

HÉLCIO ALEXANDRE RODRIGUES ZILOTTI

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM UMA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO DE CASCAVEL PARA A GERAÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

**CASCAVEL
PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO - 2012**

HÉLCIO ALEXANDRE RODRIGUES ZILOTTI

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM UMA ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ESGOTO DE CASCAVEL PARA A GERAÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, para a obtenção do Título de Mestre em Energia na Agricultura.

Orientador: Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira
Coorientador: Dr. Carlos Eduardo C. Nogueira

**CASCAVEL
PARANÁ - BRASIL
FEVEREIRO - 2012**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Central do Campus de Cascavel – Unioeste
Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

Z65p Zilotti, Hécio Alexandre Rodrigues
Potencial de produção de biogás em uma estação de tratamento de esgoto de Cascavel para a geração de energia elétrica. / Hécio Alexandre Rodrigues Zilotti. — Cascavel, PR: UNIOESTE, 2012.
52 p.

Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira
Coorientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo C. Nogueira
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.
Bibliografia.

1. Fontes alternativas de energia. 2. Biogás. 3. Esgotamento sanitário doméstico. 4. Energia renovável. 5. Digestão anaeróbia. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21.ed. 628.74

HÉLCIO ALEXANDRE RODRIGUES ZILOTTI

“Potencial de produção de biogás em uma estação de tratamento de esgoto de
Cascavel para a geração de energia elétrica”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia
na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada**
pela seguinte Banca Examinadora:

Orientador:


Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel


Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel


Prof. Dr. Evandro Marcos Kölling
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/Toledo

Cascavel, 17 de fevereiro de 2012.

Dedico este trabalho à minha Mulher e aos meus filhos, por estarem sempre a encorajar-me e motivar-me, sem medir tempo e disposição ao meu favor.

Dedico, ainda, à luta do professor Dr. Antonio Gabriel Filho, em seu silêncio há mais de 3 anos, clama em viver e anseia poder dizer: podemos mais.

AGRADECIMENTOS

Aos Anjos de Deus, que há muito acompanham-me, pelas graças por intercessão Dele, para fazer sempre o melhor que posso;

Ao orientador, Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira, sempre a incentivar-me e a mostrar-me novos caminhos e novas formas de pensar;

Aos servidores da Universidade do Oeste do Paraná – UNIOESTE;

Aos profissionais da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR: Carlos Roberto Pinto, Charles Carneiro, Luiz Antonio Lopes, Jair Bischoff, Renato Mayer Bueno, Maurício Azevedo, Denise de Cassia Binder e Luciana Marin Albiero Loureiro;

Ao Engenheiro Magno Luiz Vidotto, exemplo de otimismo, coragem e de superação;

Para Tere, minha mulher, sempre a motivar, apoiar e aceitar estar ao meu lado nos estudos e em todos os momentos;

Aos meus filhos Thiago Matheus e Heloise Christine, pela paciência extra durante a realização deste projeto, fazendo-me entender a simplicidade da vida;

Aos colegas, amigos e profissionais que contribuíram com dados, textos e informações, para a realização do curso e da dissertação.

BIOGRAFIA

Hélcio Alexandre Rodrigues Zilotti nasceu em 28 de junho de 1966, em Cruzeiro do Oeste – PR.

Em agosto/1989, graduou-se no Curso de Engenharia Elétrica, com ênfase para Elétrica, Eletrônica e Telecomunicações, pelo Instituto Nacional de Telecomunicações de Santa Rita do Sapucaí-MG.

Em fevereiro/1998, concluiu o Curso de Especialização em Planejamento e Gestão na Organização Pública pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE.

Em janeiro/2000, concluiu o Curso de Especialização em Direção de Empresas PDEVII pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUC – Curitiba – PR.

Em fevereiro/2010 iniciou o Programa de Mestrado em Energia na Agricultura, na linha de pesquisa de fontes Alternativas de Energia na Agricultura.

Defendeu a dissertação em fevereiro/2012.

Autorizo a divulgação parcial deste trabalho, para qualquer meio, convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Contato com o autor: harz@creapr.org.br

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Esgotos sanitários	3
2.1.1 Conceituação e características	3
2.1.2 Processos de tratamento de esgoto	4
2.2 O Biogás.....	5
2.2.1 Histórico	5
2.2.2 Biogás no Brasil.....	6
2.2.3 Processo de formação do biogás	7
2.2.4 Características dos gases do biogás.....	9
2.2.5 Caracterização do Sulfeto de Hidrogênio	10
2.2.6 Sistemas de produção.....	11
2.2.7 Geração de Energia Elétrica	17
2.2.8 Aspectos Econômicos e Ambientais.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1 Material.....	20
3.1.1 Caracterização da área de estudo da ETE NORTE	20
3.1.2 Características da Área de Avaliação da ETA1	21
3.1.3 Equipamento para análise do biogás	22
3.2 Métodos.....	22
3.2.1 Caracterização do ponto de coleta e dos parâmetros de medição do biogás ..	22
3.2.2 Análises bioquímicas do afluente e efluente da ETE NORTE	24
3.2.3 Equivalência entre o potencial de biogás e energia elétrica em kWh.....	25
3.2.4 Apresentação do consumo e custos com energia elétrica da ETA1.....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Análises Bioquímicas da ETE Norte.....	29
4.2 Medições de vazão de Biogás de forma indireta no reator 2.....	29

4.3	Análise da medição de biogás.....	30
4.4	Avaliação dos gases presentes nas amostras realizadas	31
4.5	Avaliação do potencial do biogás da ETE NORTE e sua conversão em energia elétrica	32
4.6	Avaliação dos dados de uso do biogás para aplicação na ETA1	33
4.7	Análise de uso do biogás da ETE NORTE na geração distribuída.....	34
5.	CONCLUSÕES	35
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Grupos de bactérias metabolizadas envolvidas na digestão anaeróbia de esgoto.	8
Figura 2. Biodigestor modelo Indiano.....	13
Figura 3. Biodigestor Chinês.....	14
Figura 4. Biodigestor Tubular.....	15
Figura 5. Biodigestor modelo RALF/UASB.	16
Figura 6. Vista dos dois RALF's da ETE NORTE.....	20
Figura 7. Leito de secagem da ETE NORTE, recebendo a descarga do RALF.....	21
Figura 8. Vista do RALF N°. 2 montado com o coletador de biogás.	23
Figura 9. Consumo mensal máximo da ETA1 com o potencial de produção através do biogás.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição simplificada dos esgotos	5
Tabela 2 - Composição do Biogás	10
Tabela 3 - Poder calorífico do biogás comparado a outros combustíveis	17
Tabela 4 - Comparação entre biogás purificado e outros combustíveis.....	18
Tabela 5 - Propriedades físicas do metano, gás carbônico e gás sulfídrico	18
Tabela 6 - Materiais básicos existentes no kit de biogás	22
Tabela 7 - Características técnicas do medidor para avaliar biogás	24
Tabela 8 - Metodologias analíticas aplicadas	25
Tabela 9 - Variação do poder calorífico em relação à composição do biogás	26
Tabela 10 - Dados de consumo de energia e custos da ETA1	28
Tabela 11 - Análises Bioquímicas da ETE NORTE no período de 2010 a 2011.....	29
Tabela 12 - Parâmetros para avaliação da vazão do biogás	30
Tabela 13 - Caracterização dos parâmetros das amostras de biogás no RALF-2.....	31

RESUMO

ZILOTTI, Hécio Alexandre Rodrigues, M.Sc.; Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro de 2012. **Potencial de produção de biogás em uma estação de tratamento de esgoto de Cascavel para a geração de energia elétrica**. Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira. Coorientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial de produção de biogás em um Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado (RALF) para a geração de energia elétrica. Tal reator encontra-se na Estação de Tratamento de Esgoto Norte (ETE Rio das Antas), da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), localizada na cidade de Cascavel. A metodologia consistiu-se na avaliação da capacidade de produção de biogás pelo reator e na avaliação da concentração dos gases presentes no biogás produzido. Avaliou-se, também, o potencial de geração de energia elétrica produzida a partir do biogás, para checar se tal potencial seria suficiente para o atendimento em outra unidade, de estação de tratamento de água, denominada ETA1, no horário de ponta. Os principais resultados encontrados permitiram concluir que o biogás produzido apresentou concentração média de gás metano de 74,8%, com um volume de produção diária de biogás de 624 m³ e com potencial de disponibilidade de energia elétrica para atendimento à ETA1 de 35.459 kWh/mês.

Palavras-chave: Fontes alternativas de energia, Biogás, Esgotamento sanitário doméstico.

ABSTRACT

ZILOTTI, Hécio Alexandre Rodrigues, M.Sc.; State University of West of Paraná, in February, 2012; Potential of biogas production in a wastewater treatment station in Cascavel to generate electricity. Advisor: Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira Co-Advisor: Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira.

The purpose of this study was to evaluate the potential of biogas production in an Up Flow Anaerobic Sludge Blanket Reactor (UASB) to generate electricity. Such reactor is located at the North Sewage Treatment Plant (Antas river Station), which belongs to Paraná Sanitation Company (SANEPAR), in the city of Cascavel. The methodology was based on the assessment of the reactor's capacity of biogas production and on the evaluation of the gases concentration in the biogas. The biogas potential for electricity generation was also evaluated, in order to check its capacity to supply to another unit of water treatment plant, called ETA1, at peak hours. The main findings indicated that biogas presented an average methane concentration of 74.8%, with a daily production volume of 624m³ of biogas and a 35,459 kWh / month electric power potential availability to supply ETA1.

Keywords: Renewable energy sources, Biogas, Domestic Sanitary sewer.

1. INTRODUÇÃO

Para a Empresa de Pesquisa Energética (2010), o Brasil apresenta uma matriz de geração elétrica de origem predominantemente renovável, com uma geração interna hidráulica da ordem de 74,0%. Somando as importações, que, essencialmente, também são de origem renovável, pode-se afirmar que, aproximadamente, 86% da eletricidade no Brasil é originada de fontes renováveis.

Segundo Tolmasquim (2003), este percentual deve-se ao fato de ter em seu território um vasto potencial hídrico e relevo adequado à construção dessas usinas. Outro segmento de energias renováveis destacado no Brasil está o etanol, proveniente da cana-de-açúcar, utilizado como mistura na gasolina ou puro. Entretanto, conforme Genovese, et al.(2006), em amplo crescimento está o potencial de origem da Biomassa, a qual se refere a todo recurso renovável proveniente de matéria orgânica que pode ser utilizada como fonte de energia, do ponto de vista energético. Podemos identificar essa biomassa, como sendo a biomassa residual relacionada a todos os resíduos e efluentes das cadeias produtivas rurais, agroindustriais e urbanas, como por exemplo o esterco animal, restos de colheita, plantações energéticas e efluentes agroindustriais e domésticos.

O uso da biomassa residual denota o emprego sustentável de uma fonte de energia e uma excelente diversificação da matriz energética do Brasil, contribuindo com a redução do efeito estufa.

Segundo Sanquetta (2004), o CH₄ presente no biogás de esgoto é cerca de 20 vezes mais prejudicial (mais agressivo) para o meio ambiente do que o CO₂, sendo os principais responsáveis pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa em consequências das emissões de causa antrópica. Torna-se, portanto, muito interessante o aproveitamento energético desse biogás, conciliando a geração de energia elétrica renovável com a questão do saneamento ambiental, através da redução dos gases de efeito estufa.

De acordo com Zanette (2009), dentre as tecnologias utilizadas para o aproveitamento da energia da biomassa, a digestão anaeróbica, desenvolvida principalmente com o objetivo de tratar resíduos e efluentes orgânicos, vem sendo cada vez mais utilizada por permitir a recuperação de energia através do aproveitamento do biogás e nutrientes, bem como prevenir a poluição ambiental. Na Europa, a capacidade instalada em plantas de aproveitamento do biogás é superior

a 2000 MW, concentrada principalmente na Alemanha e Reino Unido, enquanto no Brasil, o aproveitamento do biogás ainda é incipiente, com apenas 42 MW de capacidade instalada e 20 MW em construção.

Considerando a elevada concentração da população brasileira em grandes centros urbanos e a expressiva produção agropecuária e agroindustrial (de resíduos e efluentes domésticos, agropecuários e agroindustriais) é natural acreditar que o atual aproveitamento do biogás no Brasil encontra-se bastante aquém do seu potencial (FIGUEIREDO, 2007).

Tendo em vista o exposto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar o potencial de produção de biogás em um Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado (RALF) da Estação de Tratamento de Esgoto Norte (ETE Rio das Antas), da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), localizada na cidade de Cascavel, para a geração de energia elétrica. Os objetivos específicos foram avaliar a produção de gás metano do reator anaeróbio; avaliar se a energia elétrica potencialmente produzida com o biogás poderia suprir a energia consumida no horário de maior consumo da Estação de Tratamento de Água 1 - ETA1; e avaliar a alternativa do potencial energético para a geração distribuída.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Esgotos sanitários

2.1.1 Conceituação e características

De acordo com Van Haandel e Lettinga (1994), esgoto é o termo usado para a água eliminada após a utilização humana. Pode ter origem doméstica, industrial ou pluvial (água das chuvas). Sem receber o tratamento adequado, causa danos à saúde pública por meio de transmissão de doenças e afeta os recursos hídricos e a vida vegetal e animal ao poluir fontes, rios e mares.

Considerando os esgotos domésticos, estes são constituídos de resíduos resultantes do asseio pessoal, das necessidades fisiológicas, da lavagem de roupas e de utensílios domésticos e da preparação de alimentos. Também são encontrados resíduos sólidos nos esgotos domésticos, que são indevidamente lançados e que deveriam ser dispostos junto ao lixo doméstico (como por exemplo, absorventes, preservativos, trapos etc.) (PEREIRA, 2004).

Além dos sólidos, o esgoto possui gases dissolvidos em concentrações variáveis. Entre os gases dissolvidos presentes no esgoto, os mais importantes são o oxigênio (presente na água antes desta diluir o esgoto), o gás carbônico (resultante da decomposição da matéria orgânica), o nitrogênio, o gás sulfídrico e o metano. Também são encontrados no esgoto incontáveis organismos vivos, a maioria microscópicos, como as bactérias, que se por um lado são causadores de doenças (organismos patogênicos), sendo, portanto, prejudiciais ao homem, outros são ótimos colaboradores para o processo de tratamento, sendo a sua presença fundamental para a depuração dos resíduos (VON SPERLING, 1996)

De acordo com Chernicharo (2007), os esgotos sanitários contêm, aproximadamente, 99,9% de água. A fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microorganismos. Portanto, é devido a essa fração de 0,1% que há necessidade de tratar-se os esgotos.

2.1.2 Processos de tratamento de esgoto

Segundo Van Haandel (1994), os processos de tratamento têm o objetivo de diminuir o potencial poluidor do esgoto antes que ele retorne ao meio ambiente, geralmente, pela separação dos materiais sólidos por meio de processos físicos, químicos e biológicos, existindo vários processos que se diferenciam.

A primeira etapa do processo padrão para o tratamento de esgoto consiste em deter os materiais maiores, tais como: galhos de árvores, objetos conduzidos e arrastados pelo caminho, etc.; os quais ficam presos nos sistemas de “gradeamento”, que possui malhas com espaçamentos diferentes em vários níveis. A seguir, o esgoto passa pelas “caixas de areia” para a retirada dos materiais sólidos granulares (FUNASA, 2004).

A próxima etapa ocorre nos decantadores primários, onde as partículas sólidas sedimentam no fundo do tanque. Entretanto, algumas partículas são muito pequenas e não possuem peso suficiente para precipitar, por isso, é adicionada, no início do processo de tratamento, uma substância coagulante, a fim de unir essas partículas, formando outras maiores e mais densas que consigam sedimentar com seu peso próprio no decantador. Os sedimentos acumulados no fundo do decantador, denominados "lodos", são retirados pelo fundo do tanque e encaminhados para adensadores por gravidade e digestores anaeróbios. Nesses digestores os microorganismos anaeróbios consomem a matéria orgânica constituinte do lodo. Assim, ocorre uma diminuição de 35% – 45% em seus sólidos voláteis. O lodo é, então, previamente desidratado e encaminhado para filtros prensa, onde ocorre uma diminuição ainda maior de seu volume. Após esse processo, o lodo é encaminhado a aterros sanitários ou usado como esterco para a agricultura quando permitido. É nos digestores, durante o processo de oxidação da matéria orgânica, que ocorre a liberação de biogás. Geralmente, parte dele é aproveitada como combustível, muitas vezes, para abastecer equipamentos da própria estação de tratamento como, por exemplo, os secadores térmicos (CHERNICHARO, 2007).

Na Tabela 1, Nuvolari (2003) apresenta a composição dos esgotos, as características dos materiais e das etapas para o respectivo tratamento de cada processo.

Tabela 1 - Composição simplificada dos esgotos

EM MÉDIA	DESCRIÇÃO		
99,9% de água	Água de abastecimento utilizada na remoção de esgoto das economias e residências		
0,1% de sólidos	Sólidos Grosseiros	Grades	
	Areia	Caixa de areia/Desarenador	
	Sólidos sedimentáveis	Sólidos em suspensão	Decantação primária
	Sólidos dissolvidos		Processos biológicos

Fonte: Nuvolari (2003).

2.2 O Biogás

2.2.1 Histórico

O biogás, gás dos pântanos ou fogo fátuo, como era chamado, foi descoberto por Shirley, em 1667. No entanto, só um século mais tarde, Volta reconheceu a presença de metano no gás dos pântanos (ICLEI, 2009).

Já no século XIX, Ulysse Gayon, aluno de Louis Pasteur, realizou a fermentação anaeróbia de uma mistura de estrume e água, a 35 °C, conseguindo obter 100 litros de gás por m³ de matéria. Em 1884, Louis Pasteur, ao apresentar à Academia das Ciências os trabalhos do seu aluno, considerou que essa fermentação constituiria uma fonte de aquecimento e iluminação (ZACHOW, 2000).

No ano de 1859, em Bombaim, realizou-se a primeira experiência de utilização direta de biogás. Já em 1895, teve lugar a primeira experiência européia, com a utilização do biogás para a iluminação de algumas ruas da cidade de Exter, na Inglaterra, a que seguiram-se outras experiências, motivadas, principalmente, pelo entusiasmo inicial que este processo atingiu. Nas décadas de 50 e 60, a relativa abundância das fontes de energia tradicionais, desencorajou a recuperação do biogás na maioria dos países desenvolvidos. No entanto, na Índia e China, com poucos recursos de capital e energia, o biogás desempenhou um papel de certa importância, sobretudo, em pequenos aglomerados rurais (ICLEI, 2009).

A partir da crise energética dos anos 70, o gás metano dos digestores anaeróbios voltou a despertar o interesse tanto por países ricos como países de

Terceiro Mundo. No entanto, em nenhum país o uso dessa tecnologia alternativa foi tão acentuado como na China e Índia.

De acordo com Costa (2006), atualmente, o biogás não é mais encarado apenas como um subproduto, obtido a partir da decomposição anaeróbia, e sim como um forte alvo de pesquisas, que buscam formas de produção energética que possibilitem a redução do uso dos recursos naturais não renováveis.

2.2.2 Biogás no Brasil

A biodigestão anaeróbia é um processo conhecido há muito tempo e seu emprego para a produção de biogás para a conversão em energia de cozimento, iluminação e como biofertilizante é muito popular nos países asiáticos, a exemplo da China e Índia.

O interesse pelo biogás, no Brasil, intensificou-se nas décadas de 70 e 80, especialmente, entre os suinocultores. Programas oficiais estimularam a implantação de muitos biodigestores focados, principalmente, na geração de energia, na produção de biofertilizante e na diminuição do impacto ambiental. Os objetivos dos programas governamentais eram de reduzir a dependência das pequenas propriedades rurais na aquisição de adubos químicos e de energia térmica para os diversos usos (cozimento, aquecimento, iluminação e refrigeração), bem como, reduzir a poluição causada pelos dejetos animais e aumentar a renda dos criadores. Infelizmente, os resultados não foram os esperados e a maioria dos sistemas implantados, acabaram sendo desativados (ICLEI, 2009).

No final da década de 90, um novo movimento, envolvendo o interesse no biogás, começou a aparecer, motivado pela possibilidade da inserção dos processos de anaerobiose no mercado de carbono via MDL (mecanismo de desenvolvimento limpo). Em 2005, com a ratificação da Rússia no protocolo de Kyoto, grande euforia foi gerada, principalmente, para a agropecuária, na esperança de que os projetos e as Reduções Certificadas de Emissão - RCE por si só viabilizariam os empreendimentos (ETCHECOIN, 2000).

A flutuação dos preços recebidos na comercialização das RCEs, dificuldades operacionais, a recente crise mundial, transformaram a expectativa inicial em grande frustração. O biogás, dentro do MDL, é muito importante e apresenta a tendência de

crescimento e valorização sob a ótica do aquecimento global. No entanto, não pode ser visto apenas como única alternativa para o biogás e sim como parte das várias possibilidades para a utilização dentro do leque das energias renováveis.

No final da década passada, a geração de energia elétrica, que até pouco tempo não era considerada nos projetos, passou a ter importância no Brasil, dando um novo impulso ao uso do biogás.

Atualmente esse mercado está bastante aquecido em função da ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica, que na data de 15 de dezembro de 2009, publicou a Instrução Normativa - IN 390/09, através da qual estabelece a necessária regulamentação do Decreto Lei 5163/04, que institui a Geração Distribuída no Brasil.

A Geração Distribuída é aquela realizada por fontes geradoras ligadas diretamente nas redes de distribuição de energia, onde o sistema convencional passa a ser complementada por uma modalidade de geração descentralizada. A IN 390/09 refere-se, exclusivamente, à Geração Distribuída com biogás e saneamento ambiental.

2.2.3 Processo de formação do biogás

De acordo com Van Haandel (1994), a digestão anaeróbia é um processo em que algumas espécies de bactérias, que atuam na ausência de oxigênio, atacam a estrutura de materiais orgânicos complexos, para produzir compostos simples, tais como, metano, dióxido de carbono, deixando na solução aquosa subprodutos como: amônia, sulfetos e fosfatos, extraindo, em simultâneo, a energia e os compostos necessários para o seu próprio crescimento.

A transformação da matéria orgânica em diversas substâncias químicas, no decurso da fermentação anaeróbia, processa-se através de uma cadeia de degradações sucessivas, devido a diferentes tipos de bactérias. Essencialmente, distinguem-se duas fases nos processos de fermentação. A primeira fase é uma transformação das moléculas orgânicas em ácidos graxos, sais ou gás. A segunda é a transformação desses numa mistura gasosa, essencialmente, constituída por metano e dióxido de carbono.

A Figura 1 mostra as diferentes fases do processo de digestão anaeróbia ou degradação anaeróbia:

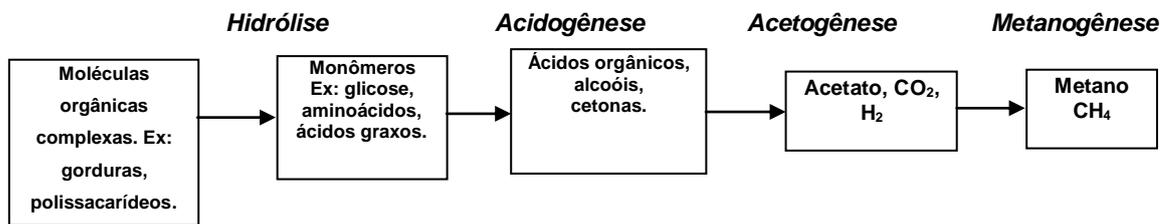


Figura 1. Grupos de bactérias metabolizadas envolvidas na digestão anaeróbica de esgoto. Fonte: Bitton (2005).

Segundo Chernicharo (2007), são vários os fatores que podem afetar a eficiência da produção de biogás. Abaixo são citados e discutidos os de maior relevância.

a) Composição química do resíduo: substâncias orgânicas facilmente biodegradáveis, como os carboidratos, proteínas e lipídeos, proporcionam maior produção de metano que as substâncias de difícil degradabilidade, como celulose, lignina e compostos artificiais.

b) Impermeabilidade ao ar: as bactérias produtoras de metano são anaeróbicas. A decomposição da matéria orgânica na presença de oxigênio produzirá apenas dióxido de carbono (CO₂).

c) Temperatura: a temperatura tem uma influência muito grande no processo enzimático das bactérias formadoras de metano, visto que a 10 °C a atividade das bactérias é muito baixa e acima de 65 °C as enzimas são destruídas pelo calor. A faixa ideal para a produção de biogás está entre 32 e 37 °C, para bactérias mesofílicas, e de 50 a 60 °C, para bactérias termofílicas.

d) Produção e consumo de ácidos orgânicos: o valor de pH durante a biodigestão anaeróbica está ligado à produção de ácidos graxos e a degradação de seus compostos em metano. Quando as condições ótimas de digestão anaeróbica são prejudicadas, ocorre um aumento na concentração de ácidos voláteis, consequência de um desequilíbrio do processo. Durante certo tempo as substâncias que exercem

tamponamento (alcalinidade do meio) impedem a queda do pH. Mas quando for neutralizado pelos ácidos voláteis é que ocorrerá a queda do pH.

e)pH: as bactérias que produzem o metano têm um crescimento ótimo numa faixa de pH entre 6,6 e 7,4. Contudo, a estabilidade da produção de metano pode ser mantida com um pH entre 6,0 e 8,0. A faixa de pH ótima é o resultado das diversas reações que ocorrem. Caso o processo se mantenha dentro das condições de normalidade, o pH se manterá próximo à neutralidade, não afetando a eficiência da geração de biogás.

f)Alcalinidade: a alcalinidade é importante, pois, conforme as bactérias produzem ácidos e dióxido de carbono, implicando na diminuição do pH, o carbonato/bicarbonato consomem esses ácidos, impedindo grandes flutuações de pH (efeito tampão). Quando a quantidade de ácidos voláteis presentes é pequena, a alcalinidade total é, praticamente, igual à alcalinidade em bicarbonato. Quando os ácidos voláteis aumentam, eles são neutralizados pela alcalinidade em bicarbonato.

g)Acidez: a acidez do meio está diretamente relacionada com o pH e com a alcalinidade. Uma alta produção e acúmulo de ácidos voláteis pode consumir rapidamente a alcalinidade do meio e causar a redução do pH. Um exemplo disso é a biodigestão de soro de leite, que pela degradação causa acidificação do meio.

h)Nutrientes: os principais nutrientes para as populações microbianas, em ordem decrescente de importância, são: nitrogênio, enxofre, fósforo, ferro, cobalto, níquel, molibdênio, selênio, riboflavina e vitamina B12. Via de regra, para resíduos de animais não é necessário fazer suplementação de nutrientes para a biodigestão anaeróbia.

2.2.4 Características dos gases do biogás

As características do biogás dependem da pressão, temperatura, umidade, concentração de metano e concentração de gases inertes e/ou ácidos. Pode ser usado nas condições em que é gerado e, dependendo da aplicação, pode ser necessária a redução da concentração de H₂S, CO₂, redução da umidade ou mesmo a elevação da pressão. Em termos gerais, o biogás é composto, majoritariamente,

por gás metano e gás carbônico, sendo outros gases como gás sulfídrico (H_2S), hidrogênio (H_2), e nitrogênio (N_2) presentes a baixas concentrações, como mostrado na Tabela 2, os valores médios obtidos com a análise do biogás.

Tabela 2 - Composição do Biogás

Gás	Símbolo	Concentração no Biogás (%)
Metano	CH_4	50 – 80
Dióxido de carbono	CO_2	20 – 40
Hidrogênio	H_2	1 – 3
Nitrogênio	N_2	0,5 – 3
Gás sulfídrico e outros	H_2S, CO, NH_3	1 – 5

Fonte: La Farge (1979) Apud Coldebella (2006).

O metano (CH_4) é um gás que tem um potencial de efeito estufa 21 vezes maior que o do dióxido de carbono, contribuindo, substancialmente, para o agravamento do efeito estufa e, conseqüentemente, do aquecimento global. O metano produzido no processo de digestão anaeróbica pode causar grande impacto ambiental se for liberado diretamente na atmosfera. Por isso, há a necessidade da sua queima, convertendo o CH_4 para CO_2 , a fim de diminuir o impacto causado ao meio ambiente. Trata-se de um gás incolor, inodoro, altamente combustível. Sua combustão apresenta uma chama azul-lilás e, às vezes, com pequenas manchas vermelhas. Não produz fuligem e seu índice de poluição atmosférico é inferior ao do butano, presente no gás de cozinha (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

2.2.5 Caracterização do Sulfeto de Hidrogênio

O ácido sulfídrico (H_2S), conhecido também como sulfeto de hidrogênio, hidrogênio sulfurado, ácido hidro-sulfúrico, é um gás incolor, mais denso que o ar e exala um odor como ovo podre. O gás é altamente tóxico e irritante, que atua sobre o sistema nervoso, os olhos e as vias respiratórias.

Segundo a ANP, Portaria 104/02, alguns compostos de enxofre na presença de água ocasionam a corrosão de aços (em especial para os aços que contêm níquel) e ligas de alumínio. O gás sulfídrico na presença de oxigênio pode causar

corrosão sob tensão, especialmente em cobre, podendo ser nocivo aos sistemas de transporte, motores e equipamentos do biogás.

Para a geração de energia elétrica ou outros fins da utilização do biogás, é necessário a remoção de alguns componentes do mesmo como: água, partículas, dióxido de carbono e ácido sulfídrico. A presença desses componentes faz o biogás ser menos eficiente, sendo que o ácido sulfídrico é responsável pela corrosão precoce do motor, diminuindo também o rendimento do mesmo. Dessa forma, mesmo existindo em um pequeno percentual no biogás, uma especial atenção deve ser dispensada à presença de H_2S , para a remoção de H_2S como uma estratégia usada para segurança do sistema e aumento de vida útil dos equipamentos (FRARE, 2006).

2.2.6 Sistemas de produção

Um dos sistemas de obtenção do biogás mais conhecidos e utilizados é através de processos de digestão anaeróbia, por intermédio de uma estrutura física construída, denominada de biodigestores.

De acordo com França Junior (2008), o biodigestor é um sistema utilizado para a produção de biogás, que constitui-se de uma mistura de gases combustíveis, cujo principal gás é o Metano (CH_4), produzido por bactérias que digerem matéria orgânica em condições anaeróbicas (isto é, em ausência de oxigênio) na degradação de polímeros orgânicos derivados de matéria biodegradável, como: resíduos alimentícios, lodo de esgoto, lixo doméstico, substrato da cana-de-açúcar, vinhaça, esterco orgânico, plantas aquáticas, efluentes industriais e demais resíduos agrícolas. Nesse caso, quando a digestão anaeróbia é realizada em biodigestores especialmente planejados, a mistura gasosa produzida pode ser usada como combustível, o qual, além de não produzir gases tóxicos durante a queima e de ser uma ótima alternativa para o aproveitamento do lixo orgânico, ainda deixa como resíduo um lodo que é um excelente biofertilizante.

Um biodigestor nada mais é que um reator, no qual as reações químicas têm origem biológica. O biogás produzido depois de purificado é queimado em flares ou usado em grupos co-geradores, produzindo, assim, energia elétrica e energia

térmica. A energia elétrica é utilizada para consumo próprio e o calor é aproveitado para o aquecimento do biodigestor (LAMAS, 2007).

Segundo França Junior (2008), cada biodigestor tem uma característica, existindo os de produção descontínua e os de produção contínua. No primeiro caso, a biomassa é colocada dentro do biodigestor, que é totalmente fechado e somente será aberto após a produção de biogás, o que leva mais ou menos noventa dias. Após a fermentação da biomassa, o biodigestor é aberto, limpo e novamente carregado para um novo ciclo de produção de biogás. No segundo caso, a produção pode acontecer por um longo período, sem que haja a necessidade de abertura do equipamento. A biomassa é colocada no biodigestor ao mesmo tempo em que o biofertilizante é retirado.

Segundo Chericaro (2001), são os biodigestores no Brasil, comuns em vários modelos hidráulicos, que podem pertencer a 2 tipos: os biodigestores de fluxo hidráulico descontínuo (biodigestor de batelada), e o outro grupo o dos biodigestores com fluxo hidráulico contínuo. Neste último grupo está a maioria dos biodigestores encontrados no Brasil, onde os mais comuns são o indiano, chinês, tubular e o UASB/RALF.

Biodigestor modelo indiano: Possui uma campânula como gasômetro e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória é fazer o material circular por todo o interior da câmara de fermentação. Segundo Barrera, foi desenvolvido na Índia, a partir de 1937 e teve seu modelo mais conhecido, de cúpula móvel, lançado por Patel, em 1950. Foi um dos primeiros biodigestores de alimentação contínua a ser amplamente divulgado no ocidente. Foi o modelo que popularizou a produção de biogás, inclusive no Brasil.

A figura 2 apresenta o biodigestor indiano em detalhes, em um desenho em escala para melhor entendimento.

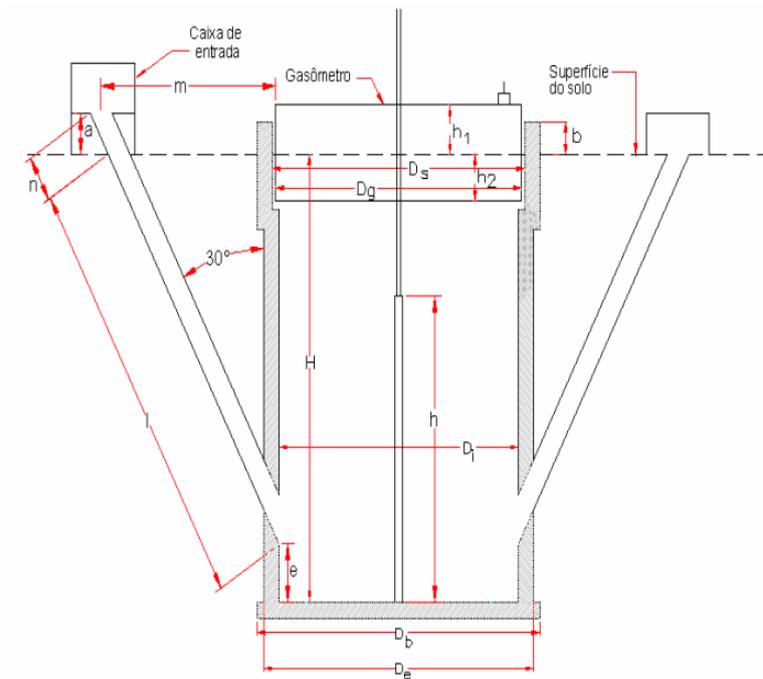


Figura 2. Biodigestor modelo Indiano.
Fonte: Portes (2005).

Biodigestor modelo chinês: É formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria para fermentação, com teto impermeável, servindo para o armazenamento do biogás. Funciona com base no princípio de prensa hidráulica, ou seja, se houver aumento de pressão em seu interior, devido ao acúmulo de biogás, ocorrerão deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário se houver descompressão. Esse modelo foi desenvolvido na China, em 1936. É o biodigestor rural de maior sucesso no mundo, até hoje. Só na China foram construídos mais de 8 milhões de unidades. Por não usar cúpula móvel, pode ser construído inteiramente de alvenaria e, por isso, tem baixo custo e pouca manutenção (BARRERA, 2003). A Figura 3 mostra um biodigestor modelo chinês, em escala.

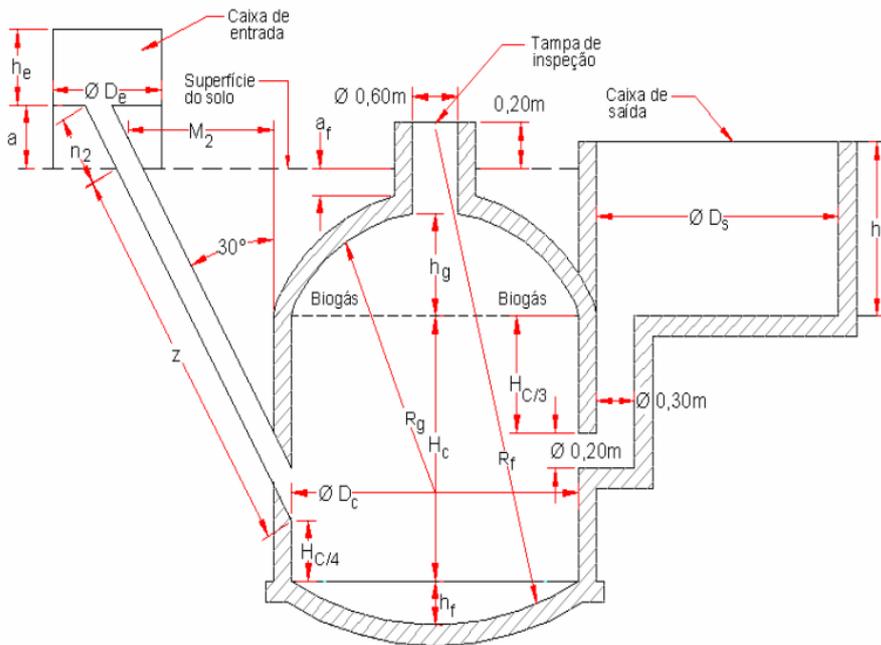


Figura 3. Biodigestor Chinês.
Fonte: Portes (2005).

Biodigestores Tubulares: Segundo Feiden, o biodigestor tubular foi utilizado pela primeira vez na África do Sul, em 1957, com um ótimo resultado, onde despertou muito interesse por sua boa produção de biogás em baixo tempo de retenção hidráulica. Muito difundido nos EUA após o choque do petróleo, foi o biodigestor com maior registro de ocorrências na história. Em geral, é implantado sem qualquer cuidado com seu modelo hidráulico básico e sem cuidados em atender suas exigências de ausência de agitação longitudinal. No Brasil, foi otimizado para as condições locais pelo Professor Reichl, de Quatro Pontes-PR, e sua divulgação fez o interesse do biogás renascer no Brasil. A figura 4 apresenta um biodigestor com o comprimento aproximando de 100 m, utilizando dejetos de bovinos de leite.



Figura 4. Biodigestor Tubular.
Fonte: Gorenstein (2010).

Biodigestores modelo RALF/UASB: São sistemas de tratamento de esgoto que operam com os Reatores Anaeróbios de Leito Fluidizado (RALF), também conhecido como *Up Flow Anaerobic Sludge Blanket Reactors* (UASB), são muito utilizados para tratamento de efluentes, tratando-os de maneira biológica, baseado no processo de estabilização de matéria orgânica.

Segundo Andrade Neto (1997), o funcionamento do RALF consiste, inicialmente, em conduzir o esgoto bruto para um gradeamento fino, a fim de remover os sólidos flutuantes e em suspensão, e a um desarenador para remover sólidos sedimentáveis prejudiciais ao processo. Após o esgoto estar gradeado e desarenado, é conduzido até uma câmara no centro superior do reator; onde é dividido em partes iguais para alimentar tubos difusores, que conduzem o esgoto até o fundo do mesmo. Na parte inferior do reator, o esgoto em fluxo ascendente é misturado com o lodo contido em um manto previamente formado ou inoculado, rico em bactérias anaeróbias. A matéria orgânica contida no esgoto fica retida nesse manto de lodo e é degradada e estabilizada por meio da atividade metabólica das bactérias.

As bactérias contidas no manto de lodo transformam a matéria orgânica suspensa em produtos estáveis, como água, biogás e outros elementos inertes. Na parte superior do reator existe uma parede defletora, que serve de interface da zona de digestão e de decantação. Os gases formados concentram-se na parte superior interna do reator de onde, através de um tubo, podem ser descartados ou

reaproveitados para fins energéticos. A parte sólida arrastada pelos gases retorna ao manto de lodo após o desprendimento das bolhas geradas. O líquido segue para o decantador periférico e é vertido para uma canaleta que coleta todo o efluente tratado e o conduz para o emissário. Esse emissário pode conduzir o efluente para um corpo receptor ou para um pós-tratamento. O lodo excedente gerado no reator deve ser removido periodicamente para leitos de secagem e aterros sanitários (ANDRADE NETO, 1997).

A Figura 5 mostra uma representação esquemática de um reator RALF empregado na Sanepar.

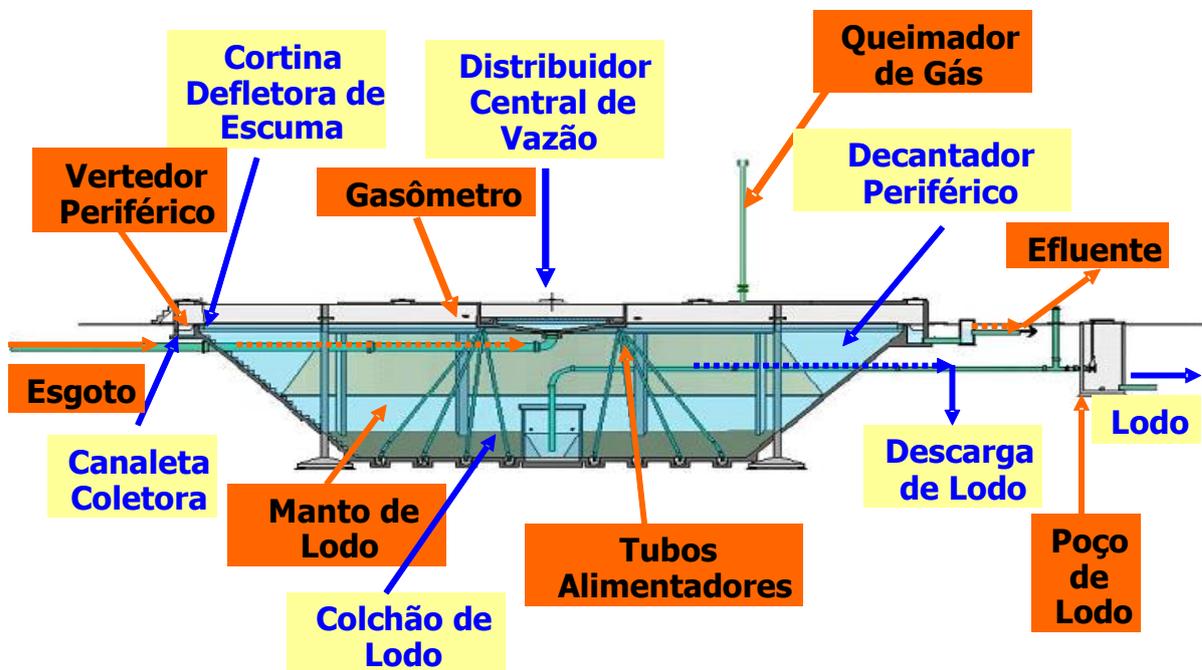


Figura 5. Biodigestor modelo RALF/UASB.
Fonte: Sanepar (2008).

A eficiência do processo, além de depender da temperatura e acidez do meio ambiente, é altamente dependente do tempo de retenção hidráulica, ou seja, o tempo disponível para que as bactérias utilizem o substrato (VAN HAANDEL, 1994).

Sendo a unidade fechada, o biogás produzido pode ser acumulado num gasômetro, permitindo o aproveitamento do elevado potencial energético representado pelo gás metano (FRANÇA JUNIOR, 2008).

2.2.7 Geração de Energia Elétrica

Segundo Costa (2006), o potencial energético do biogás varia em função da presença de metano em sua composição: quanto mais metano, mais rico é o biogás. Quando originário de aterros sanitários, a proporção de metano é, em média, de 50%, quando é gerada em reatores anaeróbios de efluentes a concentração média é mais elevada, atingindo até cerca de 70%. No entanto, comparado com o gás natural (até 95% de metano), apresenta menor poder calorífico, em consequência do menor conteúdo de metano.

A quantidade de energia disponível durante a combustão por unidade de massa ou volume de um combustível é definida como poder calorífico. A densidade relativa do biogás é a relação existente entre seu peso específico e o peso específico do ar.

De acordo com Lima (2005), com o poder calorífico inferior (PCI) em torno de $19.500 \text{ KJ.Kg}^{-1}$, o biogás constitui-se como uma boa fonte de energia. Pode ser transportado e armazenado. O armazenamento do biogás é necessário na maioria das vezes. Entretanto, deve-se ter uma precaução, pois, segundo o autor, mistura de 5% - 14% de metano e ar podem explodir com a ignição, se o volume total for grande. Portanto, esse armazenamento deve ser feito em um reservatório adequado.

A tabela 3 apresenta o poder calorífico inferior do biogás e algumas de suas propriedades.

Tabela 3 - Poder calorífico do biogás comparado a outros combustíveis

Combustível	Biogás	Metano	Álcool
Quantidade	1 m ³	1 m ³	1 litro
Calor liberado kJ	23.400	36.000	19.812
Peso específico kg.m ³	1,2	0,72	809
Poder Cal. Inf. kJ.kg ⁻¹	19.500	50.000	24.490

Fonte: Lima (2005).

A tabela 4 apresenta a comparação entre o biogás e a respectiva equivalência entre os principais combustíveis empregados atualmente como fonte energética.

Tabela 4 - Comparação entre biogás purificado e outros combustíveis

Combustíveis	1m³ de biogás equivale a
Gasolina	0,613 litros
Querosene	0,579 litros
Óleo diesel	0,553 litros
Gás de cozinha (GLP)	0,454 litros
Lenha	1,536 Kg
Álcool hidratado	0,790 litros
Eletricidade	1,428 kWh

Fonte: Barrera (2003).

A tabela 5 apresenta as propriedades físicas dos principais gases do biogás. Observa-se que o armazenamento do biogás é um processo difícil, devido ao fato de o metano ter um volume específico muito alto e ser de difícil compressão.

Tabela 5 - Propriedades físicas do metano, gás carbônico e gás sulfídrico

Propriedades:	Metano (CH₄)	Dióxido de carbono (CO₂)	Gás sulfídrico (H₂S)
Peso molecular	16,04	44,01	34,08
Peso específico Ar=1	0,555 ^a	1,52 ^a	1,189 ^b
Volume específico	1473,3 cm ³ /g ^a	543,1 cm ³ /g ^b	699,2 cm ³ /g ^b

Fonte: PECORA (2006).

Nota: a) 60°C, 1 atm ; b) 70°C, 1 atm ; c) 77°C, 1 atm

Segundo França Junior (2008), em termos de aproveitamento do biogás para geração de energia, o tamanho da ETE é de fundamental importância. Para que a produção de biogás seja regular ao longo de 24 horas, a ETE deverá atender, no mínimo, uma população de 10.000 habitantes, com capacidade de geração de 5.544 kWh/mês.

2.2.8 Aspectos econômicos e ambientais

Conforme Lima (2005), o consumo de energia em uma ETE ocorre na construção do sistema, gastando-se energia nas diversas etapas da execução da obra. Na operação utiliza-se energia nos equipamentos elétricos, para o bombeamento, aeração e no transporte de lodo para recirculação.

De acordo com França Junior (2008), os custos operacionais para a produção de biogás numa planta RALF/UASB, de médio porte, situam-se entre US\$ 0,03/m³ e US\$ 0,05/m³. Para plantas de grande porte esses custos podem baixar para cerca de US\$ 0,02/m³.

Para Coelho, et al. (2003), o primeiro fator econômico a ser analisado é a utilização de um gás combustível de baixo custo (biogás), para a geração de energia elétrica, uma vez que esse biogás é um subproduto de um processo de digestão anaeróbia e que, normalmente, é desprezado nas ETE's e queimado em "flare" para minimizar o impacto ambiental ou emitido diretamente no ar livre, contribuindo para o aumento do efeito estufa.

O biogás de estações de tratamento pode ter um fim mais nobre, podendo ser utilizado como combustível, contribuindo sensivelmente para a diminuição de eletricidade em ETE's, otimizando o uso dos recursos naturais.

Segundo Pecora (2006), o aproveitamento energético do biogás, além de contribuir para a preservação do meio ambiente, também traz benefícios para a sociedade, pois promove a utilização ou reaproveitamento de recursos "descartáveis" e/ou de baixo custo; colabora com a não dependência da fonte de energia fóssil, oferecendo maior variedade de combustíveis; possibilita a geração descentralizada de energia; aumenta a oferta de energia; possibilita a geração local de empregos; reduz os odores e as toxinas do ar; diminui a emissão de poluentes pela substituição de combustíveis fósseis; colabora para a viabilidade econômica dos aterros sanitários e estações de tratamento de efluentes; otimiza a utilização local de recursos; e aumenta a viabilidade do saneamento básico no país, permitindo o desenvolvimento tecnológico de empresas de saneamento e energéticas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Caracterização da área de estudo da ETE NORTE

O trabalho foi realizado na Estação de Tratamento Norte (ETE Rio das Antas), da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), localizada no Município de Cascavel. A ETE Rio das Antas iniciou suas atividades em 1998, através das lagoas anaeróbias. Em 2006, foi ampliada com a construção de 2 RALF's, conforme apresentados na figura 6, com projeto de fim de plano para tratar 200 l.s^{-1} . Atualmente, recebe em média de 110 a 140 l.s^{-1} , atendendo cerca de 85.000 habitantes, correspondendo a 42% do total da população atendida.



Figura 6. Vista dos dois RALF's da ETE NORTE.

Para análise do potencial de produção do biogás foi utilizado um reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado – RALF, com as seguintes dimensões: diâmetro a superfície de 30,0 m, Diâmetro ao fundo de 18,0 m e a profundidade útil de 6,0 m, sendo a sua capacidade de tratamento de 100 l/s e a máxima de 150 l/s, estando em pleno funcionamento (figura 6 acima). Os RALF's são alimentados com esgoto sanitário recebidos da Região Norte da cidade de Cascavel-PR.

O processo de tratamento de esgoto é constituído por um tratamento preliminar (gradeamento, desarenador, medidor de vazão); por um tratamento secundário (reator anaeróbico tipo RALF); pelo sistema de queima de biogás; e pelo sistema de secagem de lodo e lagoas de estabilização facultativas.

A estação opera com uma eficiência operacional adequada, média de 85%, na remoção da matéria orgânica, lançando seus efluentes nas águas do Rio das Antas, de acordo com as condicionantes da sua licença de operação e com a Resolução CONAMA N°430/2011.

Como subproduto, a estação produz, anualmente, cerca de 768 m³ de matéria seca de lodo. O lodo de esgoto é retirado em cerca de 45 dias, mostrado na figura 7, perfazendo um total de 8 ciclos anuais de 96 m³. O material retirado, após secagem, é encaminhado ao aterro sanitário de Cascavel.



Figura 7. Leito de secagem da ETE NORTE, recebendo a descarga do RALF.

3.1.2 Características da área de avaliação da ETA1

A ETA1 é a 2^a unidade de saneamento da cidade de Cascavel em consumo de energia elétrica e a 1^a em importância no sistema de distribuição de água. Esta é responsável pela produção e distribuição de 55% do consumo de água de Cascavel.

Possui as seguintes cargas instaladas em motores elétricos: dois motores de 40 cv; três motores de 60 cv; um motor de 100 cv; dois motores de 125 cv; e um motor de 150 cv. Todos os motores estão instalados na tensão de 380 V, com um fator de carga que está em torno de 60 a 70%, em razão dos equipamentos reservas instalados. Atualmente apresenta-se com uma demanda em torno de 400 kW. A estação de Tratamento de Água - ETA1 está localizada na área central da cidade, distante 6 km do ponto de extração do biogás, na ETE NORTE.

3.1.3 Equipamento para análise do biogás

Para avaliação dos parâmetros do biogás, foi empregado o kit para análise de biogás, fornecido pela empresa Alfakit, em parceria com a Embrapa Suínos e Aves, sendo um kit patenteado. O kit empregado possui o número de série KBA 0125. Esse kit de análise permite a quantificação do gás amônia, do gás sulfídrico, do gás carbônico e do gás metano, presentes no biogás. Esse é composto dos materiais de coleta, reagentes e materiais de análises para avaliação das amostras obtidas. Na tabela 6, estão os principais componentes do kit de avaliação do biogás.

Tabela 6 - Materiais básicos existentes no kit de biogás

02 amostradores de gás (bag).	01 suporte analisador de gás carbônico.
01 seringa para amônia.	1000 ml de água desionizada.
02 seringas - 10 ml e 20 ml.	03 reagentes para amônia de 15 ml.
02 seringas para gás carbônico.	02 reagentes para gás sulfídrico-10 ml e 20 ml.
04 cubetas de vidro de 10 ml	02 soluções de pré-tratamento-20 ml e 500 ml.

Fonte: Alfakit-Embrapa (2011).

3.2 Métodos

3.2.1 Caracterização do ponto de coleta e dos parâmetros de medição do biogás

As coletas de amostras de biogás, das quais avaliaram-se o gás metano, o gás carbônico, o gás sulfídrico e a amônia, foram realizadas na derivação do controle de nível de água do filtro, através de um niple, no qual com a retirada da mangueira de controle de nível, é inserido o amostrador de coleta do gás. Foram extraídas amostras do reator 02, devido ao reator 01 estar parado para uma

manutenção operacional de retirada de espuma. A figura 8 mostra o reator 02 e o ponto de coleta.



Figura 8. Vista do RALF N.º 2 montado com o coletador de biogás.

Na saída do filtro ocorre a conexão com a saída para o amostrador de coleta de gases, também denominado de BAG. Foram realizadas um total de 20 amostras no decorrer de 34 dias. Os horários e os resultados das amostras estão apresentados na tabela 14.

Os gases foram avaliados no próprio laboratório existente na estação da ETE NORTE, onde iniciavam-se as primeiras análises, no máximo de 10 a 15 minutos após as coletas.

Para a análise de amônia e gás sulfídrico, a técnica consistiu em borbulhar o biogás em uma solução, envolvendo dois a três reagentes, e após um tempo pré-estabelecido de 10 minutos, ocorrem as reações químicas. Os valores obtidos encontrados são pela comparação da intensidade de cor desenvolvida, com as cores de uma cartela comparativa, fornecida pelo fabricante, na qual obtém-se as concentrações dos respectivos gases.

Para a análise do gás metano e do gás carbônico, uma amostra do biogás é retirada pelas seringas do kit, onde ocorre a mistura com o reagente específico por borbulhamento em um tempo pré-estabelecido de 2 minutos. Utilizou-se, então, a escala auxiliar no suporte, que resulta na porcentagem de gás carbônico e do gás

metano, pela diferença entre o volume de gás inicial e final. A Tabela 7 descreve os valores padronizados do equipamento.

Tabela 7 - Características técnicas do medidor para avaliar biogás

PARÂMETROS	MÉTODO	INFORMAÇÃO
Amônia	Azul de Indofenol	Cartela de 15 a 1310 ppmV em 2 faixas: - Faixa 1 entre 0,0-15-45-85-175-350-525 ppmV NH ₃ - Faixa 2 entre 0,0-45-110-220-435-875-1310 ppmV NH ₃
Gás sulfídrico	Azul de Metileno	Cartela de 20 a 1020 ppmV em 2 faixas: - Faixa 1 entre 20-40-75-152-230-305-460-610 ppmV H ₂ S - Faixa 2 entre 30-65-130-255-380-510-765-1020 ppmV H ₂ S
Gás carbônico	Orsat	0 – 100% resolução 2,5%
Metano	Orsat	0 – 100% resolução 2,5%

Fonte: Manual do fabricante Alfakit fornecido com o equipamento, 2011.

Nota: ppmV corresponde a mg.m⁻³

3.2.2 Análises bioquímicas do afluente e efluente da ETE NORTE

As características do afluente e do efluente da ETE NORTE foram obtidas pelas análises realizadas no Laboratório de Avaliação de Conformidades da SANEPAR, regional de Cascavel. Conforme determina a legislação, o número de amostras obrigatórias é de periodicidade trimestral, todavia, são realizadas, normalmente, em um número maior. Este estudo compreendeu 11 amostras, no período de 2010 a 2011, todas coletadas na ETE Norte. Selecionaram-se amostras da entrada do afluente e do efluente na mesma data, para uma melhor padronização entre os parâmetros coletados. As amostras do afluente são coletadas na entrada do esgoto inatura, após o gradeamento e as amostras do efluente, na saída do canal de descarga no Rio das Antas (corpo receptor).

A Tabela 8 descreve a metodologia analítica empregada para análise química e bioquímica do lodo da estação de tratamento da ETE NORTE, baseada na metodologia empregada por APHA, AWWA e WEF (2005).

Tabela 8 - Metodologias analíticas aplicadas

Indicador Analítico	Método	Expresso	Unid.
DBO ₅	Respirométrico	O ₂	mgL ⁻¹
DQO	Colorimétrico	O ₂	mgL ⁻¹
Fósforo	Colorimétrico	P-PO4	mgL ⁻¹
Nitrogênio Amoniacal	Titulométrico	N-NH ₄ ⁺	mgL ⁻¹
Óleos e Graxas Totais	Gravimétrico	Óleos e graxas	mgL ⁻¹
pH	Potenciométrico	-	
Sólidos Totais	Gravimétrico	Sólidos Totais	mgL ⁻¹
Sólidos Sedimentáveis	Gravimétrico	Sólidos Sedimentáveis	mLL ⁻¹
Sólidos Suspensos	Gravimétrico	Sólidos Suspensos	mgL ⁻¹

Fonte: APHA, AWWA & WEF (2005).

A eficiência do tratamento demonstra-se pela retirada da carga orgânica. Esta avaliação é obtida pela variação entre os valores encontrados na entrada e na saída da Demanda Bioquímica de Oxigênio, apresentada pela equação 01.

$$\eta = (DBO_e - DBO_s) \div (DBO_e) \quad \text{Equação 01}$$

Onde:

η = Eficiência (rendimento) do processo de tratamento;

DBO_e = Valor da análise da DBO da amostra de entrada, afluyente da ETA2;

DBO_s = Valor da análise da DBO da amostra de saída da ETA2.

3.2.3 Equivalência entre o potencial de biogás e energia elétrica em kWh

Para transformar essa energia de um sistema para outro, realizou-se as respectivas equivalências e análises, através do poder calorífico inferior do biogás. Para a determinação do potencial calorífico inferior de (kcal/kg) para o potencial calorífico em kWh/m³ empregou-se a equação 02, a qual realiza a transformação direta para a determinação em energia por metro cúbico de biogás.

$$PCI_d = PE \times PCI \times K \quad \text{Equação 02}$$

Onde,

PCI_d = Potencial Calorífico Inferior disponível em kWh/m³;

PE = Peso Específico em kg/Nm³;

PCI = Potencial calorífico inferior em kcal/kg ;

K = 4,19 kWh/3600. Constante de conversão entre kcal → kJoules → kWh

Será utilizado o valor de eficiência global de 25% para a conversão nas máquinas térmicas, com grupos geradores (motores ciclo Otto), conforme CCE (2000) apud Souza, et al. (2004). Então, pela equação 03, determinou-se a potência elétrica final a ser disponibilizada.

$$P = PTB \times PCI_d \times 0,25 \quad \text{Equação 03}$$

Onde,

P = Potência Elétrica Disponibilizada, kW;

PTB = Produção total de biogás, m³/h;

PCI_d = Potencial Calorífico Inferior disponível em kWh/m³.

O valor mensal total de energia elétrica a ser possível de ser fornecido para o consumo final, está demonstrado pela equação 04.

$$E = P \times h \times m \quad \text{Equação 04}$$

Onde,

E = Energia elétrica total disponibilizada pelo biogás, kWh/mês;

h = 24 horas = 1 dia;

m = 30,4167 dias do mês (considerado para um período anual).

O poder calorífico inferior do biogás depende da relação dióxido de carbono e metano, ou seja, quanto maior a concentração do metano, maior o poder calorífico. A Tabela 9 apresenta a variação do poder calorífico do biogás e a respectiva densidade para a determinada composição de biogás.

Tabela 9 - Variação do poder calorífico em relação à composição do biogás

Composição Química do Biogás	Peso Específico (kg/Nm ³)	P.C.I. (kcal/kg)
10% CH ₄ , 90% CO ₂	1,8393	465,43
40% CH ₄ , 60% CO ₂	1,4643	2.338,52
60% CH ₄ , 40% CO ₂	1,2143	4.229,98
65% CH ₄ , 35% CO ₂	1,1518	4.831,14
75% CH ₄ , 25% CO ₂	1,0268	6.253,01
95% CH ₄ , 05% CO ₂	0,7768	10.469,60
99% CH ₄ , 01% CO ₂	0,7268	11.661,02

Fonte: Avellar (2001) apud Iannicelli (2008).

3.2.4 Apresentação do consumo e custos com energia elétrica da ETA1

Conforme cargas individuais já citadas no item 3.1.2 e pela tabela 10, a unidade da SANEPAR, Estação de Tratamento 1 - ETA1, teve em 2011, uma demanda operacional de potência da ordem de 400 kW. A tendência de ajuste para 2012 será pela elevação para 450 kW.

Conforme a Resolução 414/2010 da Aneel, para as unidades que possuem a somatória de todos os motores e cargas elétricas superiores a 300KW, torna-se compulsório a aplicação de uma modalidade de tarifa específica para grandes consumidores, denominada de tarifa horo-sazonal. Caracteriza-se por ter tarifas diferenciadas, variando de acordo com as horas do dia e conforme os períodos do ano. Nesse enquadramento, a critério das condições operacionais do usuário, pode ainda optar por 02 segmentos: das modalidades horo-sazonal verde ou horo-sazonal azul. O horário específico denominado de horário de ponta corresponde a três horas, quando o valor da tarifa de consumo de KWH é mais alto, normalmente, das 18h às 21h, deslocado em 1h no horário de verão. Atualmente, a ETA1 está classificada na modalidade horo-sazonal verde.

Observa-se um consumo crescente, com um valor considerável no horário de ponta da concessionária de energia, que também é o horário de maior consumo de água. O horário de ponta se refere ao período de 3 horas, no qual o custo da energia é 7,1 vezes maior que no horário fora de ponta, para as unidades classificadas como saneamento, conforme tarifas informadas na Resolução Aneel Nº 1.158/2011.

Neste estudo, avaliou-se a aplicação do biogás para a utilização no horário de ponta por ser o significativo para uma avaliação financeira.

Os dados obtidos e empregados neste trabalho foram retirados das faturas de energia elétrica, emitidas mensalmente pela concessionária de energia elétrica. Levantou-se o histórico de consumo de energia e o respectivo histórico de custos dessa unidade, segmentado pelos valores em kW, kWh e em reais, relativo ao consumo no horário de maior custo, denominado de horário de ponta e no horário fora de ponta. De forma geral, esses horários são medidos diariamente e apresentada a somatória mensal ao consumidor final.

A tabela 10 apresenta o consumo de energia elétrica do ano de 2011 da ETA1, sua operação no horário de ponta, fora ponta, valores de consumo em kW, kWh, custo em reais mensal, anual e o número de horas de operação.

Tabela 10 - Dados de consumo de energia e custos da ETA1

Mês	Dem. Ponta	Dem.F. Ponta	horas op.Ponta	kWh ponta	Custo em R\$ ponta	kwh F. ponta	kwh Total	Custo em R\$ Total	h.fora ponta	horas op. mês
1	329	367	49,9	18.323	23.526,62	185.832	204.155	59.696,83	506,4	556
2	354	373	41,8	15.576	19.999,49	156.852	172.428	51.249,79	420,5	462
3	320	362	37,1	13.435	17.253,10	150.984	164.419	48.175,03	417,1	454
4	325	409	34,2	13.989	18.038,94	157.806	171.795	50.712,58	385,8	420
5	361	361	40,3	14.544	19.134,60	167.741	182.285	55.850,12	464,7	505
6	369	369	48,1	17.764	23.370,95	192.780	210.544	63.817,13	522,4	571
7	362	362	46,8	16.927	22.777,77	188.094	205.021	63.080,43	519,6	566
8	366	366	51,2	18.745	25.483,08	182.319	201.064	65.105,82	498,1	549
9	379	379	49,7	18.822	25.644,34	205.298	224.120	69.815,32	541,7	591
10	407	407	45,2	18.402	25.072,11	193.601	212.003	67.144,87	475,7	521
11	417	417	43,8	18.257	24.874,55	208.001	226.258	69.841,70	498,8	543
12	400	422	51,1	21.548	28.764,95	209.419	230.967	72.169,06	496,3	547
Valores médios:			44,9	17.194	22.828,38		Soma:	736.658,68		

Fonte: SANEPAR (2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises bioquímicas da ETE Norte

Analisando os valores medidos nos anos de 2010 e 2011, obtiveram-se os parâmetros de avaliação de eficiência dessa unidade operacional para o tratamento de esgoto. Os parâmetros de DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio e DQO – Demanda Química de Oxigênio avaliam qual a carga orgânica e demais contaminantes existentes antes e após o processo de tratamento. A tabela 11 apresenta os dados desses parâmetros avaliados na unidade ETE Norte entre os anos de 2010 e 2011.

Tabela 11 - Análises Bioquímicas da ETE NORTE no período de 2010 a 2011

Data	AFLUENTE		EFLUENTE	
	DBO	DQO	DBO	DQO
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
18/01/2010	205,4	478	58,7	95
15/03/2010	157,1	450	39,1	78
17/05/2010	146,7	326	30,7	50
01/07/2010	274,9	625	28,6	106
01/09/2010	390	597	44	123
16/11/2010	270	463	54	110
13/06/2011	540	987	100	242
18/07/2011	270	527	42	129
19/09/2011	290	562	40	85
17/10/2011	365	690	35	119
16/11/2011	300	597	16	20
Média:	291,74	572,91	44,373	105,18

Conforme a equação 01, citada no item 3.2.2, a eficiência do tratamento em 2010, foi média de 80,7% e em 2011 a média foi de 87,4%, ambos para os valores das amostras coletadas, relativo à retirada da carga orgânica.

4.2 Medições de vazão de biogás de forma indireta no reator 2

Estabeleceu-se 9 medições em 5 dias no ano de 2011. Para avaliação da vazão, conectou-se ao ponto de saída empregado para a coleta das amostras de biogás, uma mangueira flexível fixada a uma régua vertical graduada em

centímetros, na qual tem-se suas dimensões conhecidas por medição direta. Considerou-se a vazão de saída para o queimador (Q_q) proporcional a saída do gás nessa derivação (Q_d), por estarem em mesmas condições ambientais. Pelo volume de saída de um trecho específico da mangueira graduada, mediu-se, por filmagem, o tempo (t) de deslocamento (d) de uma esfera dentro da mangueira. Pelo volume conhecido no trecho específico e a velocidade do gás, obteve-se a vazão de referência. Pela regra de proporcionalidade entre os diâmetros das tubulações, tem-se a vazão de saída. Também realizou-se a correção entre a pressão padrão de 1,0 atm para a pressão atmosférica local de 0,92 atm e da temperatura diária do dia da medição para a temperatura padrão 25°C. Na tabela 12 estão demonstrados os dados obtidos, produzido na ETE NORTE no Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado 2 – RALF-2.

Tabela 12 - Parâmetros para avaliação da vazão do biogás

Dia / mês	Hora	d[m]	Q[m ³]	t[s]	T[°C]	Qd[m ³ /h]	Qq[m ³ /h]	Qsaída [m ³ /h]
28/10	16:30	0,3	0,000037	0,19	31,4	0,709	25,52	19,21
31/10	16:15	0,3	0,000037	0,28	24,1	0,481	17,31	16,98
1/11	14:15	0,3	0,000037	0,50	23,5	0,269	9,70	9,75
3/11	15:15	0,3	0,000037	0,40	25,0	0,337	12,12	11,46
3/11	16:15	0,3	0,000037	0,43	26,0	0,313	11,27	10,25
3/11	16:45	0,3	0,000037	0,46	26,0	0,293	10,54	9,58
11/11	14:25	0,3	0,000037	0,34	22,0	0,396	14,26	15,32
11/11	15:25	0,3	0,000037	0,36	24,0	0,374	13,47	13,26
11/11	16:25	0,3	0,000037	0,38	25,0	0,354	12,76	12,06
VAZÃO MÉDIA:								13,10

Obteve-se, então, uma vazão média de 13,10 m³/h para o reator 2, no qual, por analogia, estende-se ao reator 1, pois são idênticos na forma construtiva, topologia e processos. Fato observado é que nos dias em que a temperatura diária for maior, a produção de gás será acima da média. Para fins de cálculo, será adotado o valor arredondado para **Q= 13,0 m³/h** para a produção de biogás de um reator.

4.3 Análise da medição de biogás

Conforme citado no item 4.2, realizou-se a medição da vazão do biogás, na qual o potencial de biogás obtido nos processos de tratamento, indica uma vazão de

$Q = 13 \text{ m}^3/\text{h}$ individualmente em cada reator e por extensão, uma vazão total de $Q = 26 \text{ m}^3/\text{h}$ para toda a estação de tratamento.

Esta unidade apresentou nos últimos meses uma vazão mínima de 119 l/s, vazão média de 135 l/s e uma vazão máxima em 162 l/s, conforme os boletins operacionais da unidade. Considerando pelo valor médio de entrada de esgoto de $486 \text{ m}^3/\text{h}$ e o volume de biogás medido $26 \text{ m}^3/\text{h}$, produzido nos dois reatores ($26/486$), teremos um potencial de produção de $0,0535 \text{ m}^3$ de esgoto para cada m^3 de esgoto recebido (entrada).

4.4 Avaliação dos gases presentes nas amostras realizadas

Relata-se na tabela 13, os dados obtidos das análises das amostras de biogás retirados do reator anaeróbio de Lodo Fluidizado 2 – RALF-2.

Tabela 13 - Caracterização dos parâmetros das amostras de biogás no RALF-2
 CH_4 - Gás Metano em %. CO_2 - Gás Carbônico em %. H_2S - Sulfeto de Hidrogênio em parte p/ milhão. NH_3 - Amônia em parte p/ milhão.

N.	DATA	HORÁRIO COLETA	CONCENTRAÇÃO DE GASES			
			CH_4 [%]	CO_2 [%]	H_2S [ppm]	NH_3 [ppm]
1	15/10/2011	16:30	73	27	20	40
2	17/10/2011	14:40	77	23	230	40
3	18/10/2011	14:40	75	25	460	30
4	19/10/2011	15:10	80	20	460	40
5	24/10/2011	14:40	77	23	530	175
6	25/10/2011	14:55	70	30	40	175
7	26/10/2011	14:30	73	27	40	85
8	27/10/2011	16:00	75	25	40	350
9	28/10/2011	14:28	73	27	40	85
10	31/10/2011	14:58	75	25	20	350
11	31/10/2011	15:28	77	23	20	175
12	01/11/2011	09:50	73	30	152	175
13	01/11/2011	14:20	75	25	152	45
14	03/11/2011	14:45	75	25	152	175
15	03/11/2011	14:45	77	23	350	350
16	11/11/2011	14:40	75	25	350	175
17	11/11/2011	14:40	75	25	460	175
18	16/11/2011	14:35	73	27	175	175
19	16/11/2011	14:35	73	27	350	175
20	17/11/2011	15:15	75	25	175	175
Valores Médios:			74,8	25,35	210,8	158,25

Conforme consta na tabela 13, os valores médios das amostras do biogás do reator 2, foram para o Gás Metano-CH₄ [%] de 74,8%, Gás Carbônico-CO₂ [%] de 25,35%, a concentração de sulfeto de Hidrogênio (gás sulfídrico) foi de 210,8 ppm e a concentração de amônia foi de 158,25 ppm no biogás produzido.

Conforme tabela 09, classificou-se o biogás encontrado com um poder calorífico inferior - PCI de 6.253,01 kcal/kg e uma densidade de 1,0268 kg/Nm³.

Por Coelho, et al. (2006), foram encontrados valores semelhantes, conseguindo as concentrações para o gás Metano(CH₄) de 66,5%, para o Dióxido de Carbono (CO₂) 30,5% e para o gás sulfídrico foi de 134 ppm. A mesma autora, cita estimar o poder calorífico inferior próximo a 5.300 kcal/Nm³.

Portanto, o biogás do reator RALF apresentou potencial para o aproveitamento para a geração de energia.

4.5 Avaliação do potencial do biogás da ETE NORTE e sua conversão em energia elétrica

Aplicando a equação 02 do item 3.2.3, com os resultados do item 4.4, pelo poder calorífico inferior, encontra-se o valor de 7,47285 kWh/m³, como sendo o máximo potencial contido no biogás existentes nas amostras na unidade de estudo, com uma concentração média de 75% de gás metano e 25% de gás carbônico.

Pelo valor obtido na equação 02 e aplicando as equações 03 e 04 do item 3.2.3, encontramos neste trabalho, a potência de $P = 48,57$ kW disponível à produção de 26 [m³/h] de biogás.

Também pelo item 3.2.3, através da equação 04, a máxima energia a ser ofertada será de 35.459 kWh/mês.

Considera-se que esta é uma demonstração para uma condição de produção de metano contínua. Grandes variações são esperadas no período de inverno ou outra interface inesperada no processo, tais como: o despejo de esgoto industrial junto com o esgoto doméstico e altas condições pluviométricas (águas de chuva) nas galerias de esgoto, interferirá na produção dos gases e de suas concentrações.

4.6 Avaliação dos dados de uso do biogás para aplicação na ETA1

Conforme apresentado no item 3.2.4 e na Tabela 10, observa-se que a energia média requerida para atender o horário de ponta em 3 horas de operação da estação de tratamento ETA1 foi de 17.194 kWh por mês.

Observa-se pela tabela 10, que no último mês de consumo a demanda já atingiu 422 kW, atingindo o valor máximo anual, o qual foi de 21.548 kWh.

Conforme apresentado no item 4.5, a estimativa de produção de energia, através do biogás produzido na unidade ETE NORTE é de 35.459 kWh por mês.

Caso o sistema já estivesse em operação no último ano (2011), o valor produzido médio atual, atenderia a demanda com um excedente de 39,2% sobre o maior valor de pico anual (dezembro/2011).

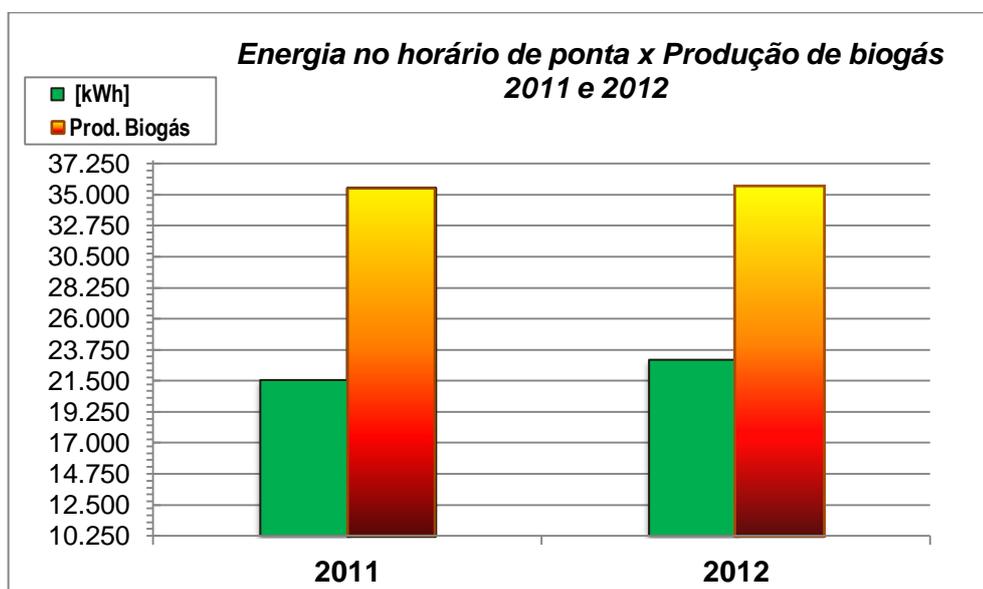
A demanda da unidade, conforme informações internas da empresa, terá sua carga aumentada para 450 kW até o mês de fevereiro/2012. Realizando-se uma projeção para 2012, pelo número de horas médio de operação na ponta e a demanda futura, tem-se o valor médio de $450 \times 44,9 = 20.217 \text{ kWh}$ de consumo de energia na ponta para este ano. Para o valor de pico (dezembro/2012) teríamos $51,1 \times 450 = 22.995 \text{ kW}$. Para o ano de 2012, o valor produzido médio atual, atenderia a demanda com um excedente mínimo de 35,15% sobre o maior valor de pico anual projetado (dezembro/2012).

A produção de biogás da ETE NORTE é suficiente para atender a demanda do horário de ponta da ETA1, pois mesmo com a elevação da demanda prevista para o ano de 2012, teremos um excedente médio de 43% na produção. O custo médio mensal evitado na compra de energia elétrica, da concessionária de energia, seria de R\$ 22.828,30 e o custo anual de R\$ 273.940,50 reais.

Observa-se, mesmo com o valor significativo para atratividade de um empreendimento de geração a gás, que torna-se importante avaliar criteriosamente as questões de transporte e armazenamento do biogás tanto na produção como na geração, onde será consumido.

A figura 9 apresenta a comparação entre: o máximo valor mensal, consumido no ano de 2011 e o valor estimado para 2012, no segmento do horário de ponta, com a capacidade de geração de energia elétrica pelo biogás produzido.

Figura 9. Consumo mensal máximo da ETA1 com o potencial de produção através do biogás.



4.7 Análise de uso do biogás da ETE NORTE na geração distribuída

Para esta análise tem-se a opção de no próprio local de produção do biogás, realizar a geração e distribuição da energia, o qual seria na ETE NORTE. Segundo Tolmasquim (2010), no último leilão de fontes alternativas, realizado em agosto/2010, o preço médio pago à biomassa ficou no valor de 144,20 R\$/MWh.

Avaliando para a produção mensal de biogás da ETE NORTE, citada no item 4.5 de 35.459 kWh, tem-se um valor de R\$ 5.113,19 ao mês, de receita obtida com a oferta dessa energia obtida pelo biogás, entregando à rede elétrica da concessionária local.

5. CONCLUSÕES

Para as condições em que foi realizado o estudo, podem-se estabelecer as seguintes conclusões:

O biogás gerado pelo reator apresentou elevado valor de CH₄ % - Gás Metano com média 74,8%;

A vazão de biogás da ETE NORTE foi de 26 m³/h, perfazendo um potencial total de 624 m³/dia de biogás;

O potencial de geração de energia elétrica, a partir do biogás produzido pela ETE NORTE, foi de 35.459 kWh mensal;

A disponibilidade para a geração de energia elétrica total, através do biogás, foi suficiente para atender a demanda da ETA1, com um custo médio mensal evitado de R\$ 22.828,30 na compra de energia elétrica da concessionária de energia.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFAKIT – **Empresa fornecedora do kit de análise do biogás.** Disponível em: <http://www.alfakit.com.br/fmanager/alfakit/upload/catalogo_de_produtos_-_alfakit.pdf>. Acesso em 19/04/2011.

ANDRADE Neto, C. O. **Sistemas Simples para Tratamento de Esgotos Sanitários – Experiência Brasileira.** 301p. Rio de Janeiro, ABES, 1997.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2009). **Banco de Informações de Geração.** Disponível em: <www.aneel.org.br>.

_____. Resolução Normativa **ANEEL Nº390**, de 15 de dezembro de 2009 – ANEEL - Brasília-DF. Disponível em <www.aneel.gov.br>.

_____. Resolução Homologatória **ANEEL Nº 1.158**, de 21 de Junho de 2011. Disponível em <www.aneel.gov.br>.

_____. Resolução Normativa **ANEEL Nº 414**, de 09 de setembro de 2010. **Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica.** Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>.

Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis **ANP Nº 104**, de 08 de Julho de 2002. Diário Oficial da União de 9.7.2002. Brasília, 2002.

APHA; AWWA; WEF. Microbiological examination. In: **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 20th ed. Washington, DC: APHA, 2005. Nota do autor: American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA), and the Water Environment Federation (WEF).

AVELLAR, L. H. N. **A valorização dos subprodutos agroindustriais visando a cogeração e a redução da poluição ambiental.** Guaratinguetá. Tese (Doutorado). FEG/UNESP. 2001.

BARRERA, Paulo. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural,** Editora Ícone, São Paulo, 2ª Ed., 2003.

BITTON, GABRIEL. **Wastewater microbiology.** Ed. Wiley-Liss, 27/01/2005, p.349, New York, NY.

CCE - Centro para Conservação de Energia. **Guia Técnico de Biogás.** Algés: JE92 Projectos de Marketing Ltda, ISBN 972-852-12-19, 12p., Lisboa, 2000.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores Anaeróbios**. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de engenharia Sanitária e Ambiental, 379p. 2007.

_____. Coordenador). **Pós-tratamento de efluentes anaeróbios**. Projeto PROSAB. 544 p. Belo Horizonte, 2001.

COELHO, Suani Teixeira, et al. (2006). **Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás proveniente do Tratamento de Esgoto utilizando um Grupo gerador de 18 kW**. V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 02 Junho de 2006; site do CENBIO – Centro Nacional de referência em Biomassa.

_____. et al. (2003). **Programa de uso racional de energia e fontes alternativas – PUREFA**. In: CONGRESSO INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - ICTR, 1, 2003, São Paulo. Biodigestor modelo UASB. São Paulo: SP, 2003. 20 p.

COLDEBELLA, Anderson, **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Paraná. f75. 2006.

COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto**. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Inter-unidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 194p. 2006.

Empresa de Pesquisa Energética. 2010. Balanço Energético Nacional 2011. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro : EPE, 2010.

ETCHECOIN, C. 2000. Protocolo de Kyoto: Passaporte das Futuras Gerações. In: **CENBIO NOTÍCIAS**, v.3 N^o.8, p. 4.

FEIDEN, Armin; REICHL, Johann; SCHWAB, Jair, *et al.* **Avaliação da eficiência de um biogestor tubular na produção de biogás a partir de águas residuárias de suinocultura**. V ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 2004, Campinas.

FIGUEIREDO, N. J. V. de. **Utilização do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás**: Estudo de caso. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo-SP, 2007.

FRANÇA JUNIOR, A. T. **Análise do aproveitamento energético do biogás produzido numa estação de tratamento de esgoto**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 148p. 2008.

FRARE, L. M. **Estudos para a implementação de uma planta para remoção de ácido sulfídrico de processos de produção de biogás**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 182p. 2006.

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento**. Ministério da Saúde. Brasília, 408p. 2004.

GENOVESE, Alex Leão; UDAETA, Miguel Edgar Morales; GALVAO, Luiz Cláudio Ribeiro. **Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo**, VI ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL; 2006, Campinas-SP.

GORENSTEIN, Ari. **Geração de Energia a partir de resíduos – Biodigestor para dejetos**. Instituto Brasil Ambiente. 2010. Disponível em www.brasilambiente.com.br/biodigestores.pdf. Acesso em 20 de novembro de 2011.

ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade **Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários**. Secretariado para América Latina e Caribe, São Paulo, 80p. 2009.

IANNICELLI, André Luiz. **Reaproveitamento energético do biogás de uma indústria cervejeira**. 2008. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, UNITAU, Taubaté, 2008. Cap. 9.

LAMAS, W. Q. **Análise termoeconômica aplicada a uma mini-estação de tratamento de esgoto com auto-suficiência energética**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 135p. 2007.

LIMA, Felipe Palma. **Energia no tratamento de esgoto: análise tecnológica e institucional para conservação de energia e uso do biogás**. Programa Inter-unidades de Pós-Graduação em Energia – PIPGE (EP/FEA/IEE/IF). Universidade de São Paulo – USP, São Paulo. 139p. 2005.

NUVOLARI, Ariovaldo (Coordenador). **Esgoto Sanitário – Coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 1ª Ed. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo-SP,. 2003.

OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de; HIGARASHI, Martha Mayumi. **Geração e utilização de biogás em unidades de Produção de suínos**. Concórdia - SC, Embrapa suínos e aves, 42p. 2006.

PECORA, VANESSA. **Implementação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP: Estudo de caso**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Inter-unidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE), Universidade de São Paulo, São Paulo, 153p. 2006.

PEREIRA, R. S. **Poluição hídrica causas e conseqüências**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas UFRGS, 19p. 2004.

PORTES, Zara Aparecida. **Aplicativo Computacional para Projetos de Biodigestores Rurais**. (Dissertação) Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura - Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, Botucatu, 2005.

SANQUETTA, Carlos Roberto, Et al. **Fixação de Carbono: Atualidades, Projetos e Pesquisas**. 18p. AM Impressos. Curitiba-PR, 2004.

SOUZA, Samuel Nelson Melegari de et al. **Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura**. Acta Scientiarum: Technology, Maringá, v. 26, n. 2, p.127-133, 22 dez. 2004. Trimestral.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência: CENERGIA, 2003.

_____. **Leilões de Fontes Alternativas 2010 – informe à Imprensa**, EPE- Empresa de Pesquisas Energéticas, 26/08/2010, acessado em 29/12/2011 <http://www.epe.gov.br /imprensa/PressReleases/20100826_1.pdf>

VAN HAANDEL, A. C.& LETTINGA, G. **“Tratamento Anaeróbico de Esgotos: Um Manual para Regiões de Clima Quente”**, Epgraf, Campina Grande, 240 p. 1994.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte, UFMG. v.2. 211p. 1996.

ZACHOW, C. R. **Biogás**. DeTec – Departamento de Tecnologia, UNIJUI – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 12 p. 2000.

ZANETTE, André Luiz. **Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 97p. 2009.