

BRUNO MENDES QUEIROZ

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA APROVEITAMENTO
ENERGÉTICO DE BIOGÁS GERADO NA ETE VILA UNIÃO EM
PALMAS - TO.**

PALMAS – TO

2011



Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins –
Campus Palmas
Curso Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA APROVEITAMENTO
ENERGÉTICO DE BIOGÁS GERADO NA ETE VILA UNIÃO EM
PALMAS - TO.**

BRUNO MENDES QUEIROZ

PALMAS – TO
2011

BRUNO MENDES QUEIROZ

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA APROVEITAMENTO
ENERGÉTICO DE BIOGÁS GERADO NA ETE VILA UNIÃO EM
PALMAS - TO.**

**Monografia apresentada
ao Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Tocantins –
Campus Palmas, sob orientação da
Professora M.Sc. Adriana S. A.
Monteiro, como requisito para a
obtenção do Título de *Tecnólogo do
Curso Superior de Tecnologia em
Construção de Edifícios*.**

**PALMAS – TO
2011**

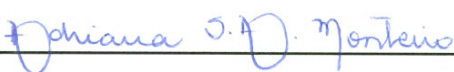
BRUNO MENDES QUEIROZ

TÍTULO: ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS GERADO NA ETE VILA UNIÃO EM PALMAS - TO.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado para a obtenção do título de **Tecnólogo em Construção de Edifícios** do curso **Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios**, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas-TO.

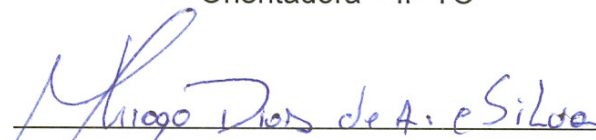
Palmas, 27 de Junho de 2011.

Banca examinadora:



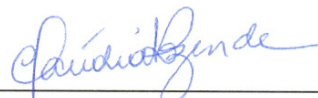
Prof.^a M.Sc. Adriana S. A.

Orientadora – IF-TO



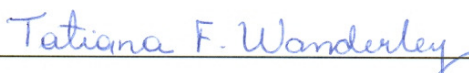
Prof. Msc. Thiago Dias de Araújo e Silva

Professor Convidado – IF-TO



Prof.^a Cláudia Rezende

Professora Convidada – IF-TO



Eng.^a Msc. Tatiana Ferreira Wanderley

Convidada – Saneatins

CONCEITO DE APROVAÇÃO: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus.

A minha mãe, Severina Mendes Queiroz, pelo carinho e ajuda nos momentos mais difíceis, a minha mulher, Lucíola B. M. B. Queiroz, por me compreender nos momentos mais difíceis e motivação para que eu chegasse até esse momento tão especial nas nossas vidas a meus filhos Bruno Jr. e Maria Júlia, porque sem eles eu não teria tanta disposição para da esse passo tão importante e familiares (Irmã Patricia, Primos Alexandre, Rafael, Camila, Marcelo e Tios Evangelista, Célio).

Aos amigos e professores (em especial aos professores Thiago Dias, Gilson Marafiga e João Margues, por todos os conselhos e ensinamentos) do IFTO, que tanto me incentivaram para o meu desenvolvimento como pessoa e como profissional.

À toda a equipe da GEDE/SANEATINS (Heryka, Fabio, Leonardo, Silfarn, Ricardo, Denis, Wesley), por ter de uma forma ou de outra me ensinado muitas coisa que hoje são importantes pra mim.

É como não poderia deixar de lembra do meu chefe e amigo Jeverson, que com muita paciência esteve comigo todos esses anos me ajudando me aconselhando e dando força pra que eu pudesse ter essa conquista que estou tendo hoje.

É um agradecimento especial aos meus amigos, Tatiana Wanderlei e Giulliano Guimarães, pelos momentos divertidos e de muito trabalho que tivemos na SANEATINS.

À minha orientadora Adriana S. A. Monteiro, que teve muita paciência comigo, e a todos os que, direta ou indiretamente, me ajudaram na elaboração deste trabalho.

“o meu Deus segundo a sua riqueza em glória, há de suprir em Cristo Jesus, cada uma de Minhas Necessidades”.

Filipenses 4:19.

RESUMO

As Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) se apresentam como uma excelente oportunidade para o desenvolvimento sustentável, pois além de realizarem o tratamento dos esgotos, possibilitam o uso de seus efluentes de diversas formas. O efluente gasoso, biogás, se destaca dentre os efluentes pela capacidade de uso para a geração de energia, elétrica e calorífica, com benefícios ambientais - redução de emissões de gases de efeito estufa -, e econômicos - auto-suficiência elétrica e obtenção e venda de créditos de carbono no mercado internacional -, no entanto, a geração de energia a partir do biogás demanda elevados recursos iniciais. Com o objetivo de avaliar a produção dos gases gerados na digestão da matéria orgânica (biogás) no reator UASB da ETE Vila União para a co-geração de energia elétrica. Numa Primeira amostragem as concentrações de biogás obtidas estiveram em média de 684 m³/dia. Com isso a ETE deixaria de emitir mais de 254.447,52m³/ano de CO₂ em equivalência ao CH₄, com a geração de energia a partir do CH₄, 21 vezes mais poluente que o CO₂, e o aproveitamento do dióxido de carbono pelo tratamento do biogás. As emissões evitadas poderiam ser certificadas e comercializadas no mercado de carbono. O Período de Retorno de Investimento (PRI) de 4 meses, é mais uma indicação que a produção de biogás gerado na ETE Vila União é de grande vantagem para a empresa e para o meio ambiente.

Palavras-chave: Estação de tratamento de esgoto, biogás, energia, CH₄, CO₂.

ABSTRACT

The Stations Sewage Treatment Plant(STS) are presented as na excellent opportunityfor sustainable development, as well as performing sewage treatment, allow the use oftheir effluent in various ways.The effluent gas, biogas, stands out among the effluents by the ability to use for power generation, electric and heat energy, environmental benefits-reduced emissions of greenhouse gases-and economic-electric self-sufficiency andobtaining and selling carbon credits on the international market-however, thegeneration of energy from biogás demand high initial resources. Aiming to evaluate theproduction of gases generated in the digestion of organic matter (biogas) in the UASB ETE Vila Union for co-generation of electricity. First a sampling concentrations of biogas obtained were on average 684 m³/day. With this ETE no longer broadcast over 254,447.52m³/year of CO₂ equivalent to CH₄, with power generation from CH₄, 21 times more polluting than CO₂, and the use of carbon dioxide by the treatment of biogas. The avoided emissionscould be certified and marketed in the carbon market. The Period of Return on Investment (PRI) for 4 months, is another indication that the production of biogás in theETE Village Union and of great advantage to the company and the environment.

Keywords: sewage treatment plant, biogas, energy, CH₄, CO₂.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática de um reator UASB.....	10
Figura 2 - A sequência de processos na digestão anaeróbia de macro moléculas complexas (os números referem-se a percentagens, expressas como DQO).	17
Figura 3 - Localização da Estação de Tratamento de Esgoto Vila União.....	25
Figura 4 - Fluxograma do sistema de tratamento da ETE Vila União, Palmas – TO.	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição média da mistura gasosa constituintes do Biogás	20
Tabela 2 - Equivalência entre o biogás e alguns outros combustíveis.....	21
Tabela 3 - Variação do poder calorífico em relação à composição do biogás.	21
Tabela 4 - Energia produzida e recursos de venda de créditos CO ₂ e energia gerada ETE Vila União, dezembro/2010.	30
Tabela 5 – Cotação dos equipamentos para a co-geração de energia a partir do biogás.....	32
Tabela 6 - Relação de benefícios e custos para a geração de energia elétrica a partir do biogás.....	33
Tabela 7 - Cálculo do Período de Retorno de Investimento	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SANEATINS	Companhia de Saneamento do Tocantins
CELTINS	Companhia de Energia Elétrica do Tocantins
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CH ₄	Gás Metano
CO ₂	Gás Dióxido de Carbono
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DQO _{CH4}	DQO convertida em CH ₄
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
Gg	Giga grama = 10 ³ toneladas
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo ou Gás de Cozinha
GSS	Gas Solid Separator
GVW	Gross Vehicle Weight
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
Kcal	Quilocaloria
KVA	Potência Elétrica Aparente
kW	Kilowatt
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
pH	Potencial hidrogeniônico
PRI	Período de Retorno de Investimento
t	Tonelada
TECPAR	Instituto de Tecnologia do Paraná
Tg	Teragran = 10 ⁶ toneladas métricas
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	OBJETIVOS.....	9
2.2	Objetivo Geral	9
2.3	Objetivos Específicos.....	9
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
3.2	Reator Uasb.....	10
3.2.1	Processo de Digestão Anaeróbia Reator Uasb.....	11
3.2.2	Produtos da Digestão Anaeróbia	12
3.3	Energia Renovável.....	13
3.4	Biogás	14
3.4.1	Formação do Biogás.....	15
3.4.2	Fatores que influenciam na produção do biogás	18
3.4.3	Composição do Biogás	20
3.4.4	Conversão do Biogás em Energia.....	22
3.4.5	Usos do Biogás.....	23
4	METODOLOGIA	25
4.1	Caracterização do processo de tratamento de esgoto ETE Vila União.....	25
4.1.1	Características Gerais	25
4.1.2	Características Específicas	26
4.2	Estudo do retorno de investimento do projeto de geração de energia elétrica 27	
5	RESULTADOS	28
5.1	Caracterização quantitativa da produção de Biogás do UASB.	28
5.2	Quantificação das reduções de emissões de CH ₄ em equivalência ao CO ₂ . 29	
5.3	Estudo do retorno de investimento do projeto de geração de energia elétrica a partir do biogás gerado ETE Vila União.....	31
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

1 INTRODUÇÃO

O saneamento constitui em uma importante ferramenta para a minimização dos impactos ao meio ambiente e à saúde pública, e em uma excelente oportunidade para o desenvolvimento sustentável, uma vez que viabiliza a utilização dos efluentes das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) em diversas atividades.

As estações de tratamento de esgotos além de realizarem o tratamento dos esgotos brutos, apresentam a possibilidade de uso de seus efluentes evitando a disposição inadequada e a poluição do meio ambiente.

Com isso, dentre os efluentes gerados nas ETEs, o biogás se destaca devido ao poder calorífico de seu principal constituinte, o gás metano, permitindo a geração de energia, calorífica e/ou elétrica, que utilizada na própria estação leva ao aumento da eficiência do sistema, além de reduzir gastos com eletricidade e as emissões de gases de efeito estufa.

Segundo o IPCC (1995), a produção mundial de metano gerado no tratamento de efluentes sob condições anaeróbias varia entre 30 e 40 Tg, o que representa de 8 a 11% do total global de emissões antropogênicas de metano, estimado em 360 Tg/ano. Desta forma, a geração de energia a partir do biogás, que apresenta de 50 a 80% de metano, apresenta-se como uma excelente alternativa ambiental, pela redução de emissão deste gás na atmosfera, e econômica, como fonte de energia renovável e auto-suficiência dos sistemas de tratamento de esgotos.

A Companhia de Saneamento do Tocantins (SANEATINS) coleta e trata os resíduos de esgotos de mais de 28 mil residências, devendo chegar em 2011 com um atendimento em torno de 65% da população urbana do Estado. Já possui implantados sistemas de esgotamento sanitário nos municípios de Gurupi, Porto Nacional, Paraíso, Guaraí, Colinas, Araguaína e Palmas, onde 100% do esgoto coletado é tratado, em sua maioria em sistemas anaeróbios, apresentando um grande potencial de produção de biogás para a geração de energia.

No entanto, a prática de geração de energia a partir do biogás é uma das atividades que demanda recursos iniciais muito elevados, além dos problemas relacionados à utilização do biogás, quanto à toxicidade e poder corrosivo devido às concentrações de ácido sulfídrico (H_2S), também presente entre os gases produzidos durante a digestão anaeróbia, que causam a corrosão dos equipamentos de coleta e tratamento, gerando custo extra de manutenção.

Contudo, a geração de energia elétrica a partir do biogás possivelmente torna-se viável pela redução, ou até mesmo eliminação, de despesas com eletricidade, que por sua vez é considerada a principal fonte de gastos em um sistema de tratamento de esgotos. A geração de energia a partir do biogás apresenta ainda a possibilidade de certificação das reduções de emissões, em equivalência ao dióxido de carbono, e a comercialização no mercado de carbono, o que aumentaria ainda mais a viabilidade econômica da implantação de projeto de geração de energia por esta fonte.

2 OBJETIVOS

2.2 Objetivo Geral

Avaliar a produção dos gases gerados pela digestão anaeróbia da matéria orgânica (BIOGÁS) no reator anaeróbico de fluxo ascendente para a co-geração de energia elétrica, na ETE Vila União em Palmas - TO.

2.3 Objetivos Específicos

- Monitorar o volume de biogás gerado, através de medidores de gás;
- Selecionar e levantar os custos de aquisição dos equipamentos a serem utilizados no experimento;
- Fazer uma avaliação comparativa entre a geração de biogás esperada e a produzida em reatores UASB, a fim de determinar parâmetros para futuros estudos de aproveitamento de biogás;
- Realizar análise financeira a curto, médio e longo prazo da geração de energia elétrica a partir do aproveitamento do biogás.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.2 Reator UASB

Os processos biológicos são os principais responsáveis pela remoção de matéria orgânica e dos nutrientes do esgoto. As tecnologias de remoção da matéria orgânica presente nos esgotos domésticos baseiam-se em dois princípios: o processo biológico aeróbio e o processo biológico anaeróbio. A comparação energética entre os dois é favorável ao processo anaeróbio. Além de não necessitar de aeração, o processo anaeróbio produz maior quantidade de metano (LIMA, 2005 p.09).

Existem vários processos de tratamento. Os mais usuais são: fossas sépticas, sumidouros, tanques Imhoff, filtros biológicos, lagoas de estabilização, reator anaeróbio de fluxo ascendente - UASB, manta de lodo, e tratamento por lodos ativados (MOTA, 2000).

Dentre os sistemas de tratamento, destaca-se o Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente através do leito de lodo e, basicamente, um tanque, no qual os esgotos são introduzidos na parte inferior (fundo) e saem na parte superior, estabelecendo um fluxo ascendente (ANDRADE NETO, 1997). A figura 01 é uma representação esquemática de um reator UASB.

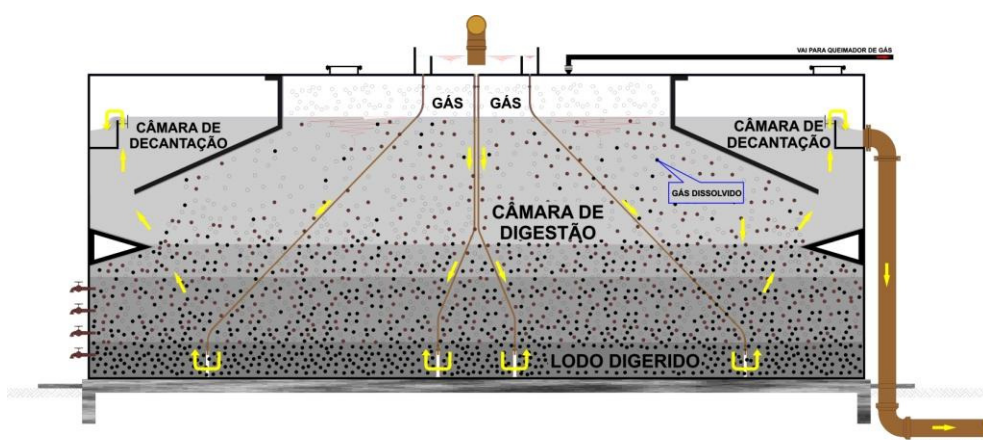


Figura 1 - Representação esquemática de um reator UASB.
Fonte: Saneatins (2008)

O Reator UASB, em sua coluna ascendente, consiste de um leito de lodo, *sludge bed*, uma zona de sedimentação, *sludge blanket*, e o separador de fase, *gas-solid separator* – GSS. Segundo Van Haandel & Lettinga (1994), este separador de fases, um dispositivo característico do reator, tem a finalidade de dividir a zona de digestão (parte inferior), onde se encontra a manta de lodo responsável pela digestão anaeróbia, e a zona de sedimentação (parte superior). A água residuária entra no fundo do reator e segue uma trajetória ascendente, passando pela zona de digestão, atravessando uma abertura existente no separador de fases e entrando para a zona de sedimentação.

Viera (1984); Andrade Neto (1996) apresentam as vantagens e desvantagens do Reator UASB:

Vantagens:

- Curto tempo de detenção e consequentemente pequenos volumes e área;
- Produção de pouco lodo, estabilizado;
- Não consome energia;
- Não necessita de equipamentos eletro-mecânicos.

Desvantagens em relação aos outros sistemas:

- Grande interferência das flutuações de vazões sobre o sistema;
- Dependência de boa operação de pré-tratamento;
- Maior sensibilidade a esgoto tóxico;
- Operação mais complexa;
- Geração de odores;
- Baixa remoção de nutrientes com pequeno aumento de nitrogênio amoniacal.

3.2.1 Processo de Digestão Anaeróbia Reator Uasb

A digestão anaeróbia é um processo em que alguns microrganismos que atuam na ausência de oxigênio, atacam a estrutura de materiais orgânicos

complexos, produzindo compostos simples como o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2). Simultaneamente, esses microrganismos asseguram a energia e os nutrientes necessários ao seu próprio crescimento e reprodução (ADENE, 2003 p.08).

Os processos de biodegradação anaeróbia têm sido empregados para diversos fins; historicamente, foram utilizados para bioestabilizar lodo de esgotos sanitários, utilizando-se o CH_4 produzido (METCALF & EDDY, 1991 *apud* LEITE & POVINELLI, 1999 p.230).

O material digerido pode ser armazenado e aplicado em terrenos agrícolas nas épocas apropriadas ou, em alternativa, sujeito a uma separação de fases para produzir fibra e líquido clarificado. A fibra pode ser utilizada como condicionador de solos ou submetida a uma compostagem prévia antes de ser utilizada ou vendida. O líquido contém um teor de nutrientes que pode permitir a sua utilização como fertilizante líquido (ADENE, 2003 p.09).

Os processos anaeróbios são duplamente economizadores de energia elétrica: em primeiro lugar porque não existem equipamentos de aeração artificial como nos processos aeróbios e os equipamentos mecânicos complementares são em pequeno número e pouco utilizados. Em segundo lugar, a produção de biogás pode ser eventualmente aproveitada na indústria, se estudos de viabilidade técnica e econômica forem bem conduzidos (KOETZ, FARIA & NUNES 1995 p.23).

3.2.2 Produtos da Digestão Anaeróbia

Nos processos anaeróbios de tratamento de despejos, a decomposição da matéria orgânica é conseguida na ausência de oxigênio molecular. Esta degradação refere-se às reações que reduzem as dimensões de partículas, tornando-as solúveis ou, em nível molecular, quebram cadeias ou ligações triplas ou duplas existentes. Os produtos finais do processo são metano e compostos inorgânicos, incluindo o dióxido de carbono, ácido sulfídrico e amônia (MENDES *et al*, 2005 p.297).

O processo de digestão anaeróbia dá origem a biogás e produto digerido. O biogás pode ser convertido em calor e/ou eletricidade. E o produto digerido poderá

ser submetido a uma separação de fases, dando origem a matéria sólida (fibra) e líquida (ADENE, 2003 p.10).

3.3 Energia Renovável

O crescimento do consumo de energia mais que triplicou após a Revolução Industrial (GOLDEMBERG, 1998 *apud* MARTINS, PEREIRA & ECHER, 2004). O aumento da demanda energética, a possibilidade de redução da oferta de combustíveis convencionais causada por crises políticas em regiões produtoras e a crescente preocupação com a preservação do meio ambiente vêm levando o homem a pesquisar, desenvolver e utilizar fontes alternativas de energia menos poluentes, renováveis e que produzam pouco impacto ao ambiente (MARTINS, PEREIRA, ECHER, 2004).

As tecnologias com base em fontes renováveis são atrativas não só devido às vantagens ambientais, mas também sociais. A possibilidade de criação de fontes de suprimento descentralizadas e em pequena escala é fundamental para o desenvolvimento sustentável, tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento. No interesse desses últimos sobressaem as centrais que utilizam fontes renováveis e não requerem alta tecnologia para instalação ou técnicos especializados para sua operação (SOUZA, *et al*, 2004 p.127).

As fontes renováveis de energia (solar direta, hidráulica, eólica e biomassa) são as únicas intrinsecamente limpas e que podem, num futuro próximo, substituir os combustíveis fósseis. (BRISTOTI, 1994 p.02).

O Brasil é um país que apresenta tradição no uso de fontes renováveis de energia, onde se destaca o uso da energia hidrelétrica como responsável pela maior parcela (acima de 80%), de toda geração de eletricidade. Em segundo lugar, o etanol, proveniente da cana-de-açúcar, é utilizado como mistura na gasolina ou puro, substituindo a gasolina (derivado de petróleo). Por outro lado, existe ainda estáticos, com pouco aproveitamento, um enorme potencial de fontes renováveis de energia, destacando-se entre elas a energia solar, eólica e biomassa (SOUZA *et al*, 2004 p.127).

A digestão anaeróbia de matéria orgânica é uma das tecnologias atualmente disponíveis, capaz de contribuir para a redução da poluição ambiental e, ao mesmo tempo, valorizar recursos, nomeadamente biogás (como energia), fibra (como composto) e líquido digerido (como fertilizante líquido). A gestão da sua utilização dos resíduos orgânicos como matéria prima para a produção de combustível (biogás) e como fonte de água e nutrientes para a agricultura; é fundamental, tanto para instalações coletivas em grande escala, como para unidades individuais (ADENE, 2003 p.07).

O biogás, por ser uma fonte renovável de energia, contribui positivamente para solucionar as questões como a diminuição da dependência dos combustíveis fósseis, a diminuição da emissão dos gases de efeito estufa, a geração distribuída de energia elétrica, a maior participação e controle social, a universalização do acesso à energia elétrica, a criação de sistemas isolados de fornecimento de eletricidade, a inserção das externalidades no curso final da energia. O uso do biogás produzido em estações de tratamento de esgotos deve ser incentivado pelas políticas voltadas às fontes renováveis de energia, tendo em vista a sustentabilidade energética do país (LIMA, 2005 p.107).

3.4 Biogás

A data de descoberta do biogás é do ano de 1667, por Shirley. Um século mais tarde a descoberta do metano pelo químico italiano Alessandro Volta (1745-1827), em 1776 (PECORA, 2006, p.18). Volta identificou o metano no gás dos pântanos, resultante da decomposição de restos vegetais em ambientes confinados, verificando que o mesmo conferia ao gás suas características combustíveis (CASSEB, 1996 *apud* BERNI E BAJAY, 2000).

Já no século XIX, Ulysse Grayon, 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 os trabalhos do seu aluno à Academia das Ciências, considerou que esta fermentação podia constituir uma fonte de aquecimento e iluminação (PECORA, 2006 p. 18).

Entretanto, na Índia, a idéia de aproveitar o gás metano produzido por digestão anaeróbia, já não era estranha. Remota ao ano de 1859, quando em uma colônia de leprosos, em Bombaim, se realizou a primeira experiência de utilização direta de biogás. Cerca de 30 anos depois, em 1895, teve lugar a primeira experiência européia, com a utilização do biogás para iluminação de algumas ruas da cidade de Exter, na Inglaterra, a que se seguiram outras experiências, motivadas principalmente pelo entusiasmo inicial que este processo atingiu (COSTA, 2006 p.36).

A recuperação de energia gerada pelos processos de tratamento anaeróbio teve grande impulso com a crise do petróleo, quando diversos países buscaram alternativas para a sua substituição. Entretanto, as soluções para os problemas de desenvolvimento devem ser apropriadas às necessidades, às capacidades e recursos humanos, aos recursos financeiros e à cultura. Assim, o impulso recebido no período de crise não chegou a constituir um sólido movimento de substituição dos recursos não renováveis por outras fontes renováveis (PECORA, 2006 p. 18).

Apesar da digestão anaeróbica ter atingido seu auge na década de 70, como fonte de produção de combustível - o biogás -, o fato desta tecnologia proporcionar a depuração de efluentes contaminantes e gerar produtos que podem ter entre outras características a de biofertilização, favoreceu grandes avanços tecnológicos na digestão anaeróbica, nos anos 90. Assim sendo, a produção de biogás, antes vista como objetivo principal da opção de digestão anaeróbica, atualmente, passa a ser apresentada, juntamente com a depuração de efluentes biologicamente aproveitáveis como justificativa para a implantação e desenvolvimento desta tecnologia. (BERNI e BAJAY, 2001 p.3).

3.4.1 Formação do Biogás

O biogás é uma mistura resultante da fermentação anaeróbia de material orgânico encontrado em resíduos animais e vegetais, lodo de esgoto, lixo ou efluentes industriais como vinhaça, restos de matadouros, curtumes e fábricas de alimentos (GIACAGLIA; SILVA DIAS, 1993).

O processo anaeróbio ocorre através de quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (AMARAL, 2004 p.35).

- **Hidrólise**

Formação de materiais particulados complexos (polímeros) em materiais dissolvidos mais simples (moléculas menores), que podem atravessar as paredes celulares das bactérias fermentativas. É conseguida através da ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas (AMARAL, 2004 p.36).

- **Acidogênese**

Os compostos dissolvidos, gerados no processo de hidrólise ou liquefação, são absorvidos nas células das bactérias fermentativas e, após acidogênese, excretadas como substâncias orgânicas simples como ácidos graxos voláteis de cadeia curta (AGV), álcoois, ácido láctico e compostos minerais como CO₂, H₂, NH₃, H₂S etc. A fermentação acidogênica é realizada por um grupo diversificado de bactérias, das quais a maioria é anaeróbia obrigatória. Entretanto, algumas espécies são facultativas e podem metabolizar material orgânico por via oxidativa (CAMPOS *et al*, 1999 p.33).

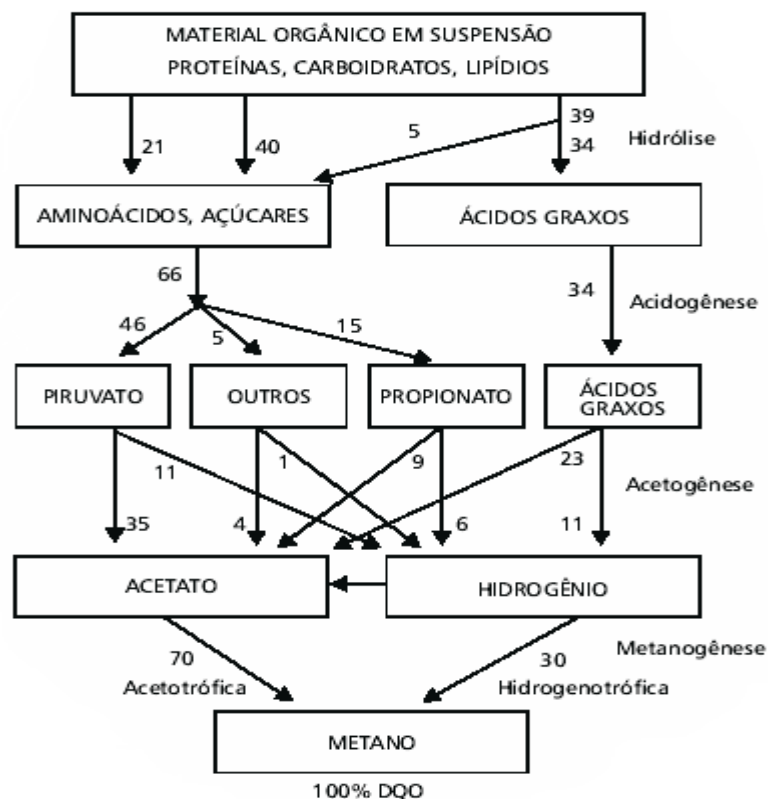


Figura 2 - A sequência de processos na digestão anaeróbica de macro moléculas complexas (os números referem-se a percentagens, expressas como DQO).
Fonte: Campos *et al* (1999 p.34).

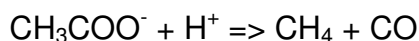
- **Acetogênese**

Oxidação, pelas bactérias acetogênicas, dos produtos gerados na fase acidogênica, por exemplo, propionato e butirato, em substrato apropriado para as bactérias metanogênicas. De todos os produtos metabolizados pelas bactérias acidogênicas apenas o hidrogênio e o acetato podem ser utilizados diretamente pelas metanogênicas. Os produtos gerados pelas bactérias acetogênicas são o hidrogênio, o dióxido de carbono e o acetato (AMARAL, 2004 p.37)

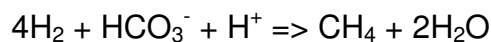
- **Metanogênese**

O metano é produzido pelas bactérias acetotróficas, a partir da redução de ácido acético, ou pelas bactérias hidrogenotróficas, a partir da redução de dióxido de carbono. Tem-se as seguintes reações catabólicas (CAMPOS *et al*, 1999 p.33):

- Metanogênese acetotrófica ou acetoclástica:



- Metanogênese hidrogenotrófica:



A digestão anaeróbia é suscetível a um controle rigoroso das condições ambientais, uma vez que o processo requer uma interação dos microrganismos fermentativos e metanogênicos. As arqueas metanogênicas se reproduzem mais lentamente e são mais sensíveis a condições adversas ou alterações das condições do ambiente, em relação às bactérias acidogênicas (SOUZA, 1984 *apud* BEUX, 2005 p.24).

3.4.2 Fatores que influenciam na produção do biogás

Segundo Cassini (2003 p.125), a produção de biogás é toda feita por bactérias, com isso os fatores que afetam a sobrevivência das mesmas afetarão diretamente a formação do biogás. Alguns dos fatores mais importantes e que devem ser controlados são:

- **Impermeabilidade do ar** – as bactérias metanogênicas são essencialmente anaeróbias, portanto, o biodigestor deve ser perfeitamente vedado. A decomposição da matéria orgânica na presença de ar (oxigênio) irá produzir apenas dióxido de carbono (CO_2).
- **Temperatura** – existem duas faixas de temperatura que proporcionam ótimas condições de digestão para a produção do metano – a faixa mesofílica e termofílica. A faixa mesofílica fica entre 20°C - 40°C, e a temperatura ótima é considerada entre 30°C - 35°C. A faixa termofílica de temperatura é entre 50°C - 65°C. Foi observado que temperaturas mais altas na faixa termofílica reduzem o tempo de requerido para retenção dentro do digestor. Naturalmente o processo termofílico tem um consumo de energia maior que o mesofílico (VERMA, 2002 p.07).

- **Alcalinidade e pH** – a acidez ou alcalinidade do meio é indicada pelo pH. A alcalinidade é uma medida da quantidade de carbonato na solução (proveniente do CO₂ produzido durante a digestão anaeróbia). A alcalinidade é importante, pois, conforme as bactérias produzem ácidos, o que implica diminuição do pH, o carbonato reage com esses ácidos, o que leva ao controle da acidez no meio (efeito tampão do carbonato) (CASSINI, 2003 p.125).

Em meio ácido, a atividade enzimática das bactérias é anulada. Num meio alcalino, a fermentação produz anidrido sulfuroso e hidrogênio. A digestão pode efetuar-se entre os valores de pH de 6,6 e 7,6, encontrando-se o ótimo a pH = 7 (neutro) (COSTA, 2006 p.40).

As bactérias que produzem o metano sobrevivem em faixa estreita de pH (6,5 a 8,0). Assim, enquanto as bactérias produtoras de ácido produzem ácidos, as bactérias produtoras de metano consomem esses ácidos, mantendo o meio neutro. Entretanto, as reações envolvidas nos estágios 1 e 2 (hidrólise e acidogênese) são muito mais rápidas que a produção do metano, por isso, ao iniciar a produção do biogás, é necessário que uma população de bactérias metanogênicas já esteja presente para que o processo seja bem-sucedido (CASSINI, 2003 p.125).

- **Teor de água** – o teor de água dentro do biodigestor deve variar de 60% a 90% do peso do conteúdo total (CASSINI, 2003 p.125). A umidade é essencial à vida das bactérias decompositoras. Ela depende da umidade inicial do resíduo e da água produzida na decomposição (COSTA, 2006 p.42).
- **Nutrientes** – os principais nutrientes dos microrganismos (bactérias) são carbono, nitrogênio e sais orgânicos. Uma relação específica de carbono para nitrogênio deve ser mantida entre 20:1 e 30:1. A principal fonte de nitrogênio é o dejetos humano e de animais, enquanto os polímeros presentes nos restantes das culturas representam o principal fornecedor de carbono. A produção de biogás não é bem-sucedida se apenas uma fonte de material for utilizada (CASSINI, 2003 p.125).

3.4.3 Composição do Biogás

A composição típica do biogás é cerca de 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, aminas voláteis e oxigênio (WEREKO-BROBBY; HAGEN, 2000). Dependendo da eficiência do processo, influenciada pela pressão e temperatura na qual ocorre a fermentação, o biogás pode conter entre 40% e 70% de metano. O resíduo da fermentação, dependendo da sua composição, pode ser utilizado como fertilizante natural (BIOGÁS, 2005).

A presença do sulfureto de hidrogênio pode constituir um problema a partir do momento em que haja combustão do gás e que sejam inalados os produtos dessa combustão, dado que a formação do dióxido de enxofre (SO_2) é extremamente nociva, causando perturbações pulmonares. Outros gases contidos no biogás não originam problemas em termos de toxicidade ou nocividade (CASSINI, 2003 p.124).

Segundo Souza *et al.* (2004 p.129), o biogás é composto pela mistura de gases cujo tipo e porcentagem variam de acordo com as características do tipo de resíduos e as condições de funcionamento do processo de digestão.

Tabela 1 - Composição média da mistura gasosa constituintes do Biogás

GASES	PORCENTAGEM %
Metano (CH_4)	50 a 75
Dióxido de carbono (CO_2)	25 a 40
Hidrogênio (H_2)	1 a 3
Nitrogênio (N_2)	0,5 a 2,5
Oxigênio (O_2)	0,1 a 1
Sulfureto de hidrogênio (H_2S)	0,1 a 0,5
Amônio (NH_3)	0,1 a 0,5
Monóxido de carbono (CO)	0 a 0,1
Água (H_2O)	Variável

Fonte: PIRES, 2000 *apud* CASSINI, 2003 p.124.

A tabela 02 apresenta a equivalência entre o biogás e alguns combustíveis.

Tabela 2 - Equivalência entre o biogás e alguns outros combustíveis.

Combustível	Volume equivalente a 1m³ de biogás	
	OLIVEIRA, 2005 p.05	CASSINI, 2003 p.128
Querosene	-	0,342 L
Álcool	1,3 L	-
Lenha (10% de umidade)	2,7 kg	1,450 kg
GLP	1,5 m ³	0,396 L
Óleo diesel	-	0,358 L
Gasolina	0,8 L	0,312 L
Elettricidade	7 kwh	-

O poder calorífico do biogás varia de 5.000 a 7.000 kcal/m³, dependendo das concentrações de metano (quanto maior a concentração de metano maior o poder calorífico). A purificação do biogás através da remoção do gás carbônico, pode aumentar o seu poder calorífico para valores superiores a 8.700 Kcal/m³ (DOSSIER BIOGÁS, 2004).

Como qualquer outro gás, de acordo com Costa (2006 p.21), as características do biogás dependem da pressão, temperatura, umidade, concentração de metano e concentração de gases inertes e/ou ácidos. A tabela 03 apresenta a variação do poder calorífico em relação à composição do biogás.

Tabela 3 - Variação do poder calorífico em relação à composição do biogás.

Composição Química do Biogás	Peso Específico (kg/Nm³)	Poder Calorífico Inferior (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	11.667,02

Fonte: Avellar, 2001, *apud* Costa, 2006. p.45.

3.4.4 Conversão do Biogás em Energia

Existem diversas tecnologias para efetuar a conversão energética do biogás. Entende-se por conversão energética o processo que transforma um tipo de energia em outro. No caso do biogás, a energia química contida em suas moléculas é convertida em energia mecânica por um processo de combustão controlada (relação da mistura entre ar e combustível). Essa energia mecânica ativa um alternador que a converte em energia elétrica. (COELHO *et al.*, 2006 p.03).

Para a geração de energia elétrica a partir do biogás, existem basicamente dois tipos de tecnologias disponíveis comercialmente: turbinas a gás e grupos geradores de combustão interna (Ciclo Otto) (COSTA, 2006 p.56).

Além destas, existem também as chamadas turbinas a vapor. Porém, elas não utilizam diretamente um combustível para a queima, como nos casos das turbinas a gás, mas convertem a energia térmica do vapor proveniente de um sistema de co-geração, como uma caldeira a gás, por exemplo, em energia mecânica (COSTA, 2006 p.56).

As turbinas a gás são compostas de um compressor de ar, câmara de combustão e turbina. O compressor é acionado pela própria turbina. Na turbina a gás estacionária, o dimensionamento é feito para que os gases de exaustão da turbina saiam em velocidade baixa, aumentando a geração de energia da turbina e, portanto, gerando um excedente de energia para o gerador (WYLEN, 1995 *apud* PECORA, 2006 p.42).

Os motores ciclo-Otto foram desenvolvidos a partir de 1867. Neles, a combustão ocorre numa câmara. O combustível e o ar são submetidos à pressão alta pelo pistão. Neste ponto ocorre o centelhamento de uma faísca, que causa a ignição da mistura. A explosão empurra o pistão, gerando movimento. Mais combustível entra na câmara e o processo se reinicia. Parte da energia do combustível se transforma em energia térmica, saindo junto com o gás de exaustão (LIMA, 2005 p.79).

Há de se mencionar, também, o uso da queima direta do biogás em caldeiras para co-geração e do surgimento de tecnologias remanescentes, porém não comerciais atualmente, como a célula combustível. As turbinas a gás e os motores

de combustão interna do tipo “Ciclo-Otto” ainda são as tecnologias mais utilizadas para esse tipo de conversão energética (COELHO *et al.* 2006 p.03).

3.4.5 Usos do Biogás

A utilização do gás metano para a geração de energia enquadra-se nos quesitos de desenvolvimento sustentável, tendo em vista a grande quantidade de emissões de metano que deixariam de ser lançadas na atmosfera. A comercialização da energia produzida a partir do biogás torna-se mais viável à medida que evolui o processo de liberação do setor elétrico brasileiro. Neste sentido, torna-se fundamental compreender esse processo de liberação, procurando identificar as melhores oportunidades para novos produtores independentes de energia (MELLO, 2004 p.03).

Neste momento existem duas situações possíveis para o aproveitamento do biogás. A primeira consiste na queima direta (aquecedores, fogões, caldeiras). A segunda diz respeito à conversão de biogás em eletricidade. Isto significa que o biogás permite a produção de energia elétrica e térmica (BIOGÁS, 2005).

De acordo com Neder (2005 p.11) o biogás pode ser aproveitado de diferentes formas, dentre elas:

- Combustível para geração de calor;
- Combustível para geração de energia elétrica;
- Combustível para movimentação de veículos.

3.4.5.1 Vantagens

Segundo Pereira (2005 p.02), o biogás é um combustível gasoso que é resultante da digestão anaeróbia, ou seja, pela biodegradação de matéria orgânica por meio da ação de bactérias na ausência de oxigênio. Na produção do biogás existem vantagens e desvantagens da digestão anaeróbia, que são:

- É um processo natural para tratamento de rejeitos orgânicos;
- Requer menos espaço que aterros sanitários;

- Diminui o volume de resíduo a ser descartado;
- Reduz significativamente a quantidade emitida de dióxido de carbono (CO_2) e de metano (CH_4), gases causadores do efeito estufa;
- Apesar do custo inicial, numa perspectiva em longo prazo, o processo resulta numa grande economia, pois reduz gastos com eletricidade, transporte de botijão de gás, esgoto, descarte dos demais resíduos, etc.

O biogás apresenta grande vantagem diante de outros combustíveis, pois é produzido pela degradação de resíduos orgânicos, sendo uma fonte de energia renovável. O aproveitamento energético do biogás se configura numa forma de reduzir as emissões para a atmosfera do gás metano, um dos mais importantes gases que provocam o efeito estufa, apresentando poder reativo 30 vezes maior que o do gás carbônico (CASSINI, 2003 p.130).

3.4.5.2 Desvantagens

- Formação de gás sulfídrico, gás tóxico com cheiro desagradável;
- Dependendo do tipo de resíduo a quantidade de biogás será maior ou menor, o que implica numa possível etapa de tratamento do gás obtido, dependendo do uso dado ao mesmo;
- Custo extra de manutenção devido à escolha adequada do material utilizado na construção do biodigestor, pois há formação de gases corrosivos (PEREIRA, 2005 p.02).

4 METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido na Estação de Tratamento (ETE) Vila União, localizada próximo às quadras 407 e 409 Norte, loteamento Projeto Área Verde, no município de Palmas – TO, conforme visualizado na figura 3.



Figura 3 - Localização da Estação de Tratamento de Esgoto Vila União.

4.1 Caracterização do processo de tratamento de esgoto ETE Vila União

4.1.1 Características Gerais

O processo de tratamento consiste em tratamento preliminar com o reator anaeróbico de fluxo ascendente, seguido de lagoa facultativa secundária. O efluente tratado da ETE é lançado no lago da Usina Hidrelétrica do Lajeado.

4.1.2 Características Específicas

A Estação de Tratamento de Esgotos Vila União atende a população das quadras: ARNOs 12, 13, 21, 22, 23, 31, 32, 33, 41, 42, 43, 44, 51, 61, 71, 72, 73; ACNO II; ACSUNOs 10, 40, 50, 60, 70; AANO 20; ARSE 14; ARNEs 12, 13, 14, 23, 24, 41, 51, 53, 54, 61, 63, 64, 71, 74; ACSUNEs 10, 50, 60, 70; ACNE II; AANEs 20, 40; ASRNEs 15, 25, 55, 65, sendo seu processo de tratamento composto por:

- ✓ Tratamento preliminar: grade, caixa de areia manual e caixa de gordura;
- ✓ Estação elevatória: esgoto bruto;
- ✓ Tratamento primário anaeróbico: RAFA – reator anaeróbico de fluxo ascendente;
- ✓ Tratamento secundário: lagoa facultativa secundária;
- ✓ Leitos de secagem de lodo por desidratação.

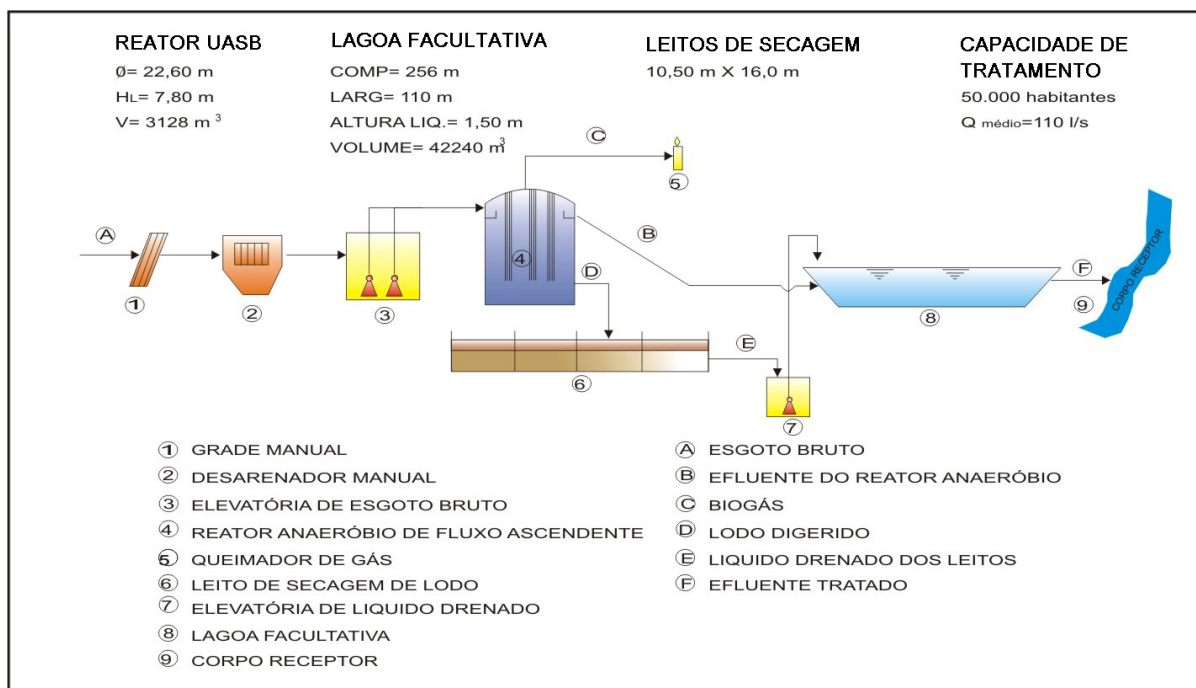


Figura 4 - Fluxograma do sistema de tratamento da ETE Vila União, Palmas – TO.
 Fonte: Saneatins (2008)

Para a realização do trabalho foi utilizado o afluente e efluente gerado na Estação de Tratamento de Esgotos Vila União, para se determinar a produção teórica do biogás gerado no reator anaeróbico de fluxo ascendente, reator UASB.

4.2 Estudo do retorno de investimento do projeto de geração de energia elétrica

Fez-se o levantamento dos custos de implantação para a operacionalização do aproveitamento do biogás através de pesquisas orçamentárias de empresas fornecedoras de equipamentos e estruturas para a co-geração de energia elétrica a partir do biogás.

O cálculo do Período de Recuperação de Investimento (PRI) ou Pay-back foi realizado pela equação do payback original, equação 01, de acordo com Neto *et al* (2003 p.92):

$$PO = C_0 - (FC_1 + FC_2 + FC_3 + \dots + FC_t) \quad (01)$$

Onde:

PO = Payback Original;

C_0 = Investimento inicial;

FC = Fluxo de caixa anual.

5 RESULTADOS

5.1 Caracterização quantitativa da produção de Biogás do UASB.

A matéria orgânica presente nesses efluentes é expressa em termos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que é o fator determinante do potencial de geração de metano (CETESB, 2002 p24).

O biogás é o resultado da decomposição da matéria orgânica, degradada anaerobiamente, por bactérias denominadas metanogênicas, no qual os seus componentes principais são: o gás metano, com valores médios na ordem de 50 a 75%; e o dióxido de carbono, com aproximadamente 25 a 40% de sua composição (PIRES, 2000 *apud* CASSINI, 2003 p.124).

Considerando a composição média de metano no biogás de reator anaeróbio da ETE Vila União em torno de 60%, obtiveram-se os seguintes resultados de produção de biogás, no mês de Dezembro de 2010.

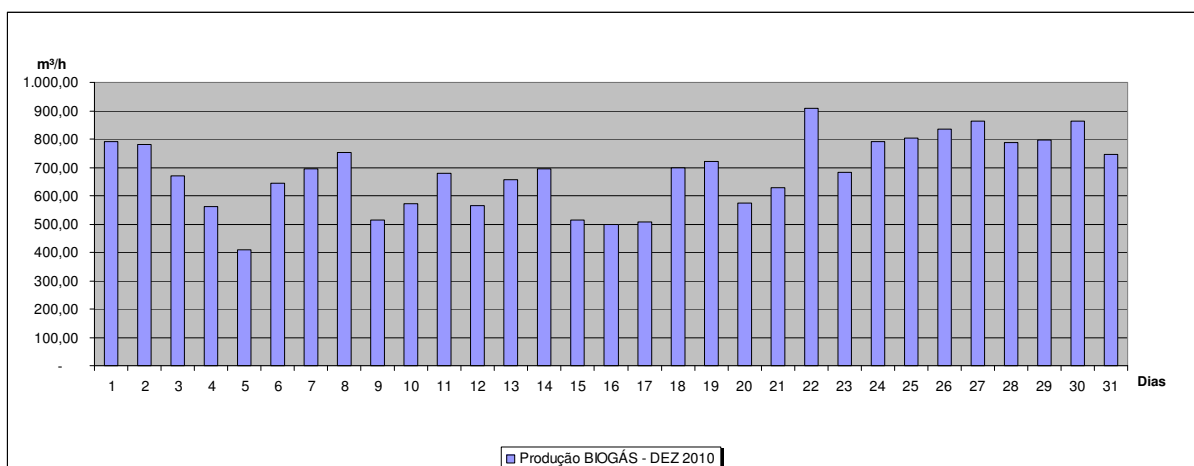


Figura 5 – Produção de Biogás dezembro 2010 da ETE Vila União, Palmas – TO.
Fonte: Saneatins (dez/2010)

Observa-se que a produção de biogás média, mês de dezembro, figura 5, esteve numa faixa de 684 m³/dia ou uma mediana de 497,56 m³/dia.

5.2 Quantificação das reduções de emissões de CH₄ em equivalência ao CO₂.

O gás metano possui o potencial de aquecimento global de 100 anos de 1 t CH₄ equivalente a 21 t de gás de CO₂, valor atualmente usado no Protocolo de Quioto. Segundo Costa (2006 p.17) o gás metano (CH₄) quando liberado diretamente na atmosfera, agrava o efeito estufa, uma vez que é 21 vezes mais impactante do que o dióxido de carbono (CO₂), isto é, uma tonelada de metano equivale a 21 toneladas de CO₂.

Assim, a ETE Vila União apresentando uma vazão de biogás, em média, de 684,00 m³/dia, no mês de estudo, considerando que 35% correspondem a CO₂, gás de referência para estimativa em emissões de gases de efeito estufa, e 60% a CH₄, que equivale a 21 vezes o CO₂, pode-se dizer que a estação de tratamento deixaria de emitir uma quantidade total de 8.857,80 m³ de CO₂ no mês do estudo, com a geração de energia elétrica a partir do biogás gerado no reator anaeróbico.

No entanto, essa produção de CH₄ poderá ser utilizada e/ou comercializada de acordo com o Protocolo de Quioto através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) – proposta brasileira, à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima, onde países incluídos no ANEXO I (países desenvolvidos que tem a meta de reduzir suas emissões de gases de efeito estufa em 5,2% em média entre os anos de 2008 e 2012) poderão comprar créditos de carbono em toneladas de dióxido de carbono equivalente.

De acordo com Deboni (2005), no que concerne especificamente ao MDL - parte do Protocolo que mais interessa aos negócios do Brasil, deve-se ressaltar que há três modalidades de projetos para implementá-lo: a) reduzir emissões (p.ex. substituir óleo diesel por álcool); b) evitar emissões (p.ex. em aterro sanitário, aproveitar o gás metano, que iria para a atmosfera) e c) absorver emissões.

Desta forma, a geração de energia elétrica a partir do biogás gerado no reator anaeróbico da ETE Vila União evitaria uma média de 21.203,96 m³/mês de CH₄, fossem lançados *in natura* na atmosfera, podendo participar em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e negociações de créditos de carbono, pois

deixaria de emitir uma média de 254.447,52 m³/ano de CO₂ em equivalência ao CH₄ na atmosfera.

Segundo Ewerson Duarte da Costa, advogado e gestor de recursos ambientais do Instituto Pró Natura Internacional, ONG que desenvolve projetos de desenvolvimento sustentável no Brasil e no exterior.

“A previsão é de que o preço dessa commodity triplique já no próximo ano. No começo de março, alguns fundos financiadores estavam pagando US\$ 10 a tonelada/dia. Esse valor poderá ir a US\$ 30 no ano que vem”

A negociação de créditos de carbono oriundos dos projetos de MDL no mercado Europeu é por volta de US\$ 10 por tonelada, em março de 2010. No setor elétrico o custo de energia está em torno de R\$ 0,42 por kWh, Companhia de Energia Elétrica do Tocantins (CELTINS). O CH₄ possui o poder calorífico de 5000 a 7000 kcal/m³, conforme o DOSSIER BIOGÁS (2004), onde 1m³ de gás metano gera cerca de 7 kWh de eletricidade (OLIVEIRA, 2005 p.04), com isso obtiveram-se os seguintes dados de produção de energia, tabela 04.

Tabela 4 - Energia produzida e recursos de venda de créditos CO₂ e energia gerada ETE Vila União, dezembro/2010.

Mês	Biogás (m ³ /mês)*	Produção de energia (kWh/mês)**	Venda Energia a R\$ 0,42/kW (R\$/mês)
Dezembro	21.203,96	148.427,72	62.339,64
TOTAL	21.203.96	148.427,72	62.339,64

* Produção obtida no mês de dezembro/2010;

** 1m³ de biogás gera cerca de 7 kWh de eletricidade (OLIVEIRA, 2005 p.04).

Durante o processo de tratamento do biogás para geração de energia, o gás carbônico pode ser eliminado por lavagem com água sob média pressão e posteriormente utilizada para enchimento de extintores de incêndio, ou por lavagem com hidróxido de cálcio, sendo o sal resultante (carbonato de cálcio ou calcário) utilizado para correção de pH de solos ácidos (OLIVEIRA, 2005 p.06).

Com isso em uma estação de tratamento de esgoto, através da captura e geração do biogás pela decomposição anaeróbio, pode-se evitar o lançamento de 100% do biogás gerado (dióxido de carbono e metano). Assim a ETE Vila União, com a geração de energia a partir do biogás, deixaria de emitir na atmosfera mais de 7.421,39 m³ de CO₂ no mês de estudo garantindo benefícios para o meio ambiente e a empresa de saneamento.

O Brasil se beneficia deste cenário como vendedor de créditos de carbono e também como alvo de investimentos em projetos engajados com a redução da emissão de poluentes, como é o caso da geração de energia por fontes renováveis.

Segundo estimativas do Banco Mundial, o país poderá ter uma participação de 10% no mercado de MDL, equivalente a US\$ 1,8 bilhões em 2012.

5.3 Estudo do retorno de investimento do projeto de geração de energia elétrica a partir do biogás gerado ETE Vila União

As decisões sobre a viabilidade de projetos de investimento resultam da estimativa e análise de indicadores de viabilidade.

Para o estudo do retorno de investimento fez-se o levantamento dos equipamentos por pesquisas bibliográficas, seguido de pesquisas de orçamento em empresas da área, a fim de se verificar os gastos iniciais e de manutenção para a co-geração de energia a partir do biogás. Segue abaixo, tabela 05, os itens necessários para a implantação e operacionalização do aproveitamento do biogás para a co-geração de energia elétrica com sua descrição e valor.

Tabela 5 – Cotação dos equipamentos para a co-geração de energia a partir do biogás

Itens		Descrição	R\$ TOTAL
Grupo Gerador GVW 50KVA com partida manual, válvula biogás, painel elétrico com chave comutadora		Gerador GVW50-GET; Potência: 44Kva Contínuo; Entrada: biogás; Saída: 127V/ 220V AC ou 220V/ 380V AC; Dimensões (alt./larg./comp.): 920mm x 1800mm x 850mm; Peso (kg): 495. Motor - Modelo: AP 2000 – 4 Cilindros/ 8 válvulas; Tensão de operação: 12VCC/ Bateria chumbo ácida 90 AH; Refrigeração: A água com radiador, ventilador e bomba d'água; Combustível: Biogás.	42.685,00
Tubulação de coleta e transp. Biogás		Tubulação com tubos de PVC soldável com 100 mm de diâmetro.	2.893,00
Medidor de vazão tipo turbina		Marca Icontrol, modelo: VTG-063. Composto de: Sensor: Cabeçote em alumínio fundido invólucro IP 65; Corpo em aço inoxidável AISI 304; Conexão ao processo ANSI B16.5 150 LBS RF DN 2" em AC; Conexão elétrica ½" NPT-F; Faixa de medição de 25,5 a 849,60 m³/hEntrada: pulsos 5 Hz a 4 kHz, 5 a 24 Vcc; Saída: 4 a 20 mA; Alimentação 110 / 220 Vac - 60 Hz; Fonte auxiliar 24 Vcc;	2.345,00
Indicador totalizador de vazão MEV 1000		Registro de consumo de vazões no microcomputador; Entrada de 4 a 20 mA; Saída de 4 a 20 mA; Comunicação RS-485;	1.835,00
Casa de abrigo			15.395,00
Manutenção Anual			1.500,00
TOTAL			66.653,00*

*cotação realizada em 18/05/2011
Fonte: Saneatins (2011)

Além da relação dos equipamentos para a geração de energia elétrica a partir do biogás, foi realizado também a relação dos benefícios e custos da geração. Tabela 06.

Tabela 6 - Relação de benefícios e custos para a geração de energia elétrica a partir do biogás.

Item	Benefício (R\$)	Custos (R\$)
Investimento Inicial	-	65.153,00
Consumo energia mês 12/2010 na ETE Vila União	-	10.905,30
Produção de energia a partir do biogás - ETE Vila União mês 12/2010	62.339,64	-
Manutenção equipamentos - mês	-	125,00

Considerando a produção mensal de biogás (gás metano para a geração de energia) da ETE Vila União média de 21.203,96 m³, e que o lucro do projeto de geração de energia a partir do biogás consiste no não pagamento da energia fornecida pela Companhia de Energia Elétrica do Tocantins (CELTINS), no mês de dez/2010 de R\$ 10.905,30.

A Estação de Tratamento de Esgoto Vila União gerará energia a partir do biogás por meio da tecnologia de grupos geradores de combustão interna (Ciclo Otto), por 21 h/dia, garantindo sua auto-suficiência nos horários de maior demanda energética, no período de 3 h/dia o sistema será abastecido pela Cia de Energia Elétrica normalmente.

Com isto a SANEATINS reduziria 87,5% dos gastos com energia utilizada em seu sistema, deixando de pagar R\$ 9.542,14 do total de R\$ 10.905,30, considerando ainda as despesas com manutenção dos equipamentos de geração de energia (troca de óleo e lubrificação de máquinas), de R\$ 125,00 mensal, o lucro mês pelo não pagamento de energia elétrica será de R\$ 9.417,14.

O indicador de Período de Recuperação de Investimentos (PRI) ou Payback Original consiste na soma dos valores obtidos como retorno do investimento até que a soma destes se equivalha ou supere o total investido, segundo Neto *et al* (2003 p.92). Apresenta a deficiência de não considerar a atualização do capital investido. Além disto, desconsidera tudo que ocorre após a recuperação do investimento. É, no

entanto, importante ferramenta de mensuração do grau de risco associado ao projeto, isto é, o grau de incerteza na recuperação do capital cresce à medida que aumenta o PRI, ou seja, quanto menor o PRI obtido, melhor alternativa de investimento será.

Desta forma, o Pay-back Period (é o período de tempo que um projeto leva a recuperar o capital inicialmente investido) de geração de energia a partir do biogás na Estação de Tratamento de Esgoto Vila União será de 7 meses, conforme visualizado na tabela 07.

Tabela 7 - Cálculo do Período de Retorno de Investimento

Payback Meses	Investimento Inicial (R\$)	Soma mensal de fluxo de caixa (R\$)	Investimento – Σ Fluxo de caixa mensal (R\$)
1	65.153,00	9.417,14	55.735,86
2	65.153,00	18.834,28	46.318,72
3	65.153,00	28.251,42	36.901,58
4	65.153,00	37.668,56	27.484,44
5	65.153,00	47.085,70	18.067,30
6	65.153,00	56.502,84	8.650,16
7	65.153,00	65.919,98	-766,98

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- A eficiência do sistema garantiu uma geração estável de biogás (média de 684m³/dia ou uma mediana de 497,56m³/dia), segundo as medições utilizando o medidor de vazão, caracterizando uma excelente quantidade de biogás para a geração de energia;
- A produção de biogás, no mês de estudo dezembro/2010, esteve numa faixa de 684 m³/dia ou 21.203,96m³/mês, adotado 60% de metano na composição do gás produzido;
- Com a geração de energia a partir do biogás gerado no reator UASB da ETE Vila União, o sistema deixaria de lançar na atmosfera uma média mensal de 12.722,38m³/mês de CH₄;
- O processo de geração de energia a partir do biogás é viável, tanto do ponto de vista ambiental, reduzindo as emissões de CH₄, quanto do ponto de vista econômico, pela redução de despesas com energia elétrica, com retorno do investimento de 7 meses;
- A co-geração de energia elétrica a partir do uso do biogás gerados nos reatores anaeróbios das Estações de Tratamento de Esgoto, SANEATINS, representa uma boa oportunidade da à empresa aliar o tratamento de rejeitos com práticas que respeitem o meio-ambiente, permitindo uma auto-suficiência energética das instalações e representando nova fonte de recursos energéticos e econômicos.
- A partir da DQO , cerca de 7.421,39 t de biogás no mês de dezembro. Com a obtenção e venda de créditos de carbono geraria cerca de US\$ 74.213,90 por ano, considerando a produção média de 243,94 t CO₂ total/mês. Há a estimativa de cerca de US\$ 187.345,92 por ano, uma vez que o sistema passará a tratar o esgoto da ETE Brejo Comprido, em mais quatro reatores, quadruplicando também, a capacidade de tratamento do sistema.

- Como se teve problemas na instalação do medidor de vazão de biogás, não foi possível colher mais resultados, pois o medidor teve problema de corrosão, por não ter havido a instalação de um filtro antes do mesmo.
- Como pode ter sido observado, nesse trabalho se levantou a quantidade de biogás produzido, entretanto não se fez a especiação desse gás em metano e dióxido de carbono. Assim, se sugere que um novo trabalho seja feito agora para se medir de fato a produção de gás metano (CH_4) x gás carbônico (CO_2), no caso da ETE Vila União. Além do monitoramento por um período médio de 01(um) ano, pois a ETE tem concentrações de efluentes diferentes ao longo do período de estiagem e de chuva.
- Lembrando que juntamente com os dados de produção de biogás, sua especiação em metano e gás carbônico, seja feito um paralelo desses resultados em relação com a temperatura de saída do efluente do reator, como menciona a literatura. Assim, a empresa poderá obter uma melhor correlação entre parâmetros como: horas do dia, temperatura do ar e do líquido, produção de gás em relação à de metano, se há também uma relação entre os valores de DQO e a qualidade do gás gerado, se no período de chuvas a variação da concentração do efluente interfere na concentração do metano, se o excesso de gás pode ser utilizado para esterilização, como energia calorífica, do lodo produzido na Estação, entre outros.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADENE (Agência de Energia). **Estudo de viabilidade do tratamento centralizado de resíduos agro-pecuários no Conselho de Montemor-o-Novo**. Relatório final. 2003. Estudo elaborado pela Agência de Energia (ADENE) para a Câmara Municipal de Montemor-o-Novo, no âmbito do projecto PIGS – Projeto Integrado para Gestão de Suinoculturas, financiado através do Programa LIFE-Ambiente. Disponível em <<http://www.cm-montemornovo.pt/wwwpigs/docs%5CWP51-RTF-27022003.pdf>>. Acesso 23/04/10.

AMARAL, F.L.M. **Biodigestão anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos: um panorama tecnológico atual**. São Paulo, 2004. 107p. Disponível em: <http://santafe.ipt.br/tede/tde_arquivos/3/TDE-2005-11-01T151907Z-7/Publico/Digestao_Anaerobia_Amaral_2004.PDF> . Acesso 01/05/10

BERNI, Mauro Donizeti and BAJAY, Sergio Valdir. Geração de energia e a digestão anaeróbia no tratamento de efluentes: estudo-de-caso na indústria de papel. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3., 2000, Campinas. **Proceedings online....** Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022000000100003&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 17 06 2010.

BIOGÁS – **Uma alternativa energética sustentável**. In SUINO.COM – Comunidade virtual da Suinocultura Brasileira, 2005. [online]. Disponível: <http://www.suino.com.br/meioambiente/noticia.asp?pf_id=22385&dept_id=8>. Acesso em 05/03/10.

BRISTOTI, A. **O papel das fontes renováveis de energia para o desenvolvimento do Rio Grande do Sul**. Núcleo de Energia, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre. 1994. 13 p. Disponível em: <<http://www.ufsm.br/cenergia/bristoti2.pdf>>. Acesso em: 13/04/10

CASSINI, S. T. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**./ Sérgio Túlio Cassini (coordenador). – Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. 210p.: Il. Projeto PROSAB.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. .Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatório de Referência. 2002. **Emissões de Metano no Tratamento e na Disposição de Resíduos** São Paulo Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/proaong/SiteCarbono/2/Tratamento%20e%20disposicao%20de%20residuos.pdf>>. Acesso em: 15/05/10

COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; SILVA, O. C.; PECORA, V.; ABREU, F. C. **Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto**. 2006. Disponível em: <http://paginas.agr.unicamp.br/energia/agre2006/pdf/65.pdf>>. acesso em: 04/05/10

COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto**. Dissertação Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia – IEE/ EPUSP/ FEA/ IF da Universidade de São Paulo. 2006. 164p.

GIACAGLIA, G.E.O, SILVA DIAS, S.F.D. **Parâmetros Técnicos Relativos à Tecnologia de Geração de Biogás em Biodigestores**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Mecânica. São Paulo, 1993.

DEBONI, Giuliano. Protocolo de Kyoto: boa oportunidade para o Brasil. Jus Navigandi, Teresina, ano 9, n. 609, 9 mar. 2005. Disponível em: <http://jus2.uol.com.br/doutrina/texto.asp?id=6422>>. Acesso em: 30/05/2010.

DOSSIER BIOGÁS. **Dossier: O Biogás**. 2004. Disponível em: <http://www.energiasrenovaveis.com/html/canais/destaques/destaques1004.asp>>. Acesso em: 06/05/10

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. The Science of Climate Change – Summary for Policymakers, Office Graphics Studio, Madrid. 1995.

KOETZ, P.R.;FARIA, O.L.V .& NUNES, W.A.**Tratamento de homogeneizados de curtume por digestão anaeróbia em reatores de fluxo ascendente**. Rev. Bras. de Agrociências,v.1, n.1, p.23-29, 1995.

LEITE, V.D.; & POVINELLI, J. **Comportamento dos sólidos totais no processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos e industriais**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.2, p. 229-232. 1999. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB. Disponível em <<http://agriambi.com.br/revista/v3n2/229.pdf>>. Acesso em: 13/05/10

LIMA, F. P. **Energia no tratamento de esgoto: análise tecnológica e institucional para conservação de energia e uso do biogás**. Dissertação (Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia) – EP/FEA/IEE/IF da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005. 139p.: il.; 30cm.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ECHER, M. P. S. **Solar energy resources assesmente using geostationary satellites in Brasil: Swera Project**. Rev. Bras. Ens. Fis. São Paulo, v. 26, n 2. 2004. disponível em: http://scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-47442004000200010&lnq=en&nm=iso>. Acesso em: 12/06/10.

MELLO, P. C. **Estudo do potencial da geração de energia renovável proveniente dos “aterros sanitários” nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil**. Convênio FEALQ – Ministério do Meio Ambiente. Pedro de Carvalho Mello (Coordenador). 2004. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/releaseaterro.pdf>> Acesso em: 30/05/10.

MENDES, A.A.; CASTRO, H.F.; PEREIRA, E.B.; JÚNIOR, A.F. **Aplicação de lípases no tratamento de águas residuárias com elevados teores de lipídeos**. Química Nova, vol. 28, nº 2, 296-305. 2005. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v28n2/23653.pdf>> Acesso em 13/05/10.

MOTA, S. **Introdução a engenharia ambiental**. 2ª ed. – Rio de Janeiro, RJ: ABES. 2000.

NEDER, K. D. **Aproveitamento energético de biogás na CAESB**. Paineis água e Energia. II Semana da eficiência energética da CEMIG. DF. 2005. Disponível em: <www.abae.org/arquivos/setembro2005_1/institucionais/caesbbiogas.pdf>. Acesso em 12/06/10.

NETO, A.F. et al. **Estudo de viabilidade de implantação de uma usina de coleta e reciclagem de pneus no Estado de São Paulo: um modelo de plano de negócios**. Monografia Fundação Escola de Comércio Álvares Penteado. São Paulo. 2003.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de Caso**. 2006. 152p. Dissertação de Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo – PIPGE.

PEREIRA, K. R. O. **Serviços Brasileiro de Respostas Técnicas. Soluções tecnológicas para sua empresa**. Disque-Tecnologia/CECAE/USP. 2005. Disponível em: <<http://sbrt.ibict.br/upload/sbrt1484.pdf>>. Acesso em 05/05/2001.

SOUZA, S. N. M.; PEREIRA, W. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; PAVAN, A. A.; SORDI, A. **Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura**. Acta Scientiarum. Technology. V. 26, no. 2, p. 127-133. Maringá. 2004.

TECPAR – Instituto de Tecnologia do Paraná. **Manual de Biossistemas Integrados na Suinocultura**. Centro de Integração de Tecnologia do Paraná – CITPAR. Telus – Rede Paranaense de Projetos em Desenvolvimento Sustentável. Curitiba, Paraná – 2002. p 140.

VAN HAANDEL, A. C., LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual pra regiões de clima quente**. Campina Grande: Epgraf, 1994.

VIEIRA, S. M. M. **Tratamento de esgotos por digestores anaeróbios de fluxo ascendente**. In: Revista DAE. São Paulo: SABESP Dezembro de 1984.

VERMA, S. **Anaerobic Digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes**. Department of Earth & Environmental Engineering, Columbia University. 2002.

WEREKO-BROBBY, C. Y., HAGEN, E.B. **Biomass Conversion and Technology**. New York, John Wiley & Sons, 2000.