010].

Conforme afirmado por Salomon (2007), algumas considerações devem ser feitas para a combustão direta do gás em caldeiras, a fim de assegurar o funcionamento adequado do sistema. A adaptação desses equipamentos para uso do biogás pode ser realizada com pequenas modificações, buscando a adequação às características do novo combustível.

Os níveis de umidade do gás devem ser controlados com a instalação de purgadores e linhas de condensado para impedir danos aos equipamentos e problemas na operação das caldeiras. A vazão de biogás deve ser aumentada com a instalação de uma válvula de controle do combustível mais adequada, uma vez que o biogás possui menor quantidade de metano que o gás natural, sendo necessária uma maior quantidade do mesmo. A instabilidade da chama, decorrente da menor concentração de metano e das flutuações na composição do biogás pode ser controlada com a instalação de sensores ultravioletas que monitoram a chama da caldeira impedindo que esta apague ou com o uso de um sistema de combustível auxiliar como *backup* em situações de variação na chama [SALOMON, 2007].

A corrosão devido à umidade e ao ácido sulfídrico presentes no biogás é outro problema nas caldeiras que usam este gás combustível, uma vez que compostos de cloro nos gases de exaustão comprometem pré-aquecedores de ar, dutos e outros componentes do equipamento. O revestimento do pré-aquecedor e da chaminé com material anticorrosivo, o controle da temperatura dos gases de exaustão acima do ponto de orvalho e a circulação adequada da água podem reduzir os efeitos corrosivos [SALOMON, 2007].

### **5.5.3. Uso veicular**

Apesar de o biogás poder ser utilizado em qualquer aplicação destinada ao gás natural, existe a necessidade de remoção de alguns de seus componentes quando for utilizado para uso veicular. Os principais componentes a serem removidos são: umidade, ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e partículas [ICLEI, 2010].

No processo de purificação do biogás é importante retirar o  $\text{CO}_2$  até que a porcentagem de metano fique próxima à do gás natural, para que possa ser utilizado para os mesmos fins. Segundo a ANP (Agência Nacional de Petróleo) na Portaria 128, de 28 de agosto de 2001, a porcentagem mínima de metano no gás natural para uso veicular deve ser de 86% e a máxima de  $\text{CO}_2$  é de 5% [ICLEI, 2010].

A remoção de  $\text{CO}_2$  do biogás é uma operação unitária em que um componente da mistura é dissolvido em um líquido. Esta operação pode ser química ou física. Entre os métodos químicos estão a absorção em carbonato de potássio, hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio, entre outros. Entre os métodos físicos, destacam-se os crivos moleculares, separação por membranas e colunas de absorção. Os métodos físicos são os mais conhecidos e utilizados devido à fácil regeneração dos reagentes utilizados na absorção [ICLEI, 2010].

Existem diversos solventes que podem ser utilizados para a remoção do  $\text{CO}_2$ . Em se tratando da solubilidade, o polietileno glicol é uma das opções e que, atualmente, é a mais utilizada devido à alta solubilidade do  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{S}$ . Quando é analisado o fator custo, a melhor opção a ser utilizada é a água, pois o  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{S}$  também são solúveis em água [ICLEI, 2010].

#### **5.5.4. Iluminação a gás**

Uma das possibilidades de utilização do biogás é para iluminação. Este sistema permite a iluminação do local onde é implementado, utilizando o biogás como combustível. A iluminação acontece com a queima direta do biogás [ICLEI, 2010].

É importante ressaltar que os postes de iluminação não devem ser instalados próximos aos dutos de biogás, pois este é um gás altamente explosivo e se houver algum tipo de vazamento podem ocorrer explosões [ICLEI, 2010].

A necessidade da quantidade de postes e de pontos luminosos de cada poste depende do espaço disponível para instalá-lo e da quantidade de biogás disponível para ser queimado neste sistema. Na Figura 5.5 apresenta-se um sistema de iluminação a gás.



**Figura 5.5 – Sistema de Iluminação a gás**

Fonte: ICLEI, 2010Figura 5.5

## 6. ANÁLISE TARIFÁRIA

A compreensão da forma como é cobrada a energia elétrica e como são calculados os valores apresentados nas faturas de energia elétrica, emitidas mensalmente pelas concessionárias de energia elétrica, é fundamental para a tomada de decisão em relação a projetos de eficiência energética [ELETROBRÁS, 2011].

No caso da indústria, que conforme afirmado pela CNI [Guardia *et al*, 2010], seu principal insumo é a energia e o setor industrial responde por 39,6% de todo o consumo de energia no Brasil. Por se tratar de grande consumidor, a redução nos gastos com energia tem impacto direto nos custos da produção industrial.

Segundo Eletrobrás (2011), através da análise, por um período de no mínimo vinte e quatro meses, das informações de consumo (kWh) e demanda (kW), contidas nas faturas de energia elétrica, é possível estudar a relação entre hábitos e consumo de uma dada instalação: comercial, residencial ou industrial.

O resultado obtido com este tipo de estudo é importante também para verificar se a relação contratual entre o cliente e a empresa concessionária está adequada e obter uma base de dados para comparação futura do consumo de energia elétrica.

A existência de alternativas de enquadramento tarifário permite alguns consumidores escolher o enquadramento e valor contratual de demanda que resultam em menor despesa com a energia elétrica. A decisão, porém, só deve ser tomada após a adequada verificação dos padrões de consumo e demanda nos segmentos horários (ponta e fora de ponta) e sazonais (períodos seco e úmido).

Além de revelar relações entre hábitos e consumo de energia elétrica, úteis ao se estabelecer rotinas de combate ao desperdício, a análise da fatura de energia elétrica é a base para a avaliação econômica dos projetos de eficiência energética.

A análise pode ser dividida em duas partes:

- Correção do fator de potência;
- Enquadramento tarifário e determinação do valor da demanda contratual.

A seguir, apresentam-se as informações e definições necessárias a realização da análise tarifária de uma instalação industrial conforme previsto na Resolução Normativa ANEEL nº 479/2012 e nº 569/2013.

## **6.2. Classificação dos consumidores**

No Brasil, as unidades consumidoras são classificadas em dois grupos tarifários: Grupo A e Grupo B. O agrupamento é definido, principalmente, em função do nível de tensão em que são atendidos e também, como consequência, em função da demanda (kW).

As unidades consumidoras atendidas em tensão abaixo de 2.300 volts são classificadas no Grupo B (baixa tensão). Caracterizam-se pela tarifa monômnia<sup>17</sup> e são subdivididos nos seguintes grupos:

- Subgrupo B1 – residencial;
- Subgrupo B2 – rural;
- Subgrupo B3 – demais classes;
- Subgrupo B4 – iluminação pública.

Os consumidores atendidos em alta tensão, em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, como indústrias, shopping centers e alguns edifícios comerciais, são classificados no Grupo A. São caracterizados pela tarifa binômnia<sup>18</sup> e subdivididos de acordo com a tensão de atendimento nos seguintes subgrupos:

- Subgrupo A1 – tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
- Subgrupo A2 – tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;;
- Subgrupo A3 – tensão de fornecimento de 69 kV;;
- Subgrupo A3a – tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;;
- Subgrupo A4 – tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV;
- Subgrupo AS – tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

---

<sup>17</sup> Tarifa monômnia: tarifa de fornecimento de energia elétrica, constituída por preços aplicáveis unicamente ao consumo de energia elétrica ativa (kWh) [ELETROBRÁS, 2011].

<sup>18</sup> Tarifa binômnia: Conjunto de tarifas de fornecimento, constituído por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa (kWh) e à demanda faturável (kW) [ELETROBRÁS, 2011].

### 6.3. Modalidade Tarifária

Define-se modalidade tarifária como sendo o conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e demanda de potência ativas.

Na Tabela 6.1 estão relacionadas as características de aplicação das modalidades tarifárias segundo a Resolução Normativa da ANEEL nº 479/2012.

**Tabela 6.1- Características das modalidades tarifárias segundo a REN ANEEL 479/2012**

<b>modalidade tarifária</b>	<b>demanda de potência (kW)</b>	<b>Consumo de energia (MWh):</b>
<b>Convencional monômnia</b>	N/A	Tarifa única para consumo de energia (R\$/MWh).
<b>Convencional binômnia</b>	Tarifa única para a demanda de potência (R\$/kW);	Tarifa única para consumo de energia (R\$/MWh).
<b>Horária Azul</b>	a) Tarifa para o posto tarifário ponta (R\$/kW); b) Tarifa para o posto tarifário fora de ponta (R\$/kW)	a) Tarifa para o posto tarifário fora de ponta (R\$/kW) b) Tarifa para o posto tarifário fora de ponta em período úmido (R\$/MWh); c) Tarifa para o posto tarifário ponta em período seco (R\$/MWh) d) Tarifa para o posto tarifário fora de ponta em período seco (R\$/MWh).
<b>Horária verde</b>	a) Tarifa única (R\$/kW);	a) Tarifa para o posto tarifário fora de ponta (R\$/kW) b) Tarifa para o posto tarifário fora de ponta em período úmido (R\$/MWh); c) Tarifa para o posto tarifário ponta em período seco (R\$/MWh) d) Tarifa para o posto tarifário fora de ponta em período seco (R\$/MWh).
<b>Horária branca</b>	N/A	a) Tarifa (R\$/MWh) para o posto tarifário ponta; b) Tarifa (R\$/MWh) para o posto tarifário intermediário; c) Tarifa (R\$/MWh) para o posto tarifário fora de ponta.

De acordo com a demanda e a tensão de fornecimento estabelecidos na REN ANEEL nº 479/2012 e REN ANEEL 569/2013 é possível construir a Tabela 6.2.

**Tabela 6.2 – Opções de enquadramento tarifário para o Grupo A**

<b>Características do consumidor</b>	<b>Modalidade Tarifária</b>
Tensão $\geq$ 69kV e qualquer demanda	Horária Azul
Tensão < 69kV e demanda $\geq$ 300 kW	Horária Azul ou Horária Verde
Tensão < 69kV e demanda < 300 kW	Horária Azul, Horária Verde ou Convencional Binômnia

Quando os montantes de demanda de potência ativa ou de uso do sistema de distribuição – MUSD medidos excederem em mais de 5% (cinco por cento) os valores contratados a cobrança pela ultrapassagem deve ser adicionada ao faturamento regular, conforme a Equação 6.1

#### Equação 6.1 – Cobrança de Tarifa de Ultrapassagem de demanda

$$D_{ULTRAPASSAGEM}(p) = [PAM_{(p)} - PAC_{(p)}] \times 2 \times VR_{DULT}(p)$$

onde:

$D_{ULTRAPASSAGEM}(p)$  = valor correspondente à demanda de potência ativa ou MUSD excedente, por posto tarifário “p”, quando cabível, em Reais (R\$);

$PAM(p)$  = demanda de potência ativa ou MUSD medidos, em cada posto tarifário “p” no período de faturamento, quando cabível, em quilowatt (kW);

$PAC(p)$  = demanda de potência ativa ou MUSD contratados, por posto tarifário “p” no período de faturamento, quando cabível, em quilowatt (kW);

$VR_{DULT}(p)$  = valor de referência equivalente às tarifas de demanda de potência aplicáveis aos subgrupos do grupo A ou as TUSD-Consumidores-Livres; e

$p$  = indica posto tarifário ponta ou fora de ponta para as modalidades tarifárias horárias ou período de faturamento para a modalidade tarifária convencional binômia.

#### 6.4. A Energia Reativa e o Fator de Potência

A energia elétrica é composta de duas parcelas distintas: energia reativa e energia ativa. A energia ativa é responsável pela execução de tarefas, enquanto que a energia reativa é a responsável pela formação de campos magnéticos, necessário ao funcionamento de alguns aparelhos que possuem motor (geladeira, freezer, ventilador, máquinas de lavar, sistemas de climatização, escada rolante e etc.) ou indutor (reator eletromagnético utilizado nas luminárias com lâmpadas fluorescentes) [ELETROBRÁS, 2011].

Na Figura 6.1 observa-se um vagão que é tracionado para se deslocar sobre os trilhos por ação de uma força não paralela à direção do deslocamento.

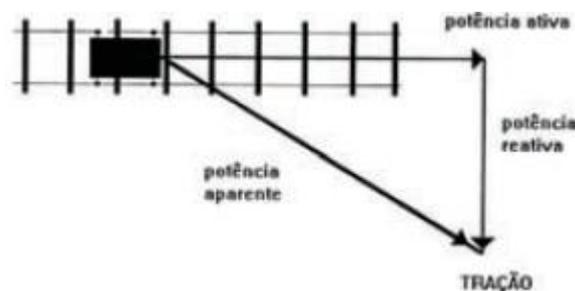


Figura 6.1 - Triângulo de Potência

Fonte: Eletrobrás, 2011

O esforço de tração representa a potência aparente, simbolizada por  $S$ , do sistema (kVA). A componente de força paralela aos trilhos é a que realiza trabalho útil, representando a potência ativa ( $P$ ) do sistema em kW. A componente ortogonal a esta última não realiza trabalho, causando um aumento da potência aparente para se obter a mesma potência ativa que seria necessária à locomoção do vagão caso a força de tração fosse aplicada em direção paralela aos trilhos. Esta representa a potência reativa ( $Q$ ) em kVAr [ELETROBRÁS, 2011]

A relação entre a potência ativa e a potência aparente é denominada fator de potência. Na analogia acima, nota-se que o fator de potência é na realidade a tangente do ângulo formado entre a força de tração e os trilhos. Quanto menor for este ângulo, menor será a componente reativa do sistema, e tanto mais o fator de potência irá se aproximar do valor unitário [ELETROBRÁS, 2011].

A energia reativa, embora não se possa classificá-la de inútil, não realiza trabalho útil e produz perdas por provocar aquecimento nos condutores. Ela circula entre a fonte e a carga, ocupando um “espaço” no sistema elétrico que poderia ser utilizado para fornecer mais energia ativa. A energia reativa tem como unidades de medida usuais o varh e o kVArh (que corresponde a 1000 varh) e a potência reativa a unidade de var ou kVAr.

O limite é indicado de forma indireta, através de um parâmetro denominado ‘fator de potência’, que reflete a relação entre as energias ativa e reativa consumidas. De acordo com a Resolução Normativa ANEEL 479/2012, o fator de potência de referência “ $f_R$ ”, indutivo ou capacitivo, tem como limite mínimo permitido, para as unidades consumidoras do grupo A, o valor de 0,92.

Quando o “fator de potência” é inferior a 0,92, é cobrada a utilização de energia e demanda de potência reativa na fatura de energia elétrica, como Consumo de Energia Reativa Excedente e Demanda Reativa Excedente.

Segundo a Resolução Normativa ANEEL 576/2013, aos montantes de energia elétrica e demanda de potência reativos que excederem o limite permitido, aplicam-se as cobranças de excedentes, a serem adicionadas ao faturamento regular de unidades consumidoras do grupo A, incluídas aquelas que optarem por faturamento com aplicação da tarifa do grupo B desde que atendam a pelo menos um dos seguintes critérios:

- I – a potência nominal total dos transformadores for igual ou inferior a 112,5 kVA;
- II – a potência nominal total dos transformadores for igual ou inferior a 750 kVA, se classificada na subclasse cooperativa de eletrificação rural;

III – a unidade consumidora se localizar em área de veraneio ou turismo cuja atividade seja a exploração de serviços de hotelaria ou pousada, independentemente da potência nominal total dos transformadores; ou

IV – quando, em instalações permanentes para a prática de atividades esportivas ou parques de exposições agropecuárias, a carga instalada dos refletores utilizados na iluminação dos locais for igual ou superior a 2/3 (dois terços) da carga instalada total.

A ocorrência de excedente de reativo é verificada pela concessionária através do fator de potência mensal ou do fator de potência horário. O fator de potência mensal é calculado com base nos valores mensais de energia ativa (“kWh”) e energia reativa (“kVARh”). O fator de potência horário é calculado com base nos valores de energia ativa (“kWh”) e de energia reativa (“kVARh”) medidos de hora em hora [WEG, 2010].

#### **6.4.1. Consequências e Causas de um Baixo Fator de Potência**

Além da cobrança da energia reativa gerar um custo desnecessário na fatura de energia elétrica, o consumo desta energia reativa é uma indicação de que as instalações estão operando de forma irregular com a grande possibilidade de danos elétricos devido às consequências relacionadas a seguir.

##### **6.4.1.1. Perdas na Instalação**

As perdas de energia elétrica ocorrem em forma de calor e são proporcionais ao quadrado da corrente total ( $I^2.R$ ). Como essa corrente cresce com o excesso de energia reativa, estabelece-se uma relação entre o incremento das perdas e o baixo fator de potência, provocando o aumento do aquecimento de condutores e equipamentos [WEG, 2010].

##### **6.4.1.2. Quedas de Tensão**

O aumento da corrente devido ao excesso de energia reativa leva a quedas de tensão acentuadas, podendo ocasionar a interrupção do fornecimento de energia elétrica e a sobrecarga em certos elementos da rede. Esse risco é sobretudo acentuado durante os períodos nos quais a rede é fortemente solicitada. As quedas de tensão podem provocar ainda, a diminuição da intensidade luminosa das lâmpadas e aumento da corrente nos motores [WEG, 2010].

### **6.4.1.3. Subutilização da Capacidade Instalada**

A energia reativa, ao sobrecarregar uma instalação elétrica, inviabiliza sua plena utilização, condicionando a instalação de novas cargas a investimentos que seriam evitados se o fator de potência apresentasse valores mais altos. O “espaço” ocupado pela energia reativa poderia ser então utilizado para o atendimento de novas cargas.

Os investimentos em ampliação das instalações estão relacionados principalmente aos transformadores e condutores necessários. O transformador a ser instalado deve atender à potência total dos equipamentos utilizados, mas devido a presença de potência reativa, a sua capacidade deve ser calculada com base na potência aparente das instalações.

Também o custo dos sistemas de comando, proteção e controle dos equipamentos cresce com o aumento da energia reativa. Da mesma forma, para transportar a mesma potência ativa sem o aumento de perdas, a seção dos condutores deve aumentar na medida em que o fator de potência diminui.

## **6.5. Faturamento do Grupo A**

### **6.5.1. Faturamento de Demanda e Energia Ativa**

O faturamento de unidade consumidora do grupo A, observadas as respectivas modalidades, deve ser realizado observando-se o disposto na REN ANEEL 479/2012.

Para a demanda faturável um único valor, correspondente ao maior valor dentre os definidos a seguir:

- Demanda contratada ou demanda medida, exceto para unidade consumidora da classe rural ou reconhecida como sazonal;
- Demanda medida no ciclo de faturamento ou 10% (dez por cento) da maior demanda medida em qualquer dos 11 (onze) ciclos de faturamento anteriores, no caso de unidade consumidora da classe rural ou reconhecida como sazonal.

Para o consumo de energia elétrica ativa, utilizar a Equação 6.2, e, para consumidores especiais ou livres, quando o montante de energia elétrica ativa medida for maior que o produto do número de horas do ciclo pelo limite estabelecido para a energia elétrica ativa

contratada, fixado em  $MW_{\text{médio}}$ , o faturamento da energia elétrica ativa deve ser calculado pela Equação 6.3.

**Equação 6.2 – Consumo de energia elétrica ativa**

$$FEA(p) = EEAM(p) \times TE_{COMP}(p)$$

**Equação 6.3 - Consumo de energia elétrica ativa para consumidores especiais ou livres**

$$FEA(p) = MW_{\text{médio}}_{CONTRATADO} \times HORAS_{CICLO} \times \frac{EEAM(p)}{EEAM_{CICLO}} \times TE_{COMP}(p)$$

Onde:

$FEA(p)$  = faturamento da energia elétrica ativa, por posto tarifário “p”, em Reais (R\$);

$EEAM(p)$  = montante de energia elétrica ativa medido em cada posto tarifário “p” do ciclo de faturamento, em megawatt-hora (MWh);

$TE_{COMP}(p)$  = para os consumidores especiais ou livres com Contrato de Compra de Energia Regulada - CCER celebrado, tarifa de energia “TE” das tarifas de fornecimento, por posto tarifário “p”, aplicáveis aos subgrupos do grupo A, em Reais por megawatt-hora (R\$/MWh) ou, para os demais unidades consumidoras, a tarifa final de energia elétrica ativa homologada por posto tarifário “p”;

$EEAM_{CICLO}$  = montante de energia elétrica ativa medido no ciclo de faturamento, em megawatt-hora (MWh);

$MW_{\text{médio}}_{CONTRATADO}$  = limite estabelecido para a energia elétrica ativa contratada, fixado em  $MW_{\text{médio}}$  para cada ciclo de faturamento; e

$p$  = indica posto tarifário, ponta ou fora de ponta, para as modalidades tarifárias horárias.

### 6.5.2. Faturamento de Consumo e Demanda de Reativo Excedente

Para unidade consumidora que possua equipamento de medição apropriado, incluída aquela cujo titular tenha celebrado o Contrato de Uso do Sistema de Distribuição - CUSD, os valores correspondentes à energia elétrica e demanda de potência reativas excedentes são apurados conforme as expressões descritas na Equação 6.4.

**Equação 6.4 - Faturamento de Consumo e Demanda de Reativo Excedente com equipamento de medição**

$$E_{RE} = \sum_{T=1}^{n1} \left[ EEAM_T \times \left( \frac{f_R}{f_T} - 1 \right) \right] \times VR_{ERE}$$

$$D_{RE}(p) = \left[ MAX_{T=1}^{n2} \left( PAM_T \times \frac{f_R}{f_T} \right) - PAF_{(p)} \right] \times VR_{DRE}$$

onde:

$E_{RE}$  = valor correspondente à energia elétrica reativa excedente à quantidade permitida pelo fator de potência de referência “ $f_R$ ”, no período de faturamento, em Reais (R\$);

$EEAM_T$  = montante de energia elétrica ativa medida em cada intervalo “ $T$ ” de 1 (uma) hora, durante o período de faturamento, em megawatt-hora (MWh);

$f_R$  = fator de potência de referência igual a 0,92;

$f_T$  = fator de potência da unidade consumidora, calculado em cada intervalo “ $T$ ” de 1 (uma) hora, durante o período de faturamento.

$VR_{ERE}$  = valor de referência equivalente à tarifa de energia “TE” da bandeira verde aplicável ao subgrupo B1, em Reais por megawatt-hora (R\$/MWh);

$DRE(p)$  = valor, por posto tarifário “ $p$ ”, correspondente à demanda de potência reativa excedente à quantidade permitida pelo fator de potência de referência “ $f_R$ ” no período de faturamento, em Reais (R\$);

$PAM_T$  = demanda de potência ativa medida no intervalo de integralização de 1 (uma) hora “ $T$ ”, durante o período de faturamento, em quilowatt (kW);

$PAF_{(p)}$  = demanda de potência ativa faturável, em cada posto tarifário “ $p$ ” no período de faturamento, em quilowatt (kW);

$VR_{DRE}$  = valor de referência, em Reais por quilowatt (R\$/kW), equivalente às tarifas de demanda de potência - para o posto tarifário fora de ponta - das tarifas de fornecimento aplicáveis aos subgrupos do grupo A para a modalidade tarifária horária azul e das TUSD-Consumidores-Livres, conforme esteja em vigor o Contrato de Fornecimento ou o CUSD, respectivamente;

$MAX$  = função que identifica o valor máximo da equação, dentro dos parênteses correspondentes, em cada posto tarifário “ $p$ ”;

$T$  = indica intervalo de 1 (uma) hora, no período de faturamento;

$p$  = indica posto tarifário ponta ou fora de ponta para as modalidades tarifárias horárias ou período de faturamento para a modalidade tarifária convencional binômia;

$n1$  = número de intervalos de integralização “T” do período de faturamento para os postos tarifários ponta e fora de ponta;

$n2$  = número de intervalos de integralização “T”, por posto tarifário “p”, no período de faturamento.

A unidade consumidora que não possua equipamento de medição apropriado que permita a aplicação da Equação 6.4, os valores correspondentes à energia elétrica e demanda de potência reativas excedentes são apurados conforme a Equação 6.5.

**Equação 6.5 - Faturamento de Consumo e Demanda de Reativo Excedente sem equipamento de medição**

$$E_{RE} = EEAM \times \left( \frac{f_R}{f_M} - 1 \right) \times VR_{ERE}$$

$$D_{RE} = \left( PAM \times \frac{f_R}{f_M} - PAF \right) \times VR_{DRE}$$

Onde:

$E_{RE}$  = valor correspondente à energia elétrica reativa excedente à quantidade permitida pelo fator de potência de referência, no período de faturamento, em Reais (R\$);

$EEAM$  = montante de energia elétrica ativa medida durante o período de faturamento, em megawatt-hora (MWh);

$f_R$  = fator de potência de referência igual a 0,92;

$f_M$  = fator de potência indutivo médio da unidade consumidora, calculado para o período de faturamento;

$VR_{ERE}$  = valor de referência equivalente à tarifa de energia "TE" da bandeira verde aplicável ao subgrupo B1, em Reais por megawatt-hora (R\$/MWh);

$DRE$  = valor correspondente à demanda de potência reativa excedente à quantidade permitida pelo fator de potência de referência, no período de faturamento, em Reais (R\$);

$PAM$  = demanda de potência ativa medida durante o período de faturamento, em quilowatt (kW);

$PAF$  = demanda de potência ativa faturável no período de faturamento, em quilowatt (kW); e

$VR_{DRE}$  = valor de referência, em Reais por quilowatt (R\$/kW), equivalente às tarifas de demanda de potência - para o posto tarifário fora de ponta - das tarifas de fornecimento aplicáveis aos subgrupos do grupo A para a modalidade tarifária horária azul.

## **7. METODOLOGIA**

Para analisar a viabilidade de utilização do biogás como fonte de energia renovável para promover a eficiência energética do processo produtivo de indústrias de bebidas, adotou-se a indústria “A” como estudo de caso, cuja planta de produção e envase de refrigerantes, situada no estado de Mato Grosso do Sul-MS, entrou em operação desde dezembro/2013.

### **7.2. Caracterização da empresa**

A planta possui uma área total de 16.937 m<sup>2</sup> e área construída de 3.814 m<sup>2</sup>. Na Figura 7.1 observa-se a distribuição da planta baixa da indústria compreendendo: área administrativa, sala de aroma, sala de açúcar, sala de armazenamento de açúcar, laboratório, produção, câmara fria, sala de manutenção, sala de estoque de embalagens, depósito, banheiros e armazenagem.

Situada em área industrial, a região do empreendimento não conta com a rede de distribuição de água da empresa de saneamento responsável pelo abastecimento da cidade, nem com a rede pública de coleta de esgoto para o recebimento de seus efluentes.

Neste caso o abastecimento de água é feito por poço tubular profundo e, o efluente tratado é lançado diretamente no Córrego Imbirussu, atendendo aos parâmetros legais da Resolução nº 430 CONAMA.

O local também não é atendido por sistema de drenagem urbana, porém, o empreendimento é dotado de sistemas de retenção das águas pluviais conforme diretrizes estabelecidas no licenciamento ambiental. Desta forma, capta-se esta água da área impermeável do terreno para ser lançada no pátio e escoar por um meio fio até uma canaleta de captação, para então ser despejada em uma lagoa de infiltração de 157 m<sup>3</sup> de volume útil.



**Figura 7.1 - Planta baixa da indústria**

Fonte: retirado de A3 Projetos e Consultoria Ambiental, 2012

**Legenda:**

1. Área administrativa;	5. Laboratório;	9. Sala de estoque de embalagens;
2. Sala de aroma;	6. Produção;	10. Depósito e banheiros;
3. sala de açúcar/xarope;	7. câmara fria;	11. Armazenagem
4. sala de armazenamento de açúcar;	8. Sala de manutenção;	

A estimativa de produção utilizada no projeto em 2012 considerou a produção de refrigerantes, alcoólicos destilados, alcoólicos fermentados e suco, conforme são apresentados na Tabela 7.1. Atualmente somente estão sendo produzidos refrigerantes, chegando a média mensal de 840.000 litros. Existe projeção de iniciar o envase de energéticos e suco/bebida mista ainda em 2014.

**Tabela 7.1 – Produtos a serem fabricados e capacidade de produção da fábrica**

<b>Produtos</b>	<b>Estimativa de Produção mensal *</b>	<b>Produção mensal (média jan a jun/2014)</b>
Refrigerante	1.000.000 litros/mês	840.000 litros/mês
Alcoólicos destilados	250.000 litros/mês	-
Alcoólicos fermentados	250.000 litros/mês	-
Suco	200.000 litros/mês	-

Fonte: \*A3 Projetos e Consultoria Ambiental, 2012

As matérias primas e produtos químicos utilizados no processo de fabricação possuem sistema de acondicionamento provido de piso impermeável e coberto, possuindo área de 99,12m<sup>2</sup> para o armazenamento de açúcar e 2.242,55 m<sup>2</sup> para os demais produtos. No dimensionamento do projeto em 2012, foi estimado um consumo mensal de matéria prima para atingir a capacidade de produção esperada. Na Tabela 7.2 estão relacionados o consumo mensal estimado de projeto e o consumo atual mensal.

**Tabela 7.2 - Consumo mensal de matérias primas utilizadas para produção do refrigerante**

<b>Matéria Prima</b>	<b>Consumo mensal estimado*</b>	<b>Consumo mensal (média jun/2014)</b>
Água	80.000 litros	38.500 litros
Açúcar	27.500 kg	59.400 kg
Conservantes	100 kg	231 kg
Acidulantes	375 kg	576 kg
Extratos e Sucos	625 kg	2.011 kg

\*Fonte: A3 Projetos e Consultoria Ambiental, 2012

Para operar o processo industrial a empresa conta com 18 funcionários em seu quadro, alocados nos setores: administrativo (1), produção (13) e portaria (4). Os funcionários trabalham em dois turnos de segunda a sexta, das 06h30min às 17h30min, sendo que aos sábados trabalham sob demandas esporádicas das 6h30min às 16h00min.

Entretanto, futuramente existe a previsão de anexar o Centro de Distribuição ao terreno da fábrica que hoje está em outro endereço. Com isso, haverá necessidade de

ampliação predial para alocar o centro de distribuição, um refeitório e estrutura administrativa, quando totalizará a estimativa de 30 funcionários, sendo 10 na administração e 20 na produção. O turno de trabalho previsto para esta demanda futura é de segunda a sábado, das 04h00min às 18h00min.

### **7.3. Processo Produtivo**

O processo industrial é constituído de fabricação de xaropes, diluição com água, carbonatação e envasamento, lavagem de garrafas e soprimento de garrafas PET. Desta forma, podem ser utilizadas diferentes matérias primas tais como, água, conservantes, acidulantes, essências naturais, gás carbônico, sucos naturais, vinho, álcool e aromas naturais, que são armazenados em sacos, bombonas e tanques.

O açúcar passa pelo pré dissolvedor e é levado ao tanque de preparação de xarope simples, onde é misturado à água potável quente enriquecida com ácidos orgânicos. Esta mistura é submetida a um cozimento à 100°C.

Esse xarope simples passa sob pressão hidráulica por um filtro de aço inoxidável, que contém meio filtrante de carvão ativado em pó, usando terra diatomácea<sup>19</sup> como auxiliar filtrante, que promove a clarificação do xarope simples e a remoção do carvão.

O líquido filtrado é depositado no tanque de pré-capa de onde caminha para o trocador de calor e para a torre de resfriamento, onde, ainda sob pressão, passa por processo de abaixamento de temperatura (até 25°C), sendo encaminhado para os tanques de mistura.

Ao xarope simples são adicionados os extratos naturais de cada sabor, que podem ser essências ou sucos, e acidulantes, formando assim o xarope composto. O xarope composto sob pressão é conduzido por tubulação de aço inox para o dosador, onde é feita a homogeneização com água potável. Esta mistura, sempre sob pressão passa pelo resfriador e pelo carbonatador onde é resfriada e recebe o gás carbônico, tornando-se o refrigerante.

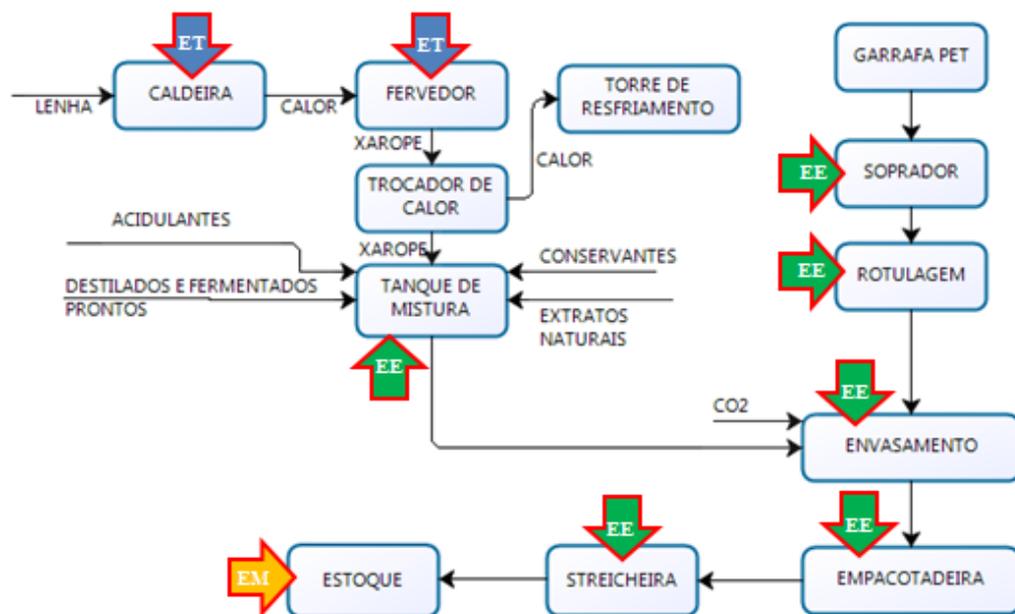
---

<sup>19</sup> Terra diatomácea ou diatomito: é uma rocha sedimentar biogênica, que se forma pela deposição dos restos microscópicos das carapaças de algas diatomáceas em mares, lagoa e pântanos. É muito poroso, leve (flutua na água, se não estiver saturado dela), absorvente e fino, pulverulento, quebradiço, insolúvel em ácidos, exceto o ácido hidrófluorídrico, mas solúvel em bases fortes. Possui a propriedade de absorver quatro vezes seu peso em água. É quimicamente inerte em muitos líquidos e gases, tem baixa condutividade térmica. Como filtro – é seu principal uso. Sua estrutura semelhante a um favo de mel o torna um filtro natural.

O refrigerante, então, é encaminhado para a máquina enchedora, que deposita o líquido através de sistema automático isobarmétrico nas garrafas, que então, são capsuladas e seguem para o datador que imprime nas tampas a data de validade do produto. Após nova inspeção, as garrafas cheias são encaixotadas em garrafeira plásticas, empilhadas e seguem para expedição.

No caso da linha PET, como a embalagem é de material descartável, as garrafas são sopradas, rotuladas, para, a seguir, serem cheias, capsuladas, datadas e inspecionadas. Para seguirem para expedição, são envolvidas em plástico grosso no *shrink*<sup>20</sup> e *stretch*<sup>21</sup>.

Na Figura 7.2 observa-se o fluxograma do processo produtivo, onde se destacam as principais etapas demandantes de energia elétrica (EE), mecânica (EM) e térmica (ET) a serem consideradas na análise de demanda de consumo energético da indústria.



**Figura 7.2 - Fluxograma do Processo Industrial**

Fonte: elaboração própria modificado de A3 Projetos e Consultoria Ambiental LTDA.

A caldeira alimentada por lenha é responsável por produzir o calor que alimenta o fervedor que dissolve o açúcar. No trocador de calor, o xarope é adicionado concentrado e vai para o tanque de mistura onde são adicionados os acidulantes, conservantes, extratos naturais,

<sup>20</sup> filme Shrink é produzido com a resina de polietileno de baixa densidade (PEBD) e linear (PEBDL). Em sua aplicação, o filme recebe calor e contrai, compactando e unitizando desde pequenos volumes (garrafas, frascos, caixas, etc.) à cargas paletizadas.

<sup>21</sup> filme stretch solução para a embalagem e utilização de cargas paletizadas, garantindo a retenção e a integridade dos produtos do ponto de partida ao destino, e também durante a estocagem

destilados e fermentados prontos. Na sequência, é adicionado o CO<sub>2</sub> para então, o refrigerante ser envasado em garrafas PET.

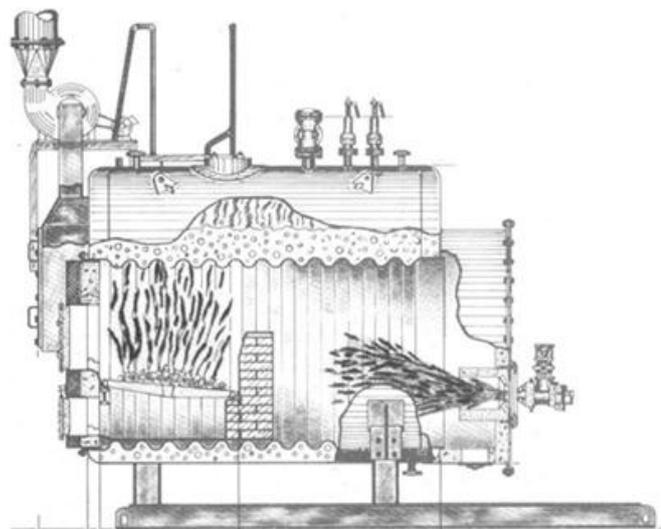
A linha de produção da garrafa PET inicia-se com o encaminhamento da pré-forma ao soprador que expande no formato desejado e encaminha a garrafa para a rotulagem. Após, a garrafa segue para o envasamento do produto para então seguir para a empacotadeira e estreicheira que embala os produtos em unidades empilháveis para a estocagem.

Observando o processo produtivo do empreendimento, nota-se que o fornecimento de energia térmica para o processo é proveniente da caldeira, que neste caso é alimentada por lenha. A demanda de energia elétrica é basicamente distribuída entre motores, iluminação e resfriamento. A energia mecânica considerada no processo é a do motor das empilhadeiras utilizadas na fábrica e no Centro de Distribuição e que são movidas a gás natural.

A seguir são detalhados os processos de consumo de energia térmica, elétrica e mecânica da fábrica levantados através de dados do projeto e visita técnica ao local.

### 7.3.1. Consumo da Caldeira

O empreendimento conta com uma caldeira para a geração de vapor que utiliza lenha como combustível para efetuar o processo de aquecimento da água no momento da mistura do xarope. Na Figura 7.3 está apresentado o esquema do processo de aquecimento da caldeira e na Figura 7.4 apresenta-se a imagem da caldeira instalada na fábrica em estudo.



**Figura 7.3 - Esquema detalhado do processo de aquecimento da caldeira**

Fonte: cedida pela empresa Alfa Laval Aalborg [2014]



**Figura 7.4 - Imagem da caldeira**

Na elaboração do projeto, considerando a estimativa de produção idealizada para a fábrica, adotou-se um consumo de  $2\text{m}^3$  de lenha por dia para alimentar a caldeira o que resulta em capacidade de produção de  $1.500\text{ kg/hora}$  de vapor.

Atualmente, considerando que a produção de refrigerantes veio crescendo gradativamente nos primeiros meses de operação da fábrica e que, ainda não se atingiu a capacidade total de produção, o consumo médio diário de lenha foi de  $0,30\text{ m}^3$  resultando na média mensal de  $9\text{m}^3$ , considerando o período de produção de dezembro/2013 a julho/2014.

*Características da caldeira:*

---

Marca: ATA nº:6971 ano 1981 categoria "B"

Modelo: LM Tamanho: 8 Pressão do projeto 150 Psi.

Fabricante: Alborg Industries S.A.

Aquecimento: Flamatubular.

Produção de vapor:  $1.000\text{ kg/hora}$ .

Pressão de trabalho:  $10,55\text{ kgf/cm}^2$

Superfície de aquecimento:  $36,25\text{ m}^2$

Tiragem: forçada por exaustor

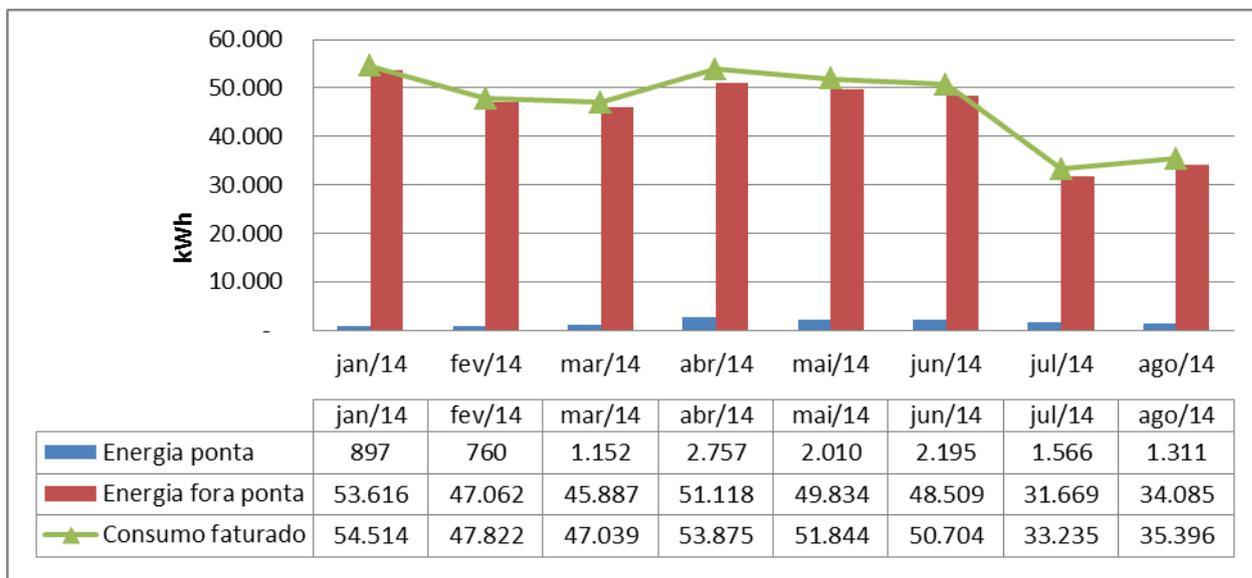
Combustível: lenha

---

### **7.3.2. Consumo de Energia Elétrica**

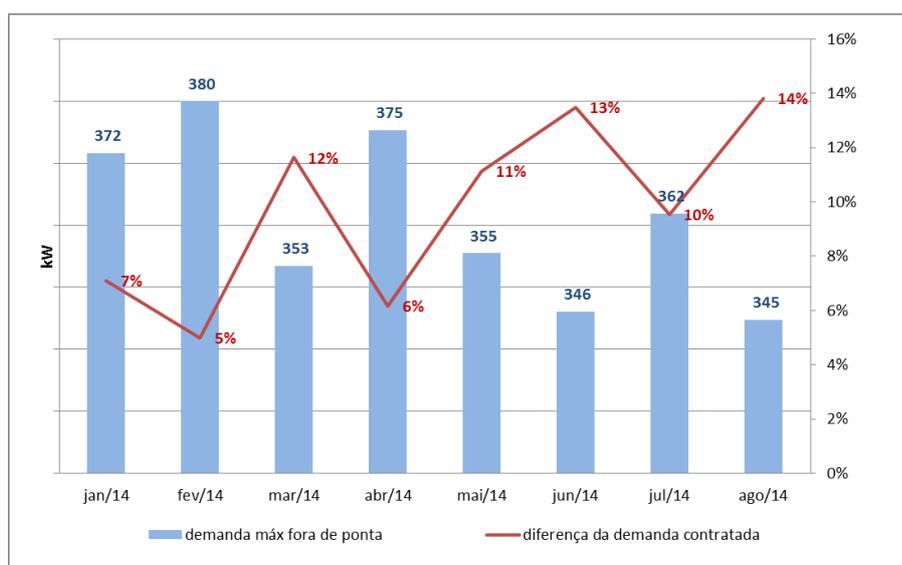
A demanda contratada na concessionária de energia elétrica é de  $400\text{ kW}$  com modelo tarifário horário Verde, fornecimento em tensão de  $13.800\text{ V}$ , consumidor do grupo tarifário A-4.

O consumo médio considerando os meses de janeiro a agosto/2014 foi de 46.804 kWh, sendo que nos meses de julho e agosto houve uma redução considerável no consumo total devido à sazonalidade de produção do refrigerante no período de inverno, conforme se observa o histórico de consumo no Gráfico 7.1, elaborado a partir dos dados das faturas de energia elétrica da empresa dos referidos meses.



**Gráfico 7.1-Histórico de Consumo de energia em kWh.**

Comparando os valores de demanda máxima medidos no período de janeiro a agosto/2014 com a demanda contratada pela indústria analisada, que é de 400 kW, nota-se no histórico de demanda medida apresentado no Gráfico 7.2., que não há uniformidade nos valores medidos e que a diferença alcançou percentuais acima de 10% na maioria do período.



**Gráfico 7.2 - Histórico de Demanda Medida (kW)**

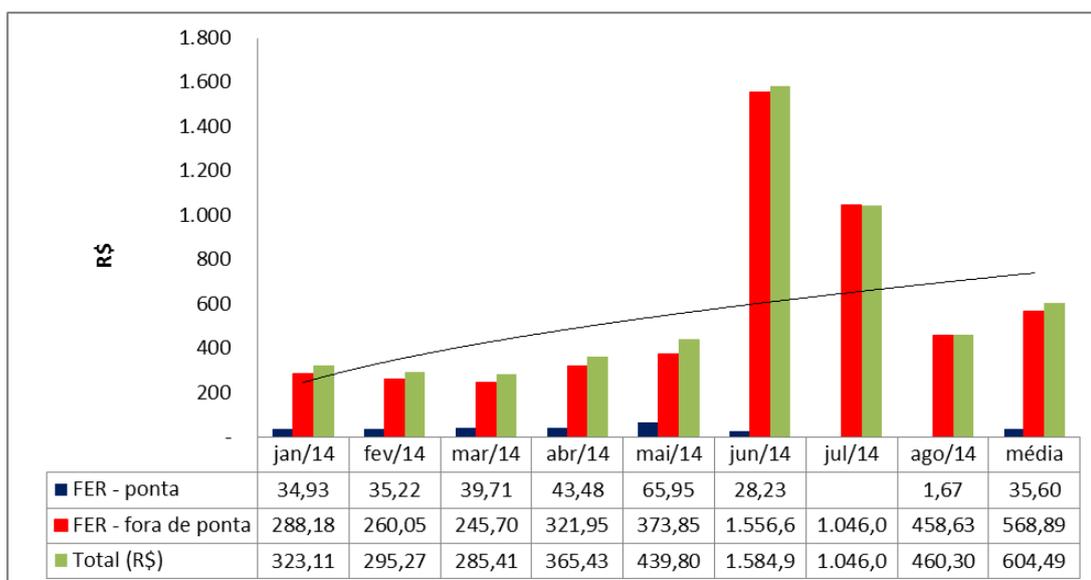
Esse comportamento é influenciado pelos diversos fatores que impactam no regime de produção da fábrica de refrigerantes analisada, tais como, ajustes em maquinário, estratégia de mercado do produto, condições climáticas, etc.

Nesse sentido, existe aqui uma oportunidade de redução na fatura de energia elétrica ao se ajustar o valor da demanda no contrato com a concessionária de energia. Considerando os valores de demanda medidos de janeiro a agosto/2014, observa-se que a máxima demanda medida foi de 380 kW. Neste caso, pode-se reduzir a demanda contratada, que hoje é de 400kW, para 365kW que terá o limite de 383,25kW (5% de 365kW) para a cobrança de tarifa de ultrapassagem de demanda.

Desta forma, já se teria uma redução no custo mensal de energia de R\$ 442,00 em média, podendo chegar até R\$ 5.300,00 no período de um ano.

No entanto, para que esta análise seja completa, é necessário avaliar no mínimo 12 meses de operação para que as sazonalidades da produção sejam relacionadas aos períodos de consumo e características climáticas, analisando também as projeções de aumento de produção. Depois de realizada esta análise será possível verificar as possibilidades de enquadramento tarifário e/ou determinar o valor da demanda contratual adequada para uma efetiva redução no custo da energia.

O Gráfico 7.3 apresenta o histórico de faturamento de energia reativa da empresa realizado através da análise das contas de energia de janeiro a agosto/2014.



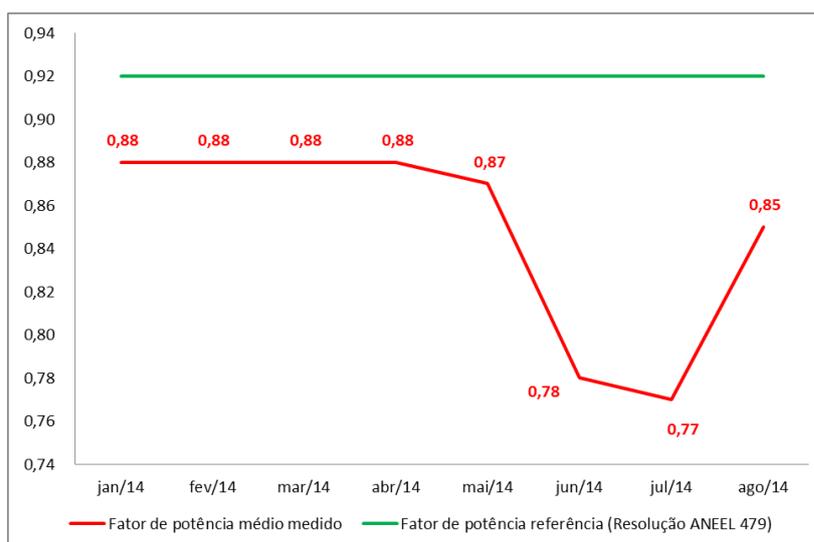
**Gráfico 7.3 - Histórico de faturamento de excedente de energia reativa**

Observa-se que houve a cobrança de excedente de energia reativa em todos os meses do período analisado, com predominância do horário fora de ponta e atingindo picos de

faturamento nos meses de junho e julho quando houveram paradas de produção devido à regulação de estoque motivado pela redução nas vendas no período de inverno.

O custo desta energia reativa excedente (multa por baixo fator de potência) já soma o montante de R\$ 4.800,00 de janeiro a agosto/2014. Com a média faturada neste período pode-se fazer uma projeção para os outros quatro meses de operação, onde este custo pode alcançar aproximadamente R\$ 7.200,00 no final deste ano.

Nota-se novamente outra oportunidade de redução no custo do consumo de energia aliada à melhoria de desempenho da rede elétrica da empresa através da correção do fator de potência. No Gráfico 7.4 apresentam-se os valores de fator de potência médio medidos no período analisado, onde se observa que em todos os meses do período analisado não se atingiu o valor mínimo permitido de fator de potência de acordo com a REN ANEEL 479/12, ressaltando ainda nos meses de junho e julho com valores medidos mais de 15% abaixo do valor de referência.



**Gráfico 7.4 - histórico de fator de potência médio medido**

Com esta característica de operação, é recomendável instalar um banco de capacitores na entrada da instalação de pelo menos 50kVAr para compensar a energia reativa do sistema.

No entanto, no ponto de vista da "Conservação de Energia", considerando aspectos técnicos, práticos e financeiros, além da instalação de um capacitor fixo diretamente no lado secundário do transformador, segundo WEG (2010), é possível obter uma melhor eficiência na correção do fator de potência se também observar os seguintes critérios para o dimensionamento do banco de capacitores:

- Para motores de aproximadamente 10 CV ou mais, deve-se corrigir localmente, atentando para os motores de alta inércia, pois não se deve dispensar o uso de

contatores para manobra dos capacitores sempre que a corrente nominal dos mesmos for superior a 90% da corrente de excitação do motor.

- Motores com menos de 10 CV deve-se corrigir por grupos.
- Redes próprias para iluminação com lâmpadas de descarga, usar reatores de baixo fator de potência, e corrigir na entrada da rede;
- Na entrada instalar um banco automático de pequena potência para equalização final.

Quando se corrige um fator de potência de uma instalação consegue-se um aumento de potência aparente disponível e também uma queda significativa da corrente.

### 7.3.3. Consumo Empilhadeiras

Na produção da fábrica é utilizada uma empilhadeira no setor de expedição. No Centro de Distribuição (CD) são utilizadas 3 empilhadeiras para o trabalho de carga e descarga dos caminhões.

Características da empilhadeira:

---

Modelo: GP040VX Internal Combustion Trucks.  
Fabricante: Yale Materials Handling Corporation.  
Capacidade de carga (kg): 1814.  
Tipo de motorização: Mazda 2.0L, 2.2L GM 2.4L Yanmar 2.6L , 3.3L.  
Transmissão: Electronic Powershift Electronic 1 speed, Techtronix 100  
Velocidade máxima de deslocamento: 19,6 km/h  
Velocidade máxima de elevação: 0.65 m/s  
Combustível: gás natural / GLP

---



Figura 7.5 - Empilhadeira Yale

O consumo de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) da fábrica, considerando a média do período de produção de dezembro/2012 a maio/2014, está em torno de 46 botijões de 20 kg/mês, ou seja, 920 kg por mês para abastecer a fábrica e o CD. Estas informações são importantes para estimar a necessidade de energia mecânica consumida pela fábrica, que poderão ser supridas por outras fontes de energia além do GLP.

#### 7.4. Sistema de Tratamento de Efluentes

Um dado imprescindível nesta análise é a capacidade de produção de efluente do sistema de tratamento em operação na fábrica. Neste empreendimento o processo adotado para o tratamento de efluentes industrial foi o sistema de lagoas de estabilização, sendo que todo o efluente sanitário do empreendimento também é encaminhado a uma fossa séptica e posteriormente lançado na lagoa anaeróbia, seguindo o tratamento junto com o efluente industrial.

A vazão real do despejo é proporcional à quantidade de refrigerantes, sucos e bebidas alcoólicas engarrafadas produzidas, aos procedimentos internos de fabricação e limpeza durante o expediente e à limpeza dos pisos e equipamentos necessários para a higienização dos locais de trabalho.

A estimativa inicial realizada no dimensionamento do projeto do sistema de tratamento foi produzir uma vazão mínima de 10m<sup>3</sup>/dia de efluente e chegando a 50m<sup>3</sup>/dia quando estivesse operando em capacidade máxima de produção. As características consideradas no dimensionamento do sistema de tratamento de efluentes bem como os dados da produção média atual de efluentes seguem descritos na Tabela 7.3.

**Tabela 7.3 - Características de produção de Efluente**

<b>Características</b>	<b>Produção Estimada (projeto)<sup>1</sup></b>	<b>Produção Média (jan-abril/2014)<sup>2</sup></b>
Período de produção do efluente	14 horas/dia	11 horas/dia
Vazão mínima do Efluente Industrial	10 m <sup>3</sup> /dia	9 m <sup>3</sup> /dia
Vazão máxima do Efluente Industrial	50 m <sup>3</sup> /dia	36 m <sup>3</sup> /dia
DBO do efluente bruto	697 mg/l	9.403 mg/l
DQO média provável	980 mg/l	20.460 mg/l
Carga poluidora média	34,85 kgDBO/dia	338,53 kgDBO/dia

Fonte: <sup>1</sup> A3 Projetos e Consultoria Ambiental, 2012. <sup>2</sup> Dados das análises realizadas no efluente em janeiro e abril/2014

#### 7.4.1. Etapas do Sistema de Tratamento de Efluentes da indústria

O tratamento de efluentes nesta indústria em estudo é realizado através das etapas de tratamento primário e tratamento biológico, como será detalhado nos itens a seguir e conforme representado na Figura 7.6.

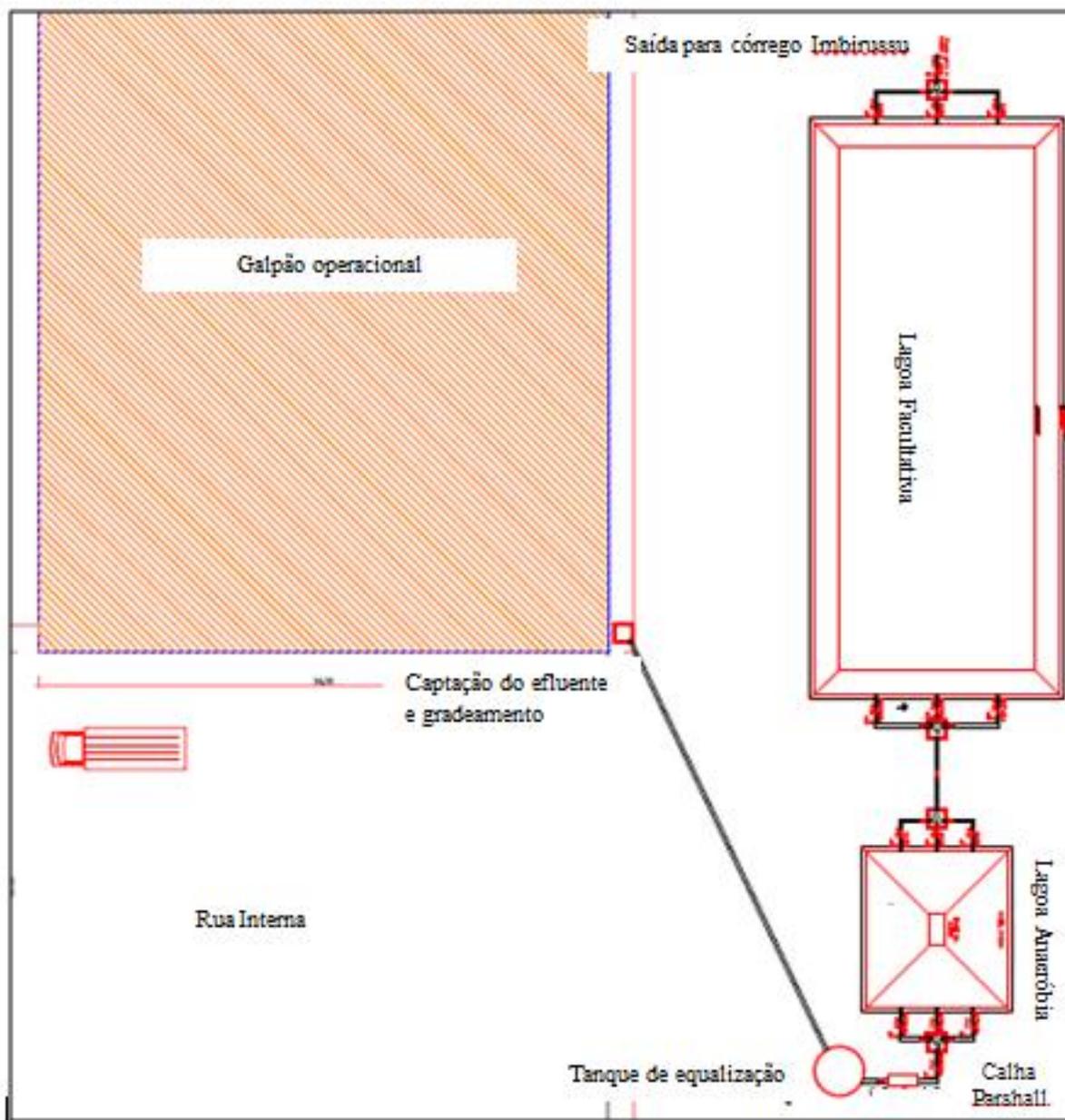


Figura 7.6 - Sistema de tratamento de efluentes da indústria em estudo

Fonte: adaptado de A3 Projetos Ambientais (2012)

#### 7.4.1.1. Tratamento Primário

Pelo galpão operacional estão dispostas canaletas para captação e encaminhamento do efluente industrial para o tratamento. O tratamento primário inicia-se na etapa de captação do efluente, pois o sistema de ralos fixos implantados na indústria também reduz significativamente os sólidos presentes no efluente bruto gerado.



**Figura 7.7 - Canaletas de captação do Efluente**

O efluente então é encaminhado para a caixa receptora que possui uma grade com malha de 5,0mm para a remoção dos sólidos, principalmente dos efluentes da lavadora de garrafas. Nesta caixa, o bombeamento é acionado a partir de um nível pré-determinado para que o efluente seja levado ao tanque de equalização.

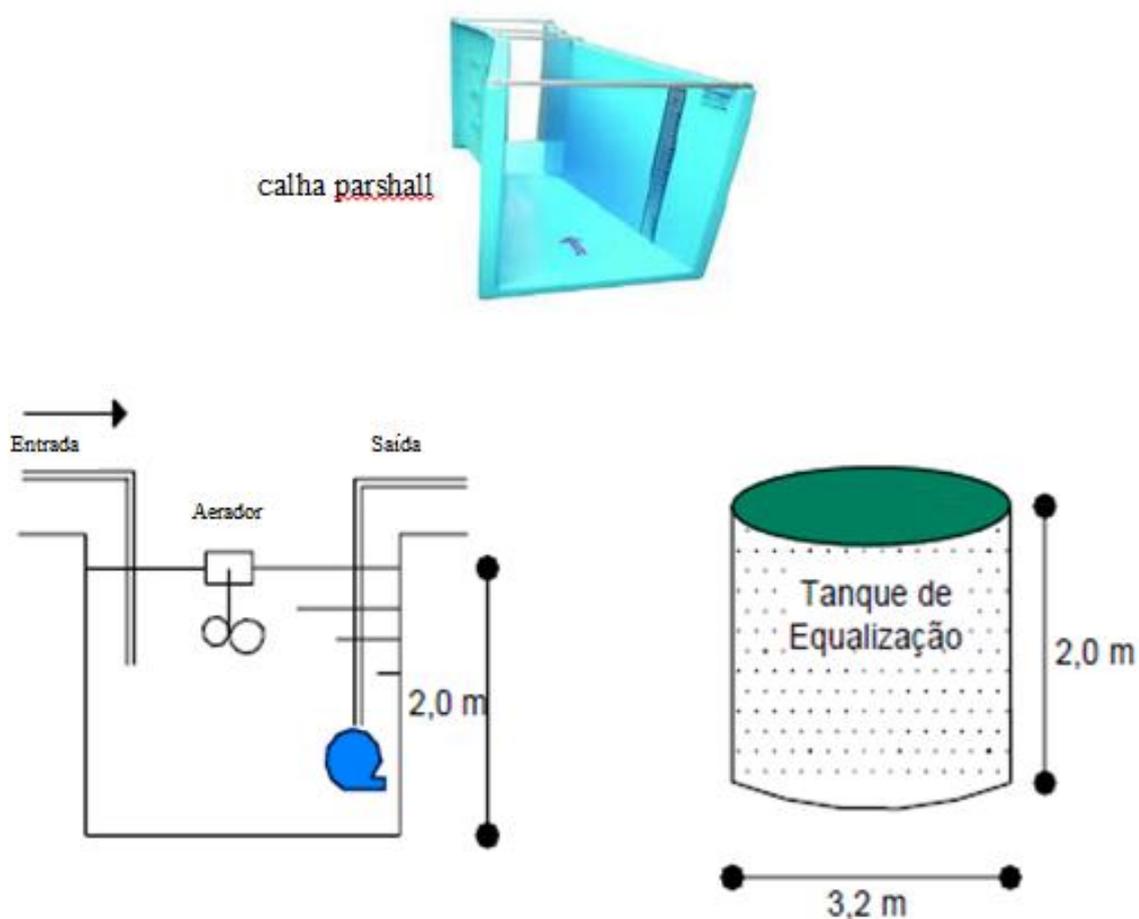


**Figura 7.8 - Gradeamento primário**



**Figura 7.9 - Bombeamento efluente**

No tanque de equalização/neutralização de pH regulariza-se as vazões e homogeneiza-se o efluente para compensar e controlar as oscilações bruscas de processo quanto à vazão e carga. A capacidade do tanque instalado na fábrica é de 30.000 litros. Na Figura 7.10 está representado o detalhamento do projeto e na Figura 7.11 apresenta-se a imagem do tanque instalado.



**Figura 7.10 - Tanque de Equalização/Neutralização de pH**

Fonte: A3 Projetos e Consultoria Ambiental LTDA, 2012.

*Dimensões do tanque de equalização:*

---

Volume:  $16\text{m}^3$

Tempo de residência: 2 horas (vazão máxima prevista para 2014 no projeto)

Tempo de residência: 4 horas (vazão máxima prevista para 2013 no projeto)

Diâmetro do tanque de equalização: 3,2 metros

Altura do tanque de equalização: 2 metros

Área superficial:  $8\text{m}^2$

---



**Figura 7.11 - Detalhes Tanque de Equalização**

O sistema do tanque de equalização possui uma bomba para recalque tipo ABS com vazão de  $10\text{m}^3/\text{h}$ , para a condução do efluente até o tanque de aeração. No tanque, ocorre a homogeneização do efluente ao adicionar-se componentes que regularizam o PH através do aerador, que é do tipo propulsor, com eixo em aço inox AISI 304 e hélice helicoidal em nylon com flutuador de aço inox AISI 304 e motor de 5 CV.

Na sequência foram instalados dois medidores de vazão, o primeiro à jusante da lagoa anaeróbia e o segundo após o sistema de tratamento biológico, antes do descarte do efluente no Córrego Imbirussu, em caixas de passagem conforme o detalhe da Figura 7.12.



**Figura 7.12 – Medidores de vazão**

### 7.4.1.2. Tratamento Biológico

Para o tratamento biológico do efluente do empreendimento foi dimensionado um sistema de lagoas de estabilização composto de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa, devido às características do terreno e por ser a alternativa de menor custo de implantação e de operação/manutenção simplificada.

A lagoa anaeróbia implantada possui profundidade de 4,3m e é utilizada para a estabilização parcial da matéria orgânica. A profundidade é importante para reduzir a possibilidade de penetração do oxigênio produzido na superfície para as demais camadas da lagoa, evitando que a lagoa trabalhe como facultativa e resultando em uma área requerida relativamente menor. A economia de área pode alcançar em torno de 45 a 70% em relação à área requerida de um sistema de lagoa facultativa única.

A eficiência de remoção de DBO na lagoa anaeróbia é usualmente da ordem de 50 a 70%. Devido à DBO efluente ainda ser elevada, a unidade posterior de tratamento é necessária para completar o processo de tratamento biológico, sendo realizada pela lagoa facultativa. Esse sistema de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa também é denominado de sistema australiano.

A lagoa anaeróbia implantada possui volume de 120m<sup>3</sup> com as dimensões detalhadas no ANEXO 1 – PLANTAS E CORTES LAGOAS ANAERÓBIA E FACULTATIVA e na Figura 7.13 segue a imagem do local implantado.



**Figura 7.13 - Imagem Lagoa Anaeróbia**

A lagoa facultativa implantada, que é utilizada para a estabilização parcial da matéria orgânica com condições aeróbias na superfície e anaeróbias no fundo da lagoa, possui volume de 735 m<sup>3</sup>. Na Figura 7.14 segue a imagem da lagoa no local implantado e suas dimensões estão detalhadas no ANEXO 1 – PLANTAS E CORTES LAGOAS ANAERÓBIA E FACULTATIVA.



**Figura 7.14 - Imagem Lagoa Facultativa**

Considerando a vazão máxima diária medida com a média do período de janeiro a abril/2014, o tempo de retenção do tratamento biológico leva em torno de 24 dias. Após a passagem pela lagoa facultativa, o efluente tratado é lançado no córrego receptor por uma canalização direta, conforme demonstrado na Figura 7.15



**Figura 7.15 - Lançamento efluente no córrego receptor**

O sistema de tratamento de efluentes por lagoas de estabilização foi dimensionado para obter a eficiência total de remoção de DBO da ordem de 93,21%. Para avaliar a eficiência de remoção de poluentes do sistema de lagoa anaeróbia/facultativa em operação na indústria, periodicamente são realizadas análises físico-químicas por laboratórios credenciados pelo INMETRO com amostras do efluente coletadas na entrada e na saída das lagoas. Na Tabela 7.4 estão os resultados obtidos das análises realizadas em janeiro e abril de 2014.

**Tabela 7.4 - Resultados Análises Físico Químicas**

Ensaio Físico-químico			amostra coletada em 11/01/2014		amostra coletada em 14/04/2014	
Parâmetro	UNID.	Método <sup>(1)</sup>	Entrada Lagoa 1	Saída Lagoa 2	Entrada Lagoa 1	Saída Lagoa 2
DBO	mg/l	SM 5210 B	11.307,70	2.388,90	7.500,00	3.500,00
DQO	mg/l	SM 5220 C	23.000,00	5.500,00	17.920,00	8.000,00
Fósforo total	mg/l P-PO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	SM 4500- P C	12,50	10,20	3,00	1,40
Nitrogênio amoniacal	mg/l N-NH <sub>4</sub>	SM 4500- NH3 F	65,00	11,00	4,50	3,50
Óleos e graxas	mg/l	SM 5520 D	8,00	< 5,0	9,89	3,91
pH	U pH	SM 4500-H+ B	4,29	4,40	7,22	5,52
Sólidos dissolvidos	mg/l	SM 2540 C	13.460,00	975,00	4.232,00	2.133,00
Sólidos sedimentáveis	ml/l	SM 2540 F	0,50	<0,1	1,00	< 0,1
Sólidos suspensos	mg/l	SM 2540 D	115,00	200,00	59,00	14,00
Sólidos totais	mg/l	SM 2540 B	20.660,00	1.385,00	4.669,00	2.374,00

<sup>(1)</sup> Analisado de acordo com Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Edition 201

Analisando os resultados obtidos através dos ensaios realizados, observa-se que o efluente tratado está em conformidade com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011, que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, valores estes descritos a seguir:

a) pH entre 5 a 9: Na primeira coleta o pH na saída estava abaixo 12% do valor padrão devido ao início da operação, porém foi ajustado e já na segunda coleta alcançou o valor ideal;

b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura. Nesse caso, não foi necessário efetuar a medição de temperatura do efluente, visto ser somente proveniente de descarte com temperatura ambiente;

c) materiais sedimentáveis: até 1 ml/l em teste de 1 hora em cone Imhoff. Neste parâmetro o efluente de saída ficou bem abaixo do limite estabelecido no padrão (<0,1);

d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor. Esta condição é atendida neste estabelecimento, onde a vazão é pequena;

e) óleos e graxas: o efluente da indústria analisada não produz um índice muito elevado de concentração de óleos e graxas, mas o tratamento reduz em até 60% esta concentração, onde se obteve nas duas análises valores inferiores a 5mg/l, bem abaixo dos valores padrão de referência:

1. Óleos minerais: até 20 mg/l;

2. Óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/l;

f) ausência de materiais flutuantes; e

g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO. O sistema de tratamento obteve 78% de remoção na primeira coleta, porém, na segunda, ficou 14% abaixo do limite mínimo, o que já foi regularizado através da manutenção no sistema feita pela equipe responsável na empresa.

De maneira geral, no sistema de tratamento de efluentes implantado observa-se que, apesar de atender à legislação no quesito de remoção de poluentes e reduzir consideravelmente a poluição hídrica não está previsto o processo de controle da poluição de emissões de gases provenientes do tratamento de efluentes. O biogás produzido pela lagoa anaeróbia é liberado para a atmosfera causando poluição ambiental.

## **7.5. Implantação de Biodigestor**

Para promover a captação do biogás gerado pelo tratamento de efluentes da fábrica é necessária a implantação de um biodigestor no sistema de tratamento biológico.

A alternativa mais viável considerando a situação já implantada das lagoas de estabilização será a cobertura da lagoa anaeróbia existente com a instalação de dutos para a captação do biogás produzido, a qual segue descrita no próximo item.

Caso seja opção da empresa em uma expansão futura, uma alternativa com maior eficiência na remoção de poluente e consequente maior produção de biogás, seria instalar um Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA ou UASB) ou de circulação interna (IC) seguido de lagoa de maturação, conforme citado nos itens 4.2.2 e 4.2.3. Obviamente, os

custos operacionais e de manutenção devem ser levados em consideração no dimensionamento.

Ressalta-se também que, embora esta alternativa possa chegar a uma maior eficiência na remoção dos poluentes bem como na produção do biogás, além dos custos operacionais a complexidade da operação deve ser levada em consideração no dimensionamento e análise de viabilidade. Salienta-se ainda que, neste caso será necessário que a empresa disponha de equipe técnica responsável pelo controle do sistema de tratamento, o que poderia inviabilizar a implantação se for considerado somente a redução de custos com o aproveitamento do biogás.

#### **7.5.1. Implantação de biodigestor através da cobertura da lagoa anaeróbia**

Para a implantação do biodigestor através da cobertura da lagoa anaeróbia serão necessários os seguintes itens a serem dimensionados no custo de implantação:

- Execução do projeto;
- Emissão de ART;
- Acompanhamento e orientação para adequação da vala;
- Execução do sistema de dreno de gases sob a geomembrana com tubo de dreno 100 mm e geotêxtil nas linhas transversais a cada 5,0 mm, e com brita, tubo e geotêxtil na linha principal;
- Construção do sistema de drenagem de águas pluviais com tubo de dreno 100mm, com geotêxtil e brita em torno do biodigestor;
- Construção do cercamento em torno do biodigestor de 1,0 m de altura com portão de 1,00 x 1,00 com tranca, tela malha de 6,00 e arame 16 plastificado;
- Instalação de 02 tubulações de retirada de dejetos de 200 mm ocre na parte mais profunda do biodigestor;
- Instalação de caixa de concreto de saída do biodigestor de 1,20 x 1,20 x 1,10m, com ligação do biodigestor até a caixa em tubulação ocre de 200 mm e instalação da tubulação de ligação do biodigestor até a lagoa auxiliar, também em tubulação 200 mm ocre;
- Impermeabilização do biodigestor com geomembrana de PEAD 1,0mm;

- Proteção das valas de ancoragem do biodigestor com instalação de geotêxtil 200 g/m<sup>2</sup>;
- Cobertura do biodigestor com geomembrana de Biomanta Linear 1,25mm;
- Sistema principal de controle de pressão interna do biodigestor: Instalação de uma saída de biogás com caixa de concreto e tubulação de 110 mm, com redução na caixa para 60 mm, para condução até o *flare* em aço inox, com funcionamento automático com faiscador;
- Sistema de emergência de controle de pressão interna do biodigestor: instalação de 01 válvula de alívio hídrica, com caixa de concreto e demais conexões para construção do selo hídrico;
- Instalação de cintas a cada 5,00 m para controlar a altura do balão do biodigestor com bases de concreto nos dois sentidos: largura e comprimento;
- Sistema de ancoragem com solda dupla e ancoragem na terra;
- Instalação de 01 saída auxiliar de gases, com tubulação de 110 mm com caixa de concreto e registro, para utilização posterior pelo cliente;
- Instalação de placas de aviso e segurança;

Também é necessário prever a instalação de equalizador com controle constante e automático de pH para garantir a estabilidade do processo.

O custo de implantação de um biodigestor com estas características está estimado em R\$ 110.000,00, considerando que depende do aproveitamento das instalações existentes, onde podem existir itens não previstos no orçamento que oneram o custo final da obra.

O que deve ser observado ainda quanto ao custo é que, quando se fala em biodigestor, o tamanho da lagoa tem que ser feito de acordo com o tempo de retenção necessário. Caso haja alteração no volume de efluentes e no tipo, o tempo de retenção e o tamanho da lagoa também mudam. Principalmente, se o objetivo for a produção de biogás.

Para se obter a produção do biogás e promover um “pré-tratamento” do efluente considerando a situação atual da indústria em estudo, é necessário estabelecer um tempo de retenção de 8 dias. Desta forma, a estimativa de produção de biogás de acordo com as características do efluente da indústria em análise e com a implantação do biodigestor através da cobertura da lagoa anaeróbia, pode chegar a cerca de 200m<sup>3</sup> /dia e PCI de 4.200 kcal/m<sup>3</sup>, mas o material é propenso à formação de CO e CO<sub>2</sub> e com baixa concentração de metano, não passando de 50%, conforme estimativa do fornecedor pesquisado.

De maneira geral, o efluente desta indústria é bom para biodigestão, porém tem características de reatividade ácida, ou seja, facilmente baixa o pH e quanto mais ácido maior é a geração de vapor de água e menor a de metano. Se não tiver o controle eficaz perde-se a biomassa em menos de 2 dias, sendo necessário adicionar mais biomassa para regularizar a carga orgânica do efluente.

Com a implantação desse sistema, o biogás gerado pela lagoa poderá ser queimado no *flare*, eliminando assim as emissões de metano para a atmosfera. Nota-se, entretanto que, para o presente empreendimento em estudo, foram avaliadas as alternativas de aproveitamento do biogás gerado que seguem descritas no próximo item.

## 7.6. Possibilidades de Aproveitamento do Biogás

Para a fábrica de refrigerantes em estudo, de acordo com o estimado de produção de biogás do projeto de biodigestor foram analisadas as opções de aproveitamento do biogás, sendo estas, para abastecimento da caldeira, abastecimento das empilhadeiras e/ou para a geração de energia elétrica.

Para qualquer um dos casos, de acordo com Zanette (2009), existem três motivos principais para o tratamento do biogás: atender às especificações necessárias para cada aplicação (geradores, caldeiras, veículos), aumentar o poder calorífico do gás e padronizar o gás produzido. Para muitas aplicações a qualidade do biogás deve ser melhorada. Os principais parâmetros que podem requerer remoção em um sistema de tratamento são o gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), água, gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e compostos halogenados. A Tabela 7.5 apresenta os principais requisitos para remoção de compostos gasosos de acordo com a utilização do biogás.

Antes da sua utilização se faz necessário analisar a composição do biogás produzido para especificar o sistema de purificação adequado para o tipo de uso desejado.

**Tabela 7.5 - Necessidade de remoção de compostos gasosos de acordo com a utilização do biogás**

Aplicação	H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
Caldeiras	<1000 ppm	Não	Não
Fogões	Sim	Não	Não
Co-geração	<1000 ppm	Não	Condensação do vapor
Combustível veicular	Sim	Recomendável	Sim
Rede de gás natural	Sim	Sim	Sim

Fonte: Zanette, 2009.

### 7.6.1. Abastecimento da Caldeira:

A caldeira é acionada sob demanda para aquecer a água no momento da mistura do xarope, sendo que para cada tanque leva-se em torno de 3 horas de operação. O modelo da caldeira em operação no processo produtivo da fábrica utiliza como combustível a lenha com uma média de consumo de 0,30 m<sup>3</sup>/dia.

Segundo Sganzerla (1983), 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale energeticamente a 1,52 kg de lenha e ainda, de acordo com o Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis–CTGÁS-ER (2014), 1m<sup>3</sup> de lenha corresponde a 340kg da lenha seca. Considerando estes valores de conversão, a quantidade equivalente de biogás necessária para a condição de operação da indústria em estudo, será de aproximadamente 67m<sup>3</sup> diários.

Para o biogás promover a mesma eficiência de produção de vapor na caldeira obtida com a lenha será necessário cumprir os requisitos mínimos relacionados na Tabela 7.6. Nota-se que o volume mínimo para garantir a operação da caldeira foi especificado considerando o modelo de caldeira instalada na fábrica em estudo, que possui capacidade de produção de vapor de 1.000 kg/h, eficiência térmica de 80%.

**Tabela 7.6- Características do Biogás para utilização como combustível de caldeira**

<b>Característica do biogás</b>	<b>Requisito mínimo</b>
PCI	7.500 a 8.000 kcal/m <sup>3</sup>
Composição	Isento de umidade e H <sub>2</sub> S
Volume mínimo	100 Nm <sup>3</sup> /h

A adaptação da caldeira existente para ser alimentada com biogás pode ser viável tecnicamente, no entanto, por se tratar de um modelo muito antigo (1981) não se teria garantias em projeto que com a adaptação para gás, a caldeira iria gerar a mesma capacidade nominal da caldeira abastecida com lenha. Com isso, provavelmente seria necessária uma quantidade de biogás de até 15% maior para obter-se a mesma eficiência térmica e capacidade de produção de vapor.

Como a capacidade de produção de vapor necessária não é tão grande recomenda-se, nesse caso, a instalação de uma nova caldeira para ser alimentada exclusivamente com o biogás, ficando ainda a caldeira à lenha como reserva, caso haja alguma intercorrência na produção do biogás devido a algum problema de operação da ETE.

Para uma situação de implantação nova ao se definir a caldeira a ser utilizada, observa-se pela pesquisa efetuada junto a fornecedores que o modelo a gás possui custo menor que o modelo abastecido a lenha. Nota-se ainda que essa diferença aumenta à medida que aumenta a capacidade de produção de vapor devido à característica de construção da caldeira, pois o modelo a gás é bem mais compacto do que o modelo à lenha.

Além disso, no caso de caldeiras acima de 2t kg/h existe a possibilidade de colocar um economizador no queimador que consegue resultar em eficiência térmica de até 95%. Nesse sentido, tem-se uma redução de até 15% no volume mínimo requerido de biogás para operação da caldeira.

Outro fator a ser considerado na análise do tipo de caldeira a ser utilizada em uma nova unidade fabril é a disponibilidade de combustível no local da fábrica e o custo de transporte deste até o local. Para o biogás este custo deve ser comparado com o custo de implantação do biodigestor e sistema de filtragem do gás, quando também não for previsto no sistema de tratamento dos efluentes.

Como recomendação para a situação atual da indústria de refrigerantes em estudo, considerando a geração de 1.000 kg/h de vapor, um modelo adequado do mesmo fornecedor da caldeira existente seria o modelo M3P-1,0, conforme detalhado no ANEXO 2. Por ser uma caldeira desenvolvida para queima de gás (natural/GLP) se faz necessário confirmar a possibilidade da queima de biogás, além de certificar quanto à confiabilidade da sua composição, do seu poder calorífico inferior e se ele seria isento de umidade, H<sub>2</sub>S e impurezas.

### **7.6.2. Abastecimento das empilhadeiras:**

O biogás também pode ser purificado para atingir as especificações do gás natural e ser utilizado nos veículos que utilizam o gás natural veicular (GNV) ou gás liquefeito de petróleo (GLP). Através da purificação é obtido um gás que: possui um poder calorífico maior para aumentar a autonomia do veículo, possui uma qualidade constante para uma direção segura; não resulta em corrosão devido à presença de H<sub>2</sub>S, amônia e água; não contém partículas que causam dano mecânico; não resulta em congelamento devido a um alto conteúdo de água; e possui uma qualidade declarada e assegurada [ZANETTE, 2009].

Na prática, isso significa que o CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, material particulado e água (e algumas vezes outros componentes) devem ser removidos, de modo que o gás resultante para o uso veicular possua um conteúdo de metano superior a 95% em volume [ZANETTE, 2009].

Segundo Zanette (2009), antes da utilização do biogás como combustível veicular o nível de CO<sub>2</sub> deve ser reduzido. Embora seja tecnicamente possível rodar um veículo com biogás sem remover o CO<sub>2</sub> se o motor for especialmente ajustado para isso, existem diversas razões para a sua remoção. A remoção do CO<sub>2</sub> aumenta o poder calorífico do gás, resultando em um aumento da autonomia do veículo para uma determinada capacidade de armazenamento. Além disso, resulta em uma qualidade do gás consistente entre as diferentes plantas de biogás e similar à qualidade do gás natural.

A necessidade diária de combustível considerando o consumo de GLP diário utilizado na empresa em estudo e o valor de equivalência energética, afirmado por Sganzerla (1983), é de 93 m<sup>3</sup> de biogás, volume este possível de ser fornecido com a operação do biodigestor conforme item 7.5.1.

No entanto, a composição estimada do biogás a ser gerado de acordo com a característica atual do efluente desta indústria, não deve ultrapassar a concentração de 50% de metano. Portanto, observa-se que, mesmo com a implantação de sistema de purificação do gás, ainda assim não viabilizaria a utilização para abastecimento das empilhadeiras movidas a gás natural devido à baixa concentração de metano, a não ser que haja mudanças nas características do efluente industrial (aumento de carga orgânica ou volume diário).

### **7.6.3. Geração de energia elétrica:**

Outra oportunidade a ser avaliada é o aproveitamento do biogás para a geração de energia elétrica. Neste caso, o biogás deve ser transportado para alimentar o grupo motor gerador a ser acionado pela combustão do mesmo, conforme detalhado no item 5.5.1..

Entretanto, para que o biogás possa ser utilizado como combustível, seja em motores, turbinas a gás ou microturbinas, é necessário identificar sua vazão, composição química e poder calorífico. Estes parâmetros determinam o real potencial de geração de energia elétrica, além de permitir dimensionar os processos de pré-tratamento do biogás, como a remoção de H<sub>2</sub>S (ácido sulfídrico) e da umidade, com o propósito de evitar danos aos equipamentos da instalação e aumentar seu poder calorífico.

Considerando que o potencial de geração de biogás foi estimado em 200m<sup>3</sup> ao dia e o turno diário de operação da fábrica tem a duração média de 11 horas, tem-se que o biodigestor poderá fornecer até 18 m<sup>3</sup> de biogás por hora se a vazão do efluente for constante.

Dado o tipo de efluente, concentrações de carga orgânica e demais características analisadas, a concentração de metano dificilmente chegará a 50%. Considerando estas características as tecnologias disponíveis para a conversão do biogás em energia elétrica são as microturbinas e os motores de combustão ciclo Otto, as quais foram detalhadas no item 5.5.

Coelho, *et al* (2006) compararam a utilização de microturbina e grupo motor gerador de ciclo Otto em uma unidade de demonstração de geração de energia elétrica a partir de biogás de tratamento de esgoto, e, chegaram a conclusão de que a melhor alternativa em termos ambientais seria a microturbina, porém em termos de viabilidade econômica o grupo motor gerador de ciclo Otto apresentou custo menor conforme segue na Tabela 7.7.

**Tabela 7.7 - Comparação entre as relações de custo da instalação por kilowatt gerado para ambas as tecnologias (Microturbina Capstone e Grupo-gerador da Trigás)**

(US\$/kW)	Microturbina Capstone	Grupo Gerador da Trigás
Relação entre custo e potência bruta instalada	R3 = 2,195.28 US\$/kW	R5 = 1,195.65 US\$/kW
Relação entre custo e potência líquida instalada	R3' = 3,377.36 US\$/kW	R5' = 1,434.78 US\$/kW

Fonte: Coelho, *et al* (2006)

Neste aspecto, para este estudo pode-se considerar que o grupo gerador de Ciclo Otto é mais indicado, pois além do custo do equipamento em si, a microturbina exige que o gás combustível apresente propriedades mais controladas que os motores convencionais, acarretando o uso de sistemas de purificação do gás, não sendo necessário para o grupo-gerador, pois, além de suportar o uso de um biogás *in-natura* dispensa a necessidade de compressão uma vez que o seu princípio de funcionamento se dá por aspiração.

Como 1 m<sup>3</sup> de biogás é equivalente a 6,5 kWh de energia elétrica e, considerando-se que os sistemas de cogeração variam entre 30% e 38%, ou seja: 1,95 e 2,47 kWh. Para o volume estimado de biogás disponível do sistema de tratamento analisado poderá ser dimensionado um sistema de geração de energia elétrica de até 30 kW, porém, pode-se encontrar dificuldades de operação, caso a vazão do gás não garanta o volume mínimo diário.

Em uma ampliação futura da fábrica é possível que a vazão do efluente e, conseqüentemente, a carga orgânica aumente. Segundo Coelho *et al* (2006), dependendo da eficiência do processo de tratamento, influenciado por fatores como carga orgânica, pressão e temperatura durante a fermentação, o biogás pode conter entre 40% e 80% de metano. Desta

forma, então, estaria viabilizando a implantação do biodigestor com produção estável de biogás suficiente para a construção do sistema de conversão de energia.

Na escolha da tecnologia de conversão do biogás, deve-se levar em conta também, além da quantidade e concentração de biogás, a presença de umidade, gases inertes e de gases ácidos, estes últimos responsáveis por corrosão precoce dos equipamentos e emissões indesejadas de poluentes [CENBIO, 2001].

Para que o biogás possa ser utilizado em um sistema de conversão de energia é necessário implantar um sistema de purificação do mesmo. Neste sistema, além da função de remoção dos gases ácidos e umidade, que são prejudiciais aos motores de combustão, também é possível potencializar a concentração de metano no biogás.

Como exemplo de aplicação de sistema de conversão de energia, pode-se observar a Tabela 7.8, elaborada a partir dos resultados obtidos pelo projeto denominado Programa de Uso Racional de Energia e Fontes Alternativas (PUREFA), da USP, financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), em parceria com o Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO) e a Escola Politécnica da USP, onde o biogás produzido é tratado e alimenta um motor para gerar energia elétrica.

**Tabela 7.8- Análise Composição do Biogás - Projeto PUREFA**

Compostos Químicos	% Vol ou ppm	
	Antes sistema de purificação	Após sistema de purificação
O <sub>2</sub> (Oxigênio)	1,23%	0,89%
N <sub>2</sub> (Nitrogênio)	15,5%	13,2%
CO <sub>2</sub> (Dióxido de Carbono)	4,75%	4,07%
CH <sub>4</sub> (Metano)	75,8%	80,8%
H <sub>2</sub> S (Sulfeto de Hidrogênio)	649 ppm	< 1,0 ppm
H <sub>2</sub> O (água)	2,62%	0,98%

Fonte: Coelho *et al*, 2006.

A eficiência do sistema de purificação instalado no projeto se comprova pelo decréscimo significativo das concentrações do sulfeto de hidrogênio e água.

O volume de biogás gerado no sistema instalado neste projeto é de 4m<sup>3</sup>/dia, e com este dado foi dimensionado o gasômetro e o grupo motor-gerador ciclo Otto.

De acordo com Coelho *et al* (2006), o gasômetro tem a finalidade de armazenar biogás suficiente para que o motor funcione cerca de duas horas, possibilitando um monitoramento das características do motor. O gasômetro descarta a necessidade de instalar um compressor, que exigiria outra série de equipamentos sofisticados, tais como secadores.

O gasômetro deste projeto foi feito de PVC e possui duas camadas. A interna é preta e resistente o suficiente para conter o biogás. A externa é azul e protege a camada interior do meio ambiente, com um volume útil de 10 m<sup>3</sup>, cujas dimensões são:

- Diâmetro do corpo: 2000 mm;
- Comprimento: 3200 mm.



**Figura 7.16- Imagem do gasômetro projeto PUREFA**

Fonte: Coelho *et al.*, 2006

Para monitorar a produção do biogás com maior facilidade utilizou-se um conjunto sensor-totalizador que foi instalado em conjunto com um manômetro e uma válvula direcional, para em seguida ser instalado o gasômetro.

O Grupo motor-gerador utilizado no projeto PUREFA foi de baixa potência (18kW), pois era o que melhor atendia às necessidades da instalação. Também foi instalado um quadro de comando e um quadro de testes. Este sistema pode ser replicado para o caso da planta industrial em estudo, pois foi implantado com o objetivo de demonstrar a possibilidade de geração de energia elétrica a partir do biogás de esgoto, incentivar a nacionalização de equipamentos para esse fim e a geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis de forma descentralizada.

## **7.7. Análise de viabilidade**

As alternativas aplicáveis para a situação atual da indústria analisada são o aproveitamento do biogás gerado do tratamento de esgoto para a geração de energia elétrica e para a alimentação de caldeira, desde que a característica do biogás gerado atenda às necessidades mínimas de concentração de metano, PCI e remoção de impurezas.

A análise de viabilidade neste caso foi realizada considerando 4 cenários e de posse dos dados referentes aos custos e aos benefícios originados com a implantação do biodigestor e aproveitamento do biogás em cada caso, procedeu-se à análise da viabilidade econômica do sistema, por meio de indicadores de análise de investimentos, que, segundo Dias, *et al* (2013) são: Valor Presente Líquido (VPL)<sup>22</sup>, Taxa Interna de Retorno (TIR)<sup>23</sup> e Período de Recuperação do Capital (*Payback*)<sup>24</sup>.

As premissas utilizadas para o cálculo foram:

- 100% do projeto financiado pelo BNDES na modalidade “BNDES Finame PSI Bens de Capital - Eficiência Energética – MPME” com taxa de juros 4% a.a considerada para a projeção da despesa e para o cálculo de VPL;
- Projeção de crescimento da receita:
  - 7,5% considerando a projeção de aumento das tarifas de energia elétrica;
  - 6% considerando a taxa de inflação para os custos de fornecimento de lenha;
- Estimativa de despesas:
  - Custo operacional de manutenção do biodigestor: 3% do custo de instalação;
  - Custo operacional de manutenção do Grupo motor gerador: 2% do custo de instalação;
  - Custo operacional de manutenção da caldeira: 5% do custo de instalação;
- Período de análise:
  - 20 anos para o tempo de vida útil da caldeira;
  - 10 anos para o tempo de vida útil dos demais equipamentos.

---

<sup>22</sup> Valor Presente Líquido (VPL) expressa o resultado econômico atualizado do investimento. significa, em valores monetários atuais, a diferença entre os recebimentos e os pagamentos de todo o projeto.

<sup>23</sup> Taxa Interna de Retorno (TIR) é definida como a taxa de juros que torna recebimentos e desembolsos equivalentes na data presente. Em termos matemáticos, a TIR é a taxa que iguala o Valor Presente Líquido a zero

<sup>24</sup> Payback ou período de retorno do investimento pode ser calculado de duas formas: Payback simples, onde se calcula o número de períodos necessários para se recuperar o investimento inicial, sem levar em conta o fluxo de caixa e o valor do dinheiro no tempo, e o Payback descontado, que calcula o número de períodos necessários para recuperar o investimento, considerando-se o valor do dinheiro no tempo e ajustando-se os fluxos de caixa a uma taxa de desconto.

### 7.7.1. Cenário 1: Implantação de biodigestor + Grupo Gerador 30kVA

O custo inicial de investimento para este cenário é apresentado na Tabela 7.9 e contempla os investimentos realizados para a captação e aproveitamento do biogás, com implantação de biodigestor, sistema de purificação do biogás, compressor para bombeamento do biogás, quadros de controle e comando e grupo motor gerador de 30kVA a biogás para geração de energia elétrica.

**Tabela 7.9-Custos de Implantação Cenário 1 - biodigestor e grupo motor gerador de 30kVA**

Implantação de biodigestor (adaptação da lagoa anaeróbia existente)	R\$ 110.000,00
Implantação grupo motor gerador 30kW	R\$ 68.000,00
Investimento inicial total	R\$ 178.000,00

O grupo motor gerador com esta capacidade pode fornecer até 250kW diários consumindo em torno de 18m<sup>3</sup> de biogás por hora de funcionamento, que totalizará 180m<sup>3</sup> diários considerando que o período de operação da fábrica atual não passa de 10 horas. Como o biodigestor poderá produzir até 220m<sup>3</sup> diários de biogás, o restante desta produção deverá ser queimado no *flare* que está previsto na instalação do biodigestor.

Desta forma, o grupo motor gerador poderá fornecer até 16% do consumo diário da instalação.

As receitas consideradas são provenientes da redução dos gastos com compra de energia elétrica, observando-se que a taxa de inflação prevista para os anos de 2014 e 2015 estão em torno de 6%, e, 2016 em torno de 5%, e considerando que a projeção do aumento de tarifa de energia elétrica para 2015 está sendo anunciado pelo Banco Central em 11,5%, neste cálculo será projetado o valor médio percentual de 7,5% para o aumento de tarifa de energia elétrica, que resulta em aumento projetado da receita considerada.

O benefício gerado com a produção de biogás foi calculado, por meio do valor monetário que deixou de ser transferido para a concessionária de energia elétrica referente ao consumo de horário de ponta e fora de ponta para o total de energia prevista de ser fornecida pelo grupo motor gerador abastecido a biogás, chegando-se ao valor médio anual de R\$ 20.194,32.

As despesas anuais consideram neste cenário o custo operacional dos equipamentos instalados, sendo de 3% do custo de instalação do biodigestor e 2% do custo de instalação do motor gerador, totalizando o valor anual de R\$ 4.660,00.

Considerando as fórmulas apresentadas por Dias et. al. (2013), chegou-se aos resultados demonstrados na Tabela 7.10, onde se observou uma viabilidade desta alternativa com payback em até 9 anos de operação do sistema proposto.

**Tabela 7.10 – Resultados da Análise Investimento Cenário 1 - biodigestor e grupo motor gerador de 30kVA**

Investimento inicial	Receitas anuais	Despesas anuais	VPL	TIR	payback
R\$ 178.000,00	R\$ 20.194,32	R\$ 4.660,00	R\$ 3.575,86	4,36%	9 anos

### **7.7.2. Cenário 2: Implantação de biodigestor + Caldeira a gás em substituição à caldeira à lenha**

O custo inicial de investimento para este cenário é apresentado na Tabela 7.11 e contempla os investimentos realizados para a captação e aproveitamento do biogás, com implantação de biodigestor, sistema de purificação do biogás, compressor para bombeamento do biogás, quadros de controle e comando e caldeira de 1.000kg/h abastecida a biogás.

**Tabela 7.11-Custos de Implantação Cenário 2 - biodigestor e caldeira à gás**

Implantação de biodigestor (adaptação da lagoa anaeróbia existente)	R\$ 110.000,00
Implantação de caldeira a biogás com sistema de purificação	R\$ 120.000,00
Investimento inicial total	R\$ 230.000,00

Considerando o volume de lenha médio consumido atualmente na indústria analisada, tem-se que a necessidade de biogás para alimentar a caldeira será de 67m<sup>3</sup>/dia. Como o biodigestor poderá produzir até 220m<sup>3</sup> diários de biogás, o restante desta produção deverá ser queimado no *flare* que está previsto na instalação do biodigestor.

As receitas consideradas são provenientes da redução dos gastos com compra de lenha, observando-se que a taxa de inflação prevista para os anos de 2014 e 2015 estão em torno de 6%, e, 2016 em torno de 5%, neste cálculo será projetado o percentual de 6% para os aumentos nos insumos de lenha, que resultam em aumento projetado da receita considerada.

O benefício gerado com a produção de biogás foi calculado por meio do valor monetário que deixou de ser transferido para os fornecedores de lenha, chegando-se ao valor médio anual de R\$ 4.860,00.

As despesas anuais consideram neste cenário o custo operacional dos equipamentos instalados, sendo de 3% do custo de instalação do biodigestor e 5% do custo de investimento inicial da caldeira, totalizando o valor anual de R\$ 9.300,00.

Considerando as fórmulas apresentadas por Dias et. al. (2013), chegou-se aos resultados demonstrados na Tabela 7.12, onde se observou a inviabilidade econômica desta alternativa Tabela 7.10. O *payback* não ocorre nem com 20 anos de operação do sistema proposto.

**Tabela 7.12 - Resultados da Análise Investimento Cenário 2 - biodigestor e caldeira à gás**

Investimento inicial	Receitas anuais	Despesas anuais	VPL	TIR	payback
R\$ 230.000,00	R\$ 4.860,00	R\$ 9.300,00	-R\$ 296.168,33	-	-

### 7.7.3. Cenário 3: Implantação de biodigestor + Grupo Gerador 30kVA + Caldeira à gás em substituição à caldeira à lenha

O custo inicial de investimento para este cenário é apresentado na Tabela 7.13 e contempla os investimentos realizados para a captação e aproveitamento do biogás, com implantação de biodigestor, sistema de purificação do biogás, compressor para bombeamento do biogás, quadros de controle e comando; grupo motor gerador de 30kVA a biogás para geração de energia elétrica e caldeira de 1.000kg/h abastecida a biogás.

**Tabela 7.13 - Custos de Implantação Cenário 3 – biodigestor, caldeira e grupo motor gerador de 30kVA**

Implantação de biodigestor (adaptação da lagoa anaeróbia existente)	R\$ 110.000,00
Implantação de caldeira a biogás com sistema de purificação	R\$ 120.000,00
Implantação grupo motor gerador 30kVA	R\$ 68.000,00
Investimento inicial total	R\$ 298.000,00

Como o biodigestor poderá produzir até 220m<sup>3</sup> diários de biogás, haverá a necessidade de distribuir o volume entre o consumo da caldeira (67m<sup>3</sup>/dia) e o do grupo motor gerador (180m<sup>3</sup>/dia), o poderá ocasionar uma limitação no uso da caldeira, pois o grupo motor gerador deverá ser acionado continuamente para obter a receita de redução de consumo de energia .

As receitas consideradas são provenientes da redução dos gastos com compra de energia elétrica e lenha. Observou-se que a taxa de inflação prevista para os anos de 2014 e 2015 estão em torno de 6%, e, 2016 em torno de 5%, e a projeção do aumento de tarifa de energia elétrica para 2015 está sendo anunciado pelo Banco Central em 11,5%. Neste cálculo

será projetado o valor médio percentual de 7,5% para o aumento de tarifa de energia elétrica e para o valor de m<sup>3</sup> de lenha, que resulta em aumento projetado da receita considerada.

O benefício gerado com a produção de biogás foi calculado, por meio do valor monetário que deixou de ser transferido para a concessionária de energia elétrica. Este valor refere-se, portanto, ao consumo de energia no horário de ponta e fora de ponta para o total de energia prevista de ser fornecida pelo grupo motor gerador abastecido a biogás e também do montante que deixou de ser transferido aos fornecedores de lenha, chegando-se ao valor médio anual de R\$ 25.054,32.

As despesas anuais consideram neste cenário o custo operacional dos equipamentos instalados, sendo de 3% do custo de instalação do biodigestor, 2% do custo de instalação do motor gerador e 5% do custo de investimento inicial da caldeira, totalizando o valor anual de R\$ 10.660,00.

Considerando as fórmulas apresentadas por Dias et. al. (2013), chegou-se aos resultados demonstrados na Tabela 7.14, onde se observou uma viabilidade desta alternativa com payback em até 12 anos de operação do sistema proposto.

**Tabela 7.14 - Resultados da Análise Investimento Cenário 3 – biodigestor, caldeira e grupo motor gerador de 30kVA**

Investimento inicial	Receitas anuais	Despesas anuais	VPL	TIR	payback
R\$ 298.000,00	R\$ 25.054,32	R\$ 10.660,00	R\$ 8.504,69	4,33%	12 anos

#### **7.7.4. Cenário 4: Implantação de biodigestor + Grupo Gerador 30kVA + Caldeira em novas instalações**

Este cenário considera a análise dos custos de implantação de sistema de tratamento de efluentes com aproveitamento do biogás para uma indústria de mesmo porte e características de operação que esteja ainda em fase de projeto, possibilitando assim a decisão de aquisição de equipamentos já direcionados ao aproveitamento energético do biogás.

O custo inicial de investimento para este cenário é apresentado na Tabela 7.15 e contempla os investimentos realizados para a captação e aproveitamento do biogás, com implantação de biodigestor UASB, sistema de purificação do biogás, compressor para bombeamento do biogás, quadros de controle e comando, grupo motor gerador de 30kVA a biogás para geração de energia elétrica e caldeira de 1.000kg/h abastecida a biogás.

**Tabela 7.15-Custos de Implantação Cenário 4 – biodigestor, caldeira e grupo motor gerador de 30kVA – Novas Instalações**

Implantação de biodigestor - UASB	R\$ 36.435,50
Implantação grupo motor gerador 30kW	R\$ 68.000,00
Implantação de caldeira a biogás com sistema de purificação	R\$ -
Investimento inicial total	R\$ 104.435,50

Neste cenário, observa-se que houve uma redução no investimento inicial total do projeto baseado nos fatos:

- O custo do biodigestor representa 25% do custo de implantação da estação de tratamento, visto que se reduzem as despesas com adaptações dos sistemas existentes, bem como se projeta a ETE com as dimensões apropriadas para o biodigestor;
- O custo da caldeira não foi considerado na análise de investimentos necessários, visto que uma caldeira nova a gás custa 15% do valor do modelo de mesma capacidade com sistema de abastecimento a lenha, não se tornando uma necessidade adicional e sim já prevista no projeto original de uma planta industrial.

As receitas consideradas provenientes da redução dos gastos com compra de energia elétrica e lenha são as mesmas do Cenário 3, chegando-se ao valor médio anual de R\$ 25.054,32.

As despesas anuais consideram neste cenário o custo operacional dos equipamentos instalados, sendo de 3% do custo de instalação do biodigestor, 2% do custo de instalação do motor gerador e 5% do custo de investimento inicial da caldeira, totalizam o valor anual de R\$ 2.453,07.

Considerando as fórmulas apresentadas por Dias et. al. (2013), chegou-se aos resultados demonstrados na Tabela 7.16 onde se observou uma viabilidade desta alternativa com payback em até 5 anos de operação do sistema proposto.

**Tabela 7.16 - Resultados da Análise Investimento Cenário 4 – biodigestor, caldeira e grupo motor gerador de 30kVA – Novas Instalações**

Investimento inicial	Receitas anuais	Despesas anuais	VPL	TIR	payback
R\$ 104.435,50	R\$ 25.054,32	R\$ 2.453,07	R\$ 12.609,29	7,98%	5 anos

## 8. DISCUSSÕES

Considerando-se os aspectos legais relacionados à atividade industrial do segmento de bebidas, observa-se que a legislação vem acompanhando as mudanças tecnológicas e as tendências mundiais no que se refere à sustentabilidade. Entretanto, de acordo com Fontenele *et al* (2006), a legislação ambiental precisa ser repensada, pois a prática de controle de “fim de tubo” não é ideal.

Por outro lado, a prática de novas abordagens de processo só irá trazer benefícios para as empresas, sendo assim, se fazem necessários programas que intensifiquem a discussão no meio empresarial sobre a utilização de tecnologias mais eficientes, no sentido de melhorar o rendimento dos processos produtivos e a preservação do meio ambiente [FONTENELE *et al*, 2006].

Existem tecnologias alternativas disponíveis no mercado que contribuem significativamente para o setor industrial, inserindo-o nas propostas de emissão zero, sustentabilidade e responsabilidade socioambiental, que podem proporcionar retornos financeiros, ambientais e sociais [FONTENELE *et al*, 2006].

Quanto ao impacto ambiental da indústria de refrigerantes, de modo geral, pode-se dizer que os principais impactos ambientais da fabricação de refrigerantes são: a elevada carga orgânica, a presença de sólidos em suspensão nos efluentes ou a geração de resíduos de rótulos e vasilhames danificados [VENTURINI FILHO, 2010].

A emissão de resíduos líquidos, sólidos e gasosos liberados pelas indústrias é um dos maiores responsáveis pelo agravamento dos problemas ambientais, devido ao fato de que esses resíduos industriais geralmente são tratados de forma ineficiente. A maioria das empresas descarta livremente seus resíduos na atmosfera, nos mananciais superficiais, nos esgotos urbanos e nos sistemas de coleta de lixo das cidades [FONTENELE *et al*, 2006].

No caso de tratamento de efluentes analisado, entre as diversas alternativas utilizadas atualmente, neste trabalho abordou-se os métodos de lagoas e reatores anaeróbios com enfoque à aplicabilidade na indústria pesquisada. Nota-se que, de acordo com Bohrz (2010), esses processos anaeróbios utilizados em conjunto com sistemas aeróbios permitem alta eficiência na remoção de carga orgânica e redução nos custos de operação de uma planta de tratamento de efluentes.

No Brasil, segundo Sereno Filho *et al* (2013), os processos mais utilizados e indicados são compostos por três etapas: tratamento preliminar, tratamento secundário (com prévia correção do pH e adição artificial de nutrientes, com uso de reatores anaeróbios) e pós-tratamento em lagoa seguida de decantação (polimento).

As vantagens da associação de um sistema anaeróbio seguido de um aeróbio vêm do fato do sistema anaeróbio promover uma remoção inicial de carga orgânica substancial com baixa geração de lodo. Outra vantagem do sistema é que há geração de metano que pode ser utilizado futuramente como insumo no próprio processo industrial (caldeiras, empilhadeiras) [SERENO FILHO, 2013].

De acordo com Santos e Ribeiro (2005), antes do tratamento biológico, deve-se construir um tanque de neutralização, onde o pH deve ser corrigido próximo à neutralidade para fornecer as condições para o bom desempenho do reator anaeróbio. Ainda no tanque de neutralização, podem ser adicionados os nutrientes (fósforo e nitrogênio) ao efluente, quando necessário. O efluente do reator anaeróbio pode ser recirculado para o tanque de neutralização. Depois do reator anaeróbio, o efluente passa para a etapa aeróbia de pós-tratamento.

Os parâmetros que determinam a capacidade de um reator anaeróbio podem ser classificados em fatores microbiológicos (atividade microbiana, crescimento microbiano) e físicos (capacidade de retenção de microrganismos, contato efluentes/microrganismos). Os fatores microbiológicos estão ligados a parâmetros fisiológicos como: temperatura, pH, alcalinidade e a presença de compostos inibidores [SERENO FILHO, 2013].

Dentre os métodos mais aplicáveis para o caso de uma indústria de bebidas, segundo Sereno Filho *et al* (2013), o tratamento de efluentes de concepção anaeróbia, seguido por tratamento aeróbio e polimento mostrou-se bastante eficiente, tendo apresentado no referido estudo de caso, elevadas eficiências médias de remoção de DQO e DBO, da ordem de 90 a 96%, atendendo aos padrões ambientais.

Lamo & Dias (2014) compararam os parâmetros dos reatores UASB e IC, tendo concluído que o desenvolvimento do Reator Anaeróbio de Circulação Interna (IC) contribuiu para aumentar a viabilidade de implantação do processo anaeróbio para o tratamento de efluentes de indústrias de bebidas. Neste caso, apresenta as vantagens de menor área necessária para implantação, menor suscetibilidade a produtos tóxicos/sobrecargas orgânicas/choques de temperatura e pH e, principalmente, menor custo de implantação.

Na Tabela 8.1, segue a comparação entre os parâmetros de projetos para Reatores UASB e IC para uma indústria de bebidas com vazão média de efluentes de 100m<sup>3</sup> e carga orgânica de 6.000 kg DQO/dia.

Dados considerados no dimensionamento:

- Vazão = 2.400 m<sup>3</sup>/dia;
- SST (sólidos suspensos totais) = 200 mg/l;
- Vazão média = 100 m<sup>3</sup>/h;
- Temperatura = 30°C;
- DQO = 2.500 mg/l;
- pH = 5 – 11
- DBO = 1.670 mg/l;
- Carga Orgânica = 6.000 Kg DQO/dia

**Tabela 8.1 - Dimensionamento Indústria de Bebidas - Reator UASB e IC**

PARÂMETROS	UNIDADE	UASB	IC
Volume do reator	(m <sup>3</sup> )	660	240
Área ocupada	(m <sup>2</sup> )	120	12,6
Altura do reator	(m)	5,5	20,0
Taxa de aplicação	(Kg DQO/m <sup>3</sup> dia)	9,0	25,0
Tempo de detenção	(h)	6,6	2,4
Velocidade líquido	(m/h)	0,8	8,0
Velocidade biogás	(m/h)	0,7	7,2

Fonte: LAMO & DIAS, 2014

Na comparação apresentada na Tabela 8.1, observa-se que o Reator IC ocupa menor área do empreendimento e apresenta menor tempo de detenção, aceitando uma maior taxa de aplicação diária a atingindo velocidades de líquido e biogás superiores a 10 vezes as do reator UASB. Isto, segundo Lamo & Dias (2014), torna o reator IC ideal para o tratamento de efluentes de baixas e médias concentrações encontradas nas indústrias de bebidas.

Com relação ao tratamento de efluentes industriais, merecem destaque as indústrias de refrigerantes, laticínios, cervejarias e alimentos. Grande parte dessas indústrias usam processos anaeróbios para o tratamento dos seus efluentes e, quando a opção é o Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente o potencial de geração, recuperação e uso energético do biogás é potencializado significativamente. Como exemplo, pode-se citar que os efluentes

líquidos das cervejarias do Brasil, tratados por processo anaeróbio em reatores, deixam de gerar hoje cerca de 20MW de eletricidade [CENBIO, 2001].

Observou-se nesta pesquisa que na escolha da tecnologia de conversão do biogás, deve-se levar em conta também, além da quantidade e concentração de biogás, a presença de umidade, gases inertes e de gases ácidos, estes últimos responsáveis por corrosão precoce dos equipamentos e emissões indesejadas de poluentes. Segundo CENBIO (2001), todas as questões técnicas têm solução, como o uso de metais mais resistentes à corrosão nos motores para impedir sua deterioração.

Também a instalação de lavadores de gases, filtros, desumidificadores, bem como de compressores para o biogás, são opções disponíveis (e, em muitos casos, imprescindíveis) para o beneficiamento do biogás. Evidentemente, sua aplicação tem como limitante o equilíbrio econômico do empreendimento [CENBIO, 2001].

No levantamento realizado pela revista Brasil Energia [RAMALHO, 2014], aponta 10 projetos de usinas de biogás que começam a operar a partir de 2014, com capacidades de mais de 7MW, distribuídas por seis estados. Na Tabela 8.2 estão relacionados os projetos e suas características.

**Tabela 8.2 – Projetos de Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil em 2014.**

UF	Empresa Responsável	Capacidade instalada	Local	Fonte
PR	Itaipu/Copel	1 MW	Entre Rios do Oeste	Dejetos suínos
SC	Eletrosul	400 kW	Itapiranga	Dejetos suíno
SC	Ambiental Saneamento, JMalucelli e CMC Ambiental	1,1 MW	Itajaí	RSU <sup>25</sup>
RS	CEE	660 kW	Porto Alegre	Resíduos Orgânicos
RS	Consórcio Verde Brasil	5 mil m <sup>3</sup> /dia	Montenegro	Resíduos Orgânicos
SP	CGR Participações e Estre Ambiental	3MW	Guataporá	RSU
GO	CELG	900 kW	Indústria alimentícia	Efluentes Líquidos
RJ	Dois Arcos	NI <sup>26</sup>	São Pedro da Aldeia	RSU
RJ	Comlurb	2.000 m <sup>3</sup> /h	Rio de Janeiro	RSU
PE	CELPE	200 kW	ND <sup>27</sup>	RSU e Efluentes líquidos

Fonte: Ramalho, 2014

Ramalho (2014) observa que diante da desaceleração do mercado mundial de crédito de carbono e da dura concorrência de usinas eólicas e hidrelétricas nos últimos leilões regulados de eletricidade, o aproveitamento energético do biogás avançou a passos lentos

<sup>25</sup> RSU: Resíduos Sólidos Urbanos

<sup>26</sup> NI: não informado

<sup>27</sup> ND: Não definido

desde a publicação do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em 2010. Ainda assim, o setor de biogás não parou e apresenta a aposta de concessionárias e da iniciativa privada em projetos piloto ou de pesquisa e desenvolvimento (P&D) movimentando um mercado ainda incipiente no Brasil, mas promissor.

De acordo com Salomon (2007), o uso do biogás como fonte energética se encaixa dentro da geração distribuída no Brasil, pois cerca de 81% da oferta total de energia elétrica no país, são asseguradas pelas grandes centrais hidrelétricas distante do grandes centros de consumo, a necessária implementação de novas alternativas de geração de eletricidade deve considerar questões tão diversas como distribuição geográfica da produção, confiabilidade e flexibilidade de operação, disponibilidade de preços de combustíveis, etc.

A geração de eletricidade a partir de resíduos orgânicos poderá emergir, principalmente em menor escala, associada ao consumidor, que certamente terá um papel importante, visto ser provavelmente a única forma de garantir a implementação de capacidade adicional em curto prazo. Assim a geração distribuída deverá adequar-se às necessidades do mercado energético brasileiro procurando sempre melhorar e aumentar a eficiência dos recursos energéticos disponíveis e reduzir os impactos ambientais decorrentes do seu processo [SALOMON, 2007].

No caso da indústria analisada, a opção de implantação de biodigestor através da cobertura da lagoa anaeróbia foi recomendada considerando a viabilidade da implantação e aproveitamento das instalações atuais. No entanto, para o caso de uma nova unidade fabril o ideal seria considerar na análise a viabilidade de implantar reatores mais eficientes que potencializem a produção do biogás além de aperfeiçoar a remoção dos poluentes.

A geração de energia com o biogás de tratamento de esgotos apresenta consequências duplamente benéficas, pois irá colaborar com a viabilidade econômica do saneamento urbano servindo como incentivo ao bom gerenciamento sanitário.

Os resultados da análise de viabilidade apontaram viabilidade econômica para a implantação de 3 dos 4 cenários estudados conforme demonstrado na Tabela 8.3, onde observa-se que a melhor alternativa para a planta industrial em estudo, apesar de ter um payback de 9 anos, será a implantação do biodigestor adaptando-se a lagoa anaeróbia existente para aproveitamento do biogás na geração de energia elétrica através da implantação de grupo motor gerador de Ciclo Otto de 30kVA.

Adicionalmente também se pode citar que os ganhos ambientais devem ser considerados na decisão da implantação de sistema de aproveitamento energético do biogás.

**Tabela 8.3 - Resumo Resultados Análise de Viabilidade**

<b>Cenários</b>	<b>VPL</b>	<b>TIR</b>	<b>payback</b>
Cenário 1	R\$ 3.575,86	4,36%	9 anos
Cenário 2	<b>-R\$ 296.168,33</b>	-	-
Cenário 3	R\$ 8.504,69	4,33%	12 anos
Cenário 4	R\$ 12.609,29	7,98%	5 anos

Quanto aos cenários apresentados na análise de viabilidade, outras receitas podem contribuir para a melhora do payback, pois não foram considerados neste estudo os custos e receitas provenientes da venda de créditos de carbono e de biofertilizantes, que são subprodutos do processo de tratamento de efluentes.

Outro item que também impacta na viabilidade é o cálculo da receita referente a redução no consumo da energia, onde considerou-se que o sistema da grupo motor gerador está limitado em suprir 250kW diários devido ao potencial de produção do sistema proposto, o que corresponde a 16% do consumo médio diário medido nas faturas analisadas. Segundo ICLEI (2010), quanto maior a carga orgânica, maior será o potencial para a geração do biogás. Nesse sentido, caso haja alteração nas condições do efluente com efetiva melhoria da carga orgânica, potencializa-se a possibilidade de se chegar a uma análise mais favorável do investimento.

Ressalta-se ainda que para as ETEs, a viabilidade econômica da implantação da alternativa de aproveitamento energético do biogás não é um investimento tão atraente, considerando-se apenas o retorno financeiro obtido das receitas com a venda e/ou economia de energia. No entanto, considerando outros fatores, como a melhoria dos processos de tratamento e economias com saúde pública em decorrência disto, a situação é bem diferente.

Outro fator importante é que, para ETEs já existentes, como é o caso da indústria analisada, as alterações apresentam custos elevados. Entretanto, para o caso de futuras ETEs a serem construídas ou ampliadas, caso se incorpore no projeto inicial o reaproveitamento do biogás, os custos de projeto e implantação ficarão reduzidos e muito mais atrativos conforme estimado no cenário 4, sendo uma alternativa de investimento mais viável que a reforma de ETEs existentes.

De uma forma geral, a produção de energia elétrica a partir de biogás de tratamento de esgoto apresenta as seguintes vantagens:

Para a sociedade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geração descentralizada e próxima aos pontos de carga, a partir de uma fonte renovável que vem sendo tratada como resíduo;</li> <li>- Colaboração para a viabilidade econômica do saneamento básico</li> </ul>
Para as ETE's ou indústrias com ETE's	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução na quantidade de eletricidade comprada da concessionária;</li> <li>- Possibilidade eventual de venda de eletricidade à rede;</li> <li>- Possibilidade de uso de processos de cogeração, ou seja, a geração de eletricidade tem como subproduto calor, a ser usado no tratamento do esgoto, ou mesmo ser vendido a terceiros.</li> </ul>
Para o meio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução das emissões de metano para a atmosfera, pois este também é um importante gás de efeito estufa;</li> <li>- Redução do consumo de combustíveis fósseis, principais responsáveis pelo aumento do efeito estufa;</li> <li>- Redução na geração de odor nas vizinhanças, de chorume e de contaminação hídrica.</li> </ul>

Quanto à eficiência energética da planta instalada, além do aproveitamento do biogás foi possível constatar três oportunidades de redução de consumo de energia elétrica através da análise das faturas de janeiro a agosto/2014, que apesar de não ser o foco da metodologia desta pesquisa são fatores importantes que devem ser mais bem detalhados em trabalhos futuros:

1. Readequação da demanda contratada de 400 kW para 365 kW, projetou-se que a redução no custo anual da energia será de R\$ 5.304,60;
2. Implantação de banco de capacitores de 50kVar na entrada da indústria, estimou-se a redução das cobranças de excedentes de energia reativa chegando ao valor anual de R\$ 7.200,00;
3. Readequação da classe tarifária de Verde para Azul

Estas oportunidades de redução podem ser melhoradas através da execução de projeto de eficiência energética, a ser realizado através de levantamento das cargas instaladas e suas características operacionais. Desta forma, é possível identificar os ajustes a serem realizados na instalação ou até mesmo no planejamento do processo produtivo com o objetivo de promover a redução no consumo de energia e a melhoria da qualidade da rede interna da indústria.

## 9. CONCLUSÕES

A utilização do biogás como fonte de energia renovável para promover a eficiência energética do processo produtivo industrial é uma alternativa que atende à necessidade de preservação do meio ambiente através de atividades que possuem como princípio a sustentabilidade.

Todavia, a relação custo-benefício demanda grandes esforços e análises de alternativas que busquem práticas produtivas menos poluentes, energeticamente eficientes e economicamente viáveis, que justifiquem os investimentos necessários a sua implantação.

O presente trabalho avaliou o sistema de tratamento de efluentes e o processo de produção de uma indústria de refrigerantes cuja área construída é de 3.814m<sup>2</sup>, localizada no estado de Mato Grosso do Sul, com o objetivo de identificar o potencial de geração de biogás e as oportunidades de aproveitamento energético deste nas demandas de consumo de energia elétrica, térmica e mecânica da planta industrial em operação desde dezembro/2013.

Observou-se pelo levantamento realizado na indústria que o sistema de tratamento de efluentes implantado é eficiente na remoção de poluentes, porém não evita a emissão de metano para a atmosfera. A alternativa neste caso seria a implantação de um biodigestor que pode promover a eficiência do sistema de tratamento além de possibilitar a captação do biogás.

Contudo, o efluente encontrado nesta indústria possui carga orgânica e volume apropriados para a biodigestão, mas produzirá um biogás com baixa concentração de metano. Apesar deste fato, foram analisadas as alternativas de aproveitamento para abastecimento da caldeira em substituição à lenha, abastecimento da empilhadeira em substituição ao GLP e para a geração de energia elétrica.

Considerando os valores apresentados na análise de viabilidade, observa-se que a implantação do biodigestor com aproveitamento do biogás para a geração de energia elétrica é a alternativa que se viabiliza em menor tempo (9 anos), visto que o custo de implantação da caldeira é o maior entre as opções analisadas e a receita considerada na análise de viabilidade proveniente da redução no consumo de lenha não cobre nem as despesas anuais de operação do sistema.

Por outro lado, este estudo demonstrou também a necessidade de se considerar no projeto de novas instalações, o conceito de aproveitamento energético de biogás gerado a partir de tratamento de efluentes industriais. Conforme observado no Cenário 4, a viabilidade de implantação se torna muito mais atrativa e considerável quando evita-se a necessidade de readequações e adaptações em ETE's existentes que não foram projetadas com biodigestor no processo de tratamento, além de possibilitar a aquisição de equipamentos apropriados para o uso do biogás.

Adicionalmente também deve ser ressaltado que os ganhos ambientais indiretos devem ser considerados na decisão de investimentos para a finalidade de aproveitamento energético, visto que ainda podem ser somados no cálculo de viabilidade financeira os incentivos fiscais possíveis de serem aplicáveis para projetos desta natureza.

Outro fator de importância considerável é que quanto mais eficiente o sistema de biodigestão e quanto maior a carga orgânica do efluente, maior será a produção do biogás, e, por conseguinte a produção de energia, sendo que no caso de excedente ao consumo da planta industrial, a venda desta para a rede da concessionária também pode ser considerada como uma fonte alternativa de renda que contribui para melhorar a atratividade de investimentos.

No caso analisado, não foi possível considerar o atendimento à demanda de GLP para abastecimento das empilhadeiras devido à limitação da capacidade de produção de biogás da ETE existente.

No entanto, em plantas de indústrias que apresentem efluentes de altas cargas orgânicas e volume maior, a capacidade de produção do biogás será mais efetiva, possibilitando aumentar o atendimento às demandas energéticas do processo produtivo.

Nesse cenário, é possível avançar a pesquisa quanto à metodologia utilizada no tratamento dos efluentes com o objetivo de verificar a produção e consumo do biogás mediante a aquisição de equipamentos, e, ainda, investir em técnicas de envase e armazenamento do biogás, possibilitando dessa forma, aperfeiçoar o uso dessa importante fonte de energia renovável, constituindo assim, foco de novos estudos.

Por outro lado, a análise tarifária também é ferramenta importante no estudo de eficiência energética, pois através dela identificam-se oportunidades de redução no consumo de energia elétrica, bem como de melhoria de qualidade da rede interna da planta industrial.

Neste estudo, não foi considerada a análise de oportunidades de eficiência energética através da realização de diagnóstico energético das instalações da planta instalada e onde é possível identificar todas as demandas de energia dos equipamentos considerando o perfil

operacional de acordo com a sazonalidade do processo produtivo. Indica-se neste caso, também como uma possibilidade de trabalho futuro visando à redução de consumo e utilização otimizada dos equipamentos instalados.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

A3 Projetos e Consultoria Ambiental. Plano de Controle Ambiental – PCA: Indústria A. Campo Grande, 2012: 26p. Projeto apresentado à indústria em outubro/2012.

AGENDA 21/Resumo. Cúpula da Terra: Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Rio de Janeiro, Brasil, 3-14 de junho de 1992, Centro de Informação das Nações Unidas, 46 p.;

ABEPET- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE EMBALAGENS PET, Site corporativo, disponível em [www.abepet.com.br](http://www.abepet.com.br), consultado em 10/02/2014

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR – 10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação. 1987.

BACKHUS Eco engeneers. Glossário Técnico de Compostagem. Disponível em: <http://www.backhus.com/7-3-Glossrio-tenico.html>. Acesso em 22/04/2014.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES. Panorama do Setor de Bebidas no Brasil. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 23, p. 101-150, mar. 2006

BOHRZ, Gabrieli I. Geração de Metano em Lagoa Anaeróbia: Um Estudo de Caso em Abatedouro de Bovinos. Dissertação de Mestrado. Pós Graduação em Engenharia de Processos. Área de Concentração em Desenvolvimento de Processos Agroindustriais e Ambientais. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Santa Maria, RS. 2010.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 357, de 18 de março de 2005. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e

altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 mai, 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 237 de 19 de Dezembro de 1997. Dispõe sobre o licenciamento ambiental para empreendimentos potencialmente poluidores, seus fins e mecanismos e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 1981.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado, 1988.

BRASIL, Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. Rio de Janeiro, 10 de julho de 1934.

BRASIL, Decreto nº 4.851, de 02 de outubro de 2003. Altera dispositivos do regulamento aprovado pelo Decreto nº 2.314, de 4 de setembro de 1997, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Brasília, DF, 2003. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 out. 2003.

BRASIL, Decreto nº 3.510, de 16 de junho de 2000. Altera dispositivos do regulamento aprovado pelo Decreto nº 2.314, de 4 de setembro de 1997, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Brasília, DF, 2000. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 jun 2000.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, Cria o sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, DF, 1997. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 jan. 1997.

BRASIL. Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.. Brasília, DF, 1981. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 31 ago. 1981.

BRASIL. Lei Federal nº 8.918, de 14 de julho de 1994. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas, autoriza a criação da Comissão Intersectorial de Bebidas e dá outras providências. Brasília, DF, 1994. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 jul. 1994.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF, 2010. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 ago. 2010.

BRASIL.. Ministério da Agricultura e Abastecimento – MAPA. Portaria Nº. 544, de 16 de novembro de 1988. Aprova os Regulamentos Técnicos para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade, para refresco, refrigerante, preparado ou concentrado líquido para refresco ou refrigerante, preparado sólido para refresco, xarope e chá pronto para o consumo. Brasília, DF, 1988.

BRASIL, Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal. Brasil: 2012. parte II, p. 127-280.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia – MME. Resenha Energética Brasileira – Exercício de 2013. Edição de Junho de 2014. Brasil, 2014.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente - MMA Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável. Brasil: 2010. Produto 6 – Resumo Executivo.

BRUNDTLAND. Our common future. EUA: Oxford University Press, 1987.

BVS – Biblioteca Virtual em Saúde. Consulta Bactérias Anaeróbias Gram Negativas. Disponível em: <http://decs.bvs.br/vmx.htm>. Acesso em 22/04/2014. 2014a

BVS – Biblioteca Virtual em Saúde. Consulta Bactérias Anaeróbias Gram Negativas. Disponível em: <http://decs.bvs.br/vmx.htm>. Acesso em 14/07/2014. 2014b

CEMPRE- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM, Ficha Técnica-PET, disponível em [http://www.cempre.org.br/ft\\_pet.php](http://www.cempre.org.br/ft_pet.php) , consultado em 10/02/2014.

CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa. NOTA TÉCNICA VII - Geração de Energia a Partir do Biogás Gerado por Resíduos Urbanos e Rurais. Florianópolis, SC, 2001.

CTGÁS-ER – Centro de Tecnologia do Gás e Energias Renováveis.  
Dados de Unidades de Conversão. Natal, RN, 2014.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. “Os Muitos Usos do Diatomito”. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inford=1296&sid=129>. Acesso em: 06/07/2014.

CETESB- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, Nota técnica sobre tecnologia de controle: Fabricação de cervejas e refrigerantes, NT- 24, CETESB, São Paulo, 1992.- 27p.

COELHO, S.T.; VELÁZQUES, S. M. S. G.; MARTINS, O.S.; ABREU, F. C. Sewer Biogas Conversion Into Electricity. XI Congresso Brasileiro de Energia (CBE). Rio de Janeiro, 2006.

COELHO, S.T.; VELÁZQUES, S. M. S. G.; SILVA, O. C.; ABREU, F. C. Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás Proveniente do Tratamento de Esgoto Utilizando um Grupo Gerador de 18 Kw. V CBPE – Congresso Brasileiro de Planejamento Estratégico. Brasília, DF, 2006.

Confederação Nacional da Indústria. Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação. Sustentabilidade na indústria da alimentação: uma visão de futuro para a Rio+20 / Confederação Nacional da Indústria. Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação. – Brasília : CNI, 2012.

Confederação Nacional da Indústria. A indústria e o Brasil: energia e competitividade na era do baixo carbono / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília, 2011.

Confederação Nacional da Indústria. Oportunidades de negócios para a indústria em projetos de eficiência energética com MDL programático: sumário executivo / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília, 2010.

COSTA, David Freire da. Geração de Energia Elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo- USP. São Paulo, 2006

DE ABREU, Mônica Cavalcanti Sá; RADOS, Gregório Jean Varvakis; DE FIGUEIREDO JUNIOR, Hugo Santana. As pressões ambientais da estrutura da indústria. RAE-eletrônica, v. 3, n. 2, p. 1-22, 2004.

DE CARVALHO, ANA CRISTINA PORTUGAL PINTO *et al.* GLOSSÁRIO DE CULTURA DE TECIDOS DE PLANTAS. PLANT CELL CULTURE & MICROPROPAGATION, V.7, N. 1, 2011 p. 30. ABPCT. Lavras-MG, 2011 Disponível em: <http://www.abctp.ufla.br/v7n1.pdf#page=37>. Acesso em: 23/04/2014.

DE SOUZA, Marcelo Pereira. Instrumentos de gestão ambiental: fundamentos e prática. Editora Riani Costa, 2000.

DIAS, Maria Isabel Alencar *et al.* Viabilidade Econômica do Uso do Biogás Proveniente da Suinocultura, em Substituição a Fontes Externas de Energia. Energia na Agricultura, v.28, n.3, p. 155-164, 2013. Disponível em: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/767> Acesso em: 11/08/2014.

DIAZ, G. O. Análise de Sistemas para o Resfriamento de Leite em Fazendas Leiteiras com o Uso do Biogás Gerado em Projetos MDL. Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, 2006.

DOS RIOS, Consórcio Intermunicipal das Bacias. Glossário de Termos Técnicos. Em Gestão de Recursos Hídricos. 5ª Edição. Americana, SP, 2014. Disponível em:

<http://www.agua.org.br/editor/file/Gloss%C3%A1rio%20de%20Termos%20T%C3%A9cnicos%20em%20Gest%C3%A3o%20dos%20Recursos%20H%C3%ADricos.pdf>. Acesso em: 22/04/2014.

ELETROBRÁS – PROCEL. Manual de Conservação de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, 2011.

Empresa de Pesquisa Energética - EPE (Brasil). Balanço Energético Nacional 2012: Ano base 2011 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2012.

EMBRAPA - Suínos e Aves. Sistema de Tratamento de Dejetos de Suínos: Inventário Tecnológico. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/invtec/glossario.html>. Acesso em 14/07/2014. Concórdia, SC, 2014.

FARIA, Rui Alexandre Pereira. Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto – Estudo de caso. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Cascavel, PR:, 2012.

FONTENELE, S. B., GUIMARÃES, J. L. S., SABIÁ, R. J. Legislação ambiental versus tecnologia limpa: uma reflexão junto ao setor industrial do Triângulo Crajubar – CE. XXVI ENEGEP - Fortaleza, CE, 2006. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006\\_TR560372\\_7575.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR560372_7575.pdf). Acesso em 10/02/2014.

GASPAR, M. B. L. Utilização de Biodigestores em Pequenas e Médias Propriedades Rurais com Ênfase na Agregação de Valor: Um Estudo de Caso na Região de Toledo-PR. Dissertação (mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis, 2003.

GUARDIA, Eduardo; HADDAD, Jamil; NOGUEIRA, Luiz; AKIRA, Roberto. Oportunidades de eficiência energética para a indústria: uma visão institucional: sumário executivo. Confederação Nacional da Indústria – CNI. Brasília, 2010.

GOLDEMBERG J. The Case for renewable Energy. Renewables 2004 Conference. Bonn. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ren21.net%2FPortals%2F0%2Fdocuments%2Firecs%2Fren2004%2FThe%2520case%2520of%2520Renewable%2520Energies.pdf&ei=de73Ur7pDdCLkAfEp4DwAw&usg=AFQjCNH4hlHcY1ItHSamnPJ04tNGevEAIQ&sig2=ufQWSMxbYguOrvfwWUnmkw>. Acesso em 09/02/2014.

ICLEI - Brasil - Governos Locais pela Sustentabilidade. Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários. ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2009.

ICLEI - Brasil - Governos Locais pela Sustentabilidade. Manual para aproveitamento do biogás: volume dois, efluentes urbanos. ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2010.

Infopédia. Porto: Porto Editora, 2003-2014. Consulta: malthusianismo. Disponível na www: <URL: [http://www.infopedia.pt/\\$malthusianismo](http://www.infopedia.pt/$malthusianismo)>. Acesso em 22 abril 2014. 2014a

Infopédia. Porto: Porto Editora, 2003-2014. Consulta: Ligações de Van-der-Waals. Disponível na www: <URL: [http://www.infopedia.pt/\\$ligacoes-de-van-der-waals](http://www.infopedia.pt/$ligacoes-de-van-der-waals) >. Acesso em 22 abril 2014. 2014b.

LUCON, Oswaldo; GOLDEMBERG, José. Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil. Estud. av., São Paulo, v. 23, n. 65, 2009 . Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142009000100009&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142009000100009&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 11 mar. 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142009000100009>.

MAIMON, Dália. Eco-estratégia nas empresas brasileiras: realidade ou discurso?. Rev. adm. empres. [online]. 1994, vol.34, n.4, pp. 119-130. ISSN 0034-7590.

MATO GROSSO DO SUL. Lei Complementar nº 93, de 05 de novembro de 2001. Institui o Programa Estadual de Fomento à Industrialização, ao Trabalho, ao Emprego e à Renda (MS-EMPREENDEDOR) e dá outras providências. Diário Oficial do Estado de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 06 nov. 2001.

MATO GROSSO DO SUL. Lei nº 4.049, de 30 de junho de 2011. Dispõe sobre o Programa Estadual de Desenvolvimento Industrial MS Forte-Indústria e dá outras providências. Diário Oficial do Estado de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 01 jul. 2011.

MATO GROSSO DO SUL. Decreto nº 13.606, de 25 de abril de 2013. Dispõe sobre prorrogação de benefícios e incentivos fiscais relativos ao ICMS, concedidos a estabelecimentos industriais com base na Lei Complementar nº 93, de 5 de novembro de 2001, e na Lei nº 4.049, de 30 de junho de 2011 e dá outras providências. Diário Oficial do Estado de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 26 abr. 2013.

NISHIMURA, R. Análise do Balanço Energético de Sistemas de Produção de Biogás em Granjas de Suínos: Implementação de aplicativo computacional. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS. Campo Grande, 2009.

ONU BRASIL. “A ONU e o meio ambiente” [Consult. 2014-04-22]. Disponível na www: <URL:

[https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=0CFEQFjAE&url=http%3A%2F%2Fwww.onu.org.br%2Fa-onu-em-acao%2Fa-onu-e-o-meio-ambiente%2F&ei=NU5WU76QOpOusASFj4HADw&usg=AFQjCNE6pi90OwFgKj0AUuuMIG3u3ST5Fw&sig2=hJPiJahGL39NGRi\\_rL2Rwg](https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=0CFEQFjAE&url=http%3A%2F%2Fwww.onu.org.br%2Fa-onu-em-acao%2Fa-onu-e-o-meio-ambiente%2F&ei=NU5WU76QOpOusASFj4HADw&usg=AFQjCNE6pi90OwFgKj0AUuuMIG3u3ST5Fw&sig2=hJPiJahGL39NGRi_rL2Rwg)

LAMO, P.; DIAS, N. Reatores Anaeróbios de leito expandido para o tratamento de efluentes das indústrias de bebidas. 2014, Paques Brasil Sistemas para Tratamento de Efluentes Ltda, Piracicaba, SP.

PEIXOTO, Guilherme. Produção de hidrogênio em reator anaeróbio de leito fixo e fluxo ascendente a partir de água residuária de indústria de refrigerantes. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

PIEROBON, L.R.P. Sistema de Geração de Energia de Baixo Custo utilizando biogás proveniente de Aterro Sanitário. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, PROMEC, da Escola de Engenharia da UFRS. 2007.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MONTE APRAZÍVEL. Assessoria Municipal de Meio Ambiente. Diretivas Esgoto. Imagem Lagoa Anaeróbia. Disponível em: [http://meioambiente.monteaprazivel.sp.gov.br/fotos/diretivas/esgoto\\_tratado/03.jpg](http://meioambiente.monteaprazivel.sp.gov.br/fotos/diretivas/esgoto_tratado/03.jpg). Acesso em 04/05/2014. Monte Aprazível, SP, 2010.

RIBEIRO, Wankes L. Como calcular a viabilidade de um projeto utilizando técnicas de análise de investimento: Payback Simples, VPL e TIR. Disponível em: <http://www.wankesleandro.com>  
Acesso em 01/08/2014.

RIZZO, A. C. L., LEITE, S. G. F., (2004), “Produção de sulfeto em reator do tipo UASB e sua potencial aplicação na remoção de metais pesados de efluentes”, - Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 102 p. (Série Tecnologia Ambiental, 32)

ROCHA, Carlos Roberto. Oportunidades de eficiência energética para a indústria: relatório setorial: alimentos e bebidas / Carlos Roberto Rocha, Sérgio Bajay, Filipe Debonzi Gorla. – Brasília: CNI, 2010.

SALOMON, K., R. (2007), Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade, Itajubá, 219 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Conversão de Energia) - Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá.

SANTOS, Mateus Sales dos; RIBEIRO, Flávio M. Cervejas e refrigerantes. São Paulo : CETESB, 2005. 58 p. (1 CD) : il. ; 30 cm. (Série P + L). Disponível em : <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>.

SERENO FILHO, J. A., SANTOS, A. F. M. S., BAHÉ, J.M. C. F., GOBBI, C. N., LINS, G.A., ALMEIDA, J. R. Tratamento de Efluentes da Indústria de Bebidas em Reator Anaeróbio de Circulação Interna (IC). Revista Internacional de Ciências v.3 - n.1 jan./jun. 2013.

SGANZERLA, E. Biodigestores: Uma Solução. Porto Alegre: Agropecuária, 1983.

SOUZA, M. A. Eficiência do processo de ultrafiltração seguido de biodigestão anaeróbia no tratamento de efluente de frigorífico de tilápia. Tese de Doutorado – Centro de Aquicultura da Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2010b.

VON SPERLING, Marcos. Características das águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais, 1995

VON SPERLING, Marcos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3ª Edição. Volume 1. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.

VON SPERLING, Marcos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 2ª Edição. Volume 3. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2002.

VENTURINI FILHO, W. G. Bebidas não Alcoólicas: Ciência e Tecnologia – São Paulo: Editora Blucher, 2010, volume 2.

VENTURINI FILHO, W. G. Tecnologias de bebidas: matéria prima, processamento, BPF/APPCC, legislação e mercado – São Paulo: Editora Blucher, 2005.

WEG. Manual para Correção de Fator de Potência. Disponível em: <http://www.weg.net/files/products/WEG-correcao-do-fator-de-potencia-958-manual-portugues-br.pdf>. Acesso em: 01/08/2014. Jaraguá do Sul, SC, 2010.

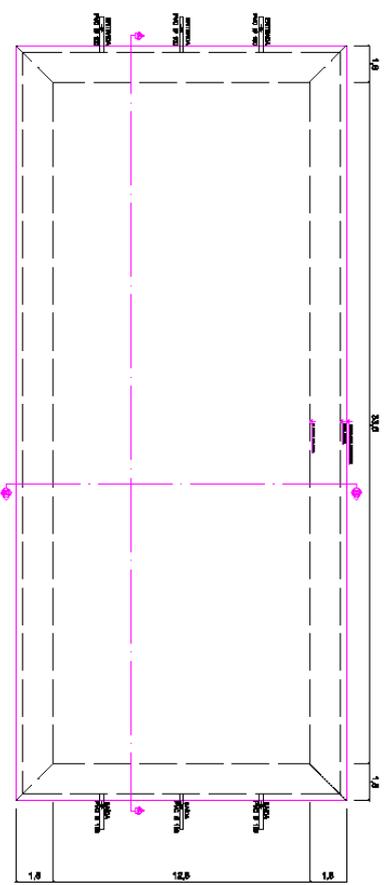
WIKIPEDIA. Consulta: Água Carbonatada. Disponível em: [http://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81gua\\_carbonatada](http://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81gua_carbonatada) . Acesso em: 22/04/2014. 2014a

WIKIPEDIA. Consulta: Bactérias Facultativas. Disponível em: [http://es.wikipedia.org/wiki/Bacteria\\_facultativa](http://es.wikipedia.org/wiki/Bacteria_facultativa) . Acesso em: 14/07/2014. 2014b

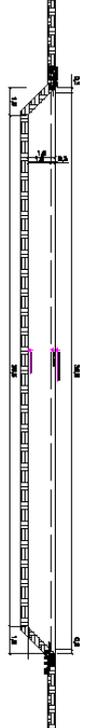
ZANETTE, A. L. Potencial de Aproveitamento energético do biogás no Brasil. Dissertação de Mestrado. Programa de Planejamento Energético, COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. Rio de Janeiro, 2009.

**ANEXO 1 – PLANTAS E CORTES LAGOAS ANAERÓBIA E  
FACULTATIVA**

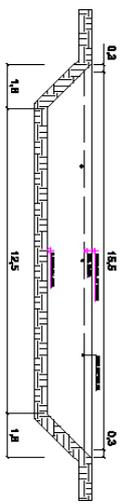
**LAGOA FACULTATIVA**  
ESC. 1:100



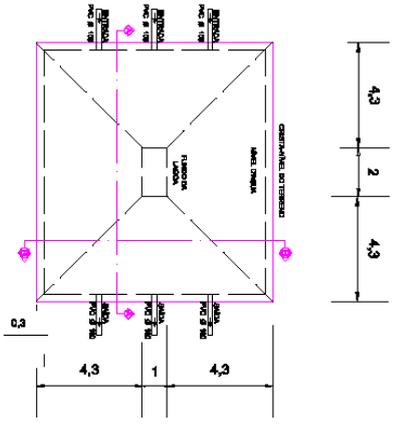
**CORTE A-A**  
ESC. 1:100



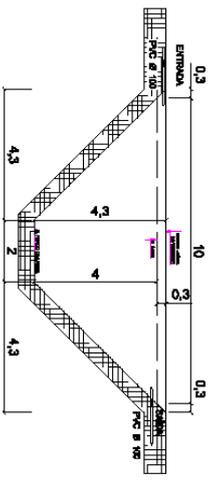
**CORTE B-B**  
ESC. 1:125



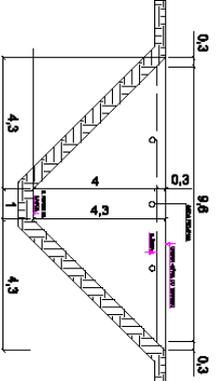
**LAGOA ANAERÓBIA**  
ESC. 1:125



**CORTE A-A**  
ESC. 1:100



**CORTE B-B**  
ESC. 1:100





**Agência Ambiental A3**  
Projetos e Consultoria Ambiental

PROJETO DE IMPLANTAÇÃO  
DO SISTEMA SANEAMENTO DAS ÁGUAS  
DE LAGOAS FACULTATIVAS

LAGOA ANAERÓBIA BRASILEIRINHA  
PLANTA E CORTES

PROJ. EXECUTIVO Nº 449/2006  
REV. Nº 01/01

**ANEXO 2 - DETALHE CALDEIRA MINI M3P-10**

