

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

SABRINA DE MEDEIROS
SCHIRLEY PAEZ

**POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA
DIGESTÃO ANAERÓBIA DE ESGOTO SANITÁRIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FRANCISCO BELTRÃO
2015

SABRINA DE MEDEIROS

SCHIRLEY PAEZ

**POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA
DIGESTÃO ANAERÓBIA DE ESGOTO SANITÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Bortoli.

Co-orientadora: Prof.^a Dr.^a Ticiane Sauer Pokrywiecki.

FRANCISCO BELTRÃO

2015



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC2

**POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA
DIGESTÃO ANAERÓBIA DE ESGOTO SANITÁRIO**

por

SABRINA DE MEDEIROS E SCHIRLEY PARZ

Trabalho de Conclusão de Curso 2 apresentado às 14 horas, do dia 26 de novembro de 2015, como requisito para aprovação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão. A (o) candidata (o) foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Banca examinadora:

Marcelo Bortoli

Coordenador do Curso de Engenharia
Ambiental

Marcelo Bortoli

Professor Orientador

Juan Carlos Pokrywiecki

Membro da Banca

Suzana Costa Wrublack

Membro da Banca

Denise Szymczak

Professor do TCC2

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

RESUMO

MEDEIROS, Sabrina de; PAEZ Schirley. Potencial de geração de energia elétrica a partir da digestão anaeróbia de esgoto sanitário. 2015. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão. 2015.

Novas alternativas energéticas, geradas a partir de fontes de energia renováveis, são objeto de estudo em todo o mundo devido à sua importante contribuição para a diversificação da matriz energética dos países. Este fator reduz a dependência dos países de derivados de petróleo e outras fontes de energia não renováveis e, conseqüentemente, diminui também os impactos ambientais provenientes da sua queima. A geração de energia a partir do biogás derivado da digestão anaeróbia do esgoto sanitário incorpora o uso sustentável dos recursos naturais renováveis, já que faz o uso racional e eficiente da energia, ao utilizar o que é comumente descartado, para a produção de energia. Neste sentido, o presente trabalho tem como finalidade abordar os aspectos técnicos referentes à recuperação e uso energético do biogás gerado pelo tratamento anaeróbio de esgoto sanitário, avaliando o potencial de geração de energia a partir desse biogás através da digestão do esgoto na Estação de Tratamento de Esgoto do município de Francisco Beltrão, Paraná (ETE Marrecas). Esta avaliação é realizada a partir da caracterização da ETE, da estimativa da capacidade de geração de metano no biodigestor e da estimativa de geração de energia a partir do metano proveniente da digestão anaeróbia do esgoto. Após o conhecimento do potencial de geração de energia da ETE em questão, também foram levantados dados a respeito dos custos com a implementação do sistema e da economia energética gerada. Os resultados apontam para a viabilidade econômica do sistema, com um tempo de retorno de aproximadamente 10 meses, demonstrando a importância da reutilização desse combustível com elevado potencial de geração de energia, que atualmente é simplesmente queimado.

PALAVRAS-CHAVES: Biogás. Biomassa. Geração de energia. Esgoto.

ABSTRACT

MEDEIROS, Sabrina. de; PAEZ Schirley. Potential of electricity generation from anaerobic digestion of sanitary sewage. 2015. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão. 2015.

New energy alternatives, through renewable energy sources, are the object of study throughout the world due to its important contribution to the diversification of the energy matrix of the countries, reducing their dependence on petroleum derivatives and other non-renewable energy sources and also, consequently, reducing the environmental impact from its burning. Power generation from methane derived from the anaerobic digestion of sewage, incorporates the sustainable use of renewable natural resources with the rational and efficient use of energy, by using what is usually discarded, for the production of a raw material, the energy. In this regard, this study aims to address the technical aspects relating to the recovery and energetic use of the biogas created by the anaerobic treatment of sewage, evaluating the potential of power generation from that biogas in the sewage treatment plant from the city of Francisco Beltrao, in southwestern Parana, Brazil. This review is carried out from the characterization of sewage treatment plant, the estimation of methane generation capacity of the digester, and the estimated power generation of the generated methane. Knowing the power generation potential of the sewage treatment plant, data are also collected regarding the costs of implementing the system and the generated energy savings. The results confirm the economic viability of the system, with a payback period of approximately 10 months, demonstrating the importance of reusing this fuel with high potential for power generation, which is currently simply burned.

KEYWORDS: Biogas. Biomass. Power generation. Sewage.

LISTA DE SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APU	Airborne Power Unit
CETESB	Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental
CNTP	Condições Normais de Temperatura e Pressão
CRUSP	Conjunto Residencial da USP
CTGI	Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPT	Elementos potencialmente tóxicos
ETE	Estação de tratamento de esgoto
FAFA	Filtro anaeróbio de fluxo ascendente
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GWP	Global Warming Potentials
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
PCI	Poder Calorífico Inferior
PNQS	Prêmio Nacional da Qualidade em Saneamento
PUREFA	Programa de Uso Racional de Energia e Fontes Alternativas
RAFA	Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo
RALF	Reator anaeróbio de leito fluidizado
RCE	Redução Certificada de Emissões
SRHE	Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos do Governo do Estado
SST	Sólidos Suspensos Totais
SV	Sólidos Voláteis
UASB	Upflow anaerobic sludge blanket
UPE	Universidade do Pernambuco
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS	9
2.1 OBJETIVO GERAL	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3 JUSTIFICATIVA	10
4 REFERENCIAL TEÓRICO	12
4.1 TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO	12
4.1.1 Tratamento biológico de esgoto	14
4.2 DIGESTÃO ANAERÓBIA	15
4.2.1 Fases da digestão anaeróbia	17
4.2.2 Fatores que influenciam a digestão anaeróbia	21
4.2.3 Biomassa.....	22
4.2.4 Biogás	23
4.2.5 Biodigestores modelo RALF/UASB	25
4.3 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	26
4.4 TECNOLOGIAS DE CONVERSÃO DE BIOGÁS	27
4.4.1 Turbinas a gás.....	28
4.4.2 Microturbinas a gás	28
4.4.3 Turbinas a vapor	29
4.4.4 Motores de combustão interna	30
4.5 EXEMPLOS DE CASOS BRASILEIROS DE GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DO ESGOTO	31
4.6 CRÉDITOS DE CARBONO	32
5 MATERIAL E MÉTODOS	34
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ETE	34
5.1.1 Local e descrição da área de estudo.....	34
5.1.2 Descrição do tratamento realizado na ETE	35
5.1.3 Coleta de dados	36
5.2 ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE BIOGÁS.....	36
5.3 ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DO METANO	37
5.3.1 Estimando a potência disponível e a máxima possível	37
5.3.2 Estimando a energia disponível	38
5.4 ANÁLISE DOS CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO.....	38

5.5 CRÉDITO DE CARBONO	39
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
6.1 DADOS UTILIZADOS PELO PROGRAMA BIOGÁS 1.0	40
6.2 ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE METANO	40
6.3 ESTIMATIVA DA ENERGIA ELÉTRICA DISPONÍVEL	42
6.4 TECNOLOGIA DE CONVERSÃO E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA	43
6.5 CUSTOS DO SISTEMA E RETORNO DO INVESTIMENTO	44
6.6 CRÉDITO DE CARBONO	45
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS.....	47
APÊNDICE.....	51
ANEXOS	63

1 INTRODUÇÃO

Os problemas enfrentados com relação à crise energética e ao aquecimento global estão levando diversos países a investir significativamente em tecnologias e projetos para o aproveitamento do biogás produzido em estações de tratamento de esgotos. Sendo um recurso renovável, a utilização do biogás colabora com a não-dependência de fonte de energia fóssil; aumenta a oferta e possibilita a geração descentralizada de energia próxima aos centros de carga; promove economia no processo de tratamento de esgoto, aumentando a viabilidade da implantação de serviços de saneamento básico (PNUD, 2010).

O biogás gerado a partir da digestão anaeróbia de resíduos sólidos ou líquidos constitui uma fonte de energia alternativa e, dessa forma, contribui muito na questão ambiental, pois reduz potencialmente os impactos ambientais da fonte poluidora. O biogás é composto por uma mistura de gases, onde o metano e o dióxido de carbono apresentam-se em maiores proporções. O potencial energético do biogás depende da quantidade de metano presente, que determina o seu poder calorífico (SALOMON; LORA, 2005).

Outro benefício da utilização da biomassa como fonte renovável e sustentável de energia, segundo Machado (2011), é a diversificação da matriz energética nacional, além de reduzir a emissão de gases do efeito estufa. A geração de resíduos sólidos e efluentes domésticos está diretamente relacionada com a população urbana, seu padrão de vida e hábitos de consumo. O autor ainda ressalta que a coleta, tratamento e disposição adequada destes resíduos se refletem na qualidade de vida da população e das águas superficiais e subterrâneas, bem como na atividade pesqueira e nos vetores patogênicos.

Em linhas gerais, o aproveitamento energético do biogás otimiza o processo de tratamento de esgoto como um todo, uma vez que um subproduto do processo (o biogás) é transformado em matéria-prima (energia) (MACHADO, 2011).

Segundo o Relatório de Gestão - PNQS 2010 da Sanepar, a Unidade Regional de Francisco Beltrão, em 2009, já atendia quase 75 mil habitantes com coleta de esgoto em oito municípios da região (quase 40% da população), sendo que 100% do esgoto coletado é tratado, um volume de aproximadamente 3,5 milhões de m³. A maior das estações de tratamento de esgoto da unidade é a ETE Marrecas, localizada em

Francisco Beltrão, com capacidade de 140 litros por segundo, a qual será objeto de estudo deste trabalho.

A pesquisa realizada neste trabalho é do tipo exploratória, com o objetivo de buscar maior familiaridade com o tema de geração de energia elétrica a partir do biogás gerado na digestão anaeróbia de esgoto, utilizando levantamento bibliográfico acerca do assunto, juntamente com estudo de caso, ferramentas que fazem parte de uma pesquisa exploratória.

Assim, este trabalho vem para contribuir na busca de informações e possibilidades para minimizar os problemas da diversificação da matriz energética brasileira a partir de fontes alternativas e do aumento de gases de efeito estufa, através da utilização do biogás que já é gerado e descartado através da queima na ETE Marrecas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os aspectos técnicos referentes a geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente da digestão anaeróbia do esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto do município de Francisco Beltrão/Paraná (ETE Marrecas).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a ETE Marrecas, através da obtenção de dados de localização, vazão tratada e população atendida, e tratamentos realizados;
- Estimar a geração de biogás proveniente dos RALFs (Reatores Anaeróbios de Leito Fluidizado) utilizados na ETE;
- Estimar, através do uso de programa específico, a geração de energia elétrica a partir da estimativa de geração de biogás;
- Avaliar os custos de implementação de um sistema de geração de energia elétrica a partir do biogás, e a economia de energia gerada pelo mesmo.

3 JUSTIFICATIVA

Até certo tempo atrás, o biogás costumava ser visto somente como um subproduto gerado na digestão anaeróbia de resíduos orgânicos. No entanto, esta perspectiva tem mudado, com o surgimento de fatores como a crise ambiental, a ratificação do Protocolo de Kyoto, a implementação do MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) e o rápido desenvolvimento econômico dos últimos anos, além da crescente elevação do preço dos combustíveis convencionais. Estas mudanças vêm causando aumento nas pesquisas e nos investimentos para produção de energia a partir de novas fontes alternativas e economicamente atrativas, que possibilitem a preservação dos recursos naturais não-renováveis (SALOMON; LORA, 2005).

Além disso, existe uma grande preocupação em relação ao grau de tratamento e ao destino final dos esgotos, os seus potenciais impactos sobre o meio ambiente, a qualidade das águas e aos seus usos e benefícios (FERREIRA; CORAIOLA, 2008).

A recuperação do biogás gerado nas ETEs contribui para o aumento da geração de energia a partir de fontes renováveis, bem como para cogeração, reduz os impactos ambientais e melhora a questão do saneamento básico no País, já que tem potencial para aumentar a viabilidade deste (SALOMON; LORA, 2005).

Salomon e Lora (2005) apontam alguns desafios a serem vencidos que impedem a ampla utilização do biogás como recurso energético, entre eles: falta de disponibilidade de tecnologias nacionais de geração; purificação do biogás; viabilidade econômica; falta de fiscalização; e penalidades por possíveis danos ambientais.

Porém, existem diversas vantagens da utilização de biogás para este fim, entre as quais: geração descentralizada e próxima aos pontos de carga, a partir de uma fonte renovável que vem sendo tratada como resíduo; possibilidade de receita extra, proveniente da energia gerada com biogás e vendida às concessionárias; redução na quantidade de eletricidade comprada da concessionária; possibilidade de uso de processos de cogeração; redução das emissões de metano para a atmosfera; créditos de carbono; redução de odores (SOLOMON, LORA, 2005).

Além dessas vantagens, a utilização do biogás como fonte energética é também uma possível alternativa para minimizar os problemas do gerenciamento dos resíduos urbanos no Brasil. Com isso, parte dessa energia seria utilizada na própria

instalação onde se produz o biogás, enquanto a outra parte poderia ser vendida à concessionária de energia elétrica local (SALOMON; LORA, 2005).

Para Costa (2006), o aproveitamento energético de um resíduo do processo de tratamento do esgoto tem como objetivo otimizar o desempenho global do mesmo, reduzindo a emissão de gases efeito estufa, colaborando para aumentar a eficiência energética global da estação de tratamento e consequentemente a viabilidade do saneamento básico no país.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

A estação de tratamento de esgoto (ETE) consiste em técnicas desenvolvidas em unidades de tratamento, equipamentos e sistemas, com a finalidade de reduzir a carga poluidora do esgoto, bem como a adequada disposição da matéria residual resultante do tratamento. São nestas unidades de tratamento que se realizam as operações e processos unitários responsáveis pela remoção dos poluentes em suspensão e dissolvidos presentes na água, antes de a mesma ser retornada ao corpo hídrico, e o devido condicionamento dos resíduos retidos. Utilizam-se processos físicos, químicos e biológicos para remoção dos sólidos presentes no esgoto (NUVOLARI, 2003).

Os esgotos domésticos são compostos, em média, de 99,9% de água, enquanto apenas 0,1% correspondem a sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, além de microrganismos. Assim, a necessidade de se tratar os esgotos se deve a essa fração de sólidos (SPERLING, 2005).

Segundo Nuvolari (2003), cerca de 75% dessa fração de sólidos consiste de matéria orgânica em decomposição, na qual proliferam microrganismos e, dependendo da saúde da população, podem existir organismos patogênicos. Caso haja mistura com efluentes industriais, pode ocorrer ainda a presença de poluentes tóxicos, principalmente fenóis e metais pesados.

Sperling (2005) ainda ressalta que as características específicas do esgoto dependem dos usos dados àquela água, bem como a forma com que esses usos são exercidos, que variam com o clima, situação social e econômica, e os hábitos da população.

São vários os processos existentes atualmente para o tratamento de esgoto, que podem ser aplicados individualmente ou combinados. A escolha do processo deve considerar as condições do corpo hídrico receptor, incluindo estudos de autodepuração do ambiente e os limites definidos pela legislação ambiental, e das características do esgoto bruto que será tratado. Deve-se verificar ainda a eficiência

de cada processo aplicado, seu custo benefício, e a área disponível para implantação do processo (IMHOFF, 1996).

De acordo com Sperling (1996), o tratamento de esgoto pode ser dividido em quatro níveis: preliminar, primário, secundário e terciário. O tratamento preliminar visa apenas a remoção de sólidos grosseiros. No tratamento primário predominam mecanismos físicos, fazendo a remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. Já no tratamento secundário predominam mecanismos biológicos, para remoção principalmente de matéria orgânica e nutrientes, como nitrogênio e fósforo. Por fim, no tratamento terciário, remove-se poluentes específicos, usualmente tóxicos ou não-biodegradáveis, ou ainda poluentes na qual a remoção não é suficiente apenas com tratamento secundário. No Brasil, o tratamento terciário é bastante raro.

Sperling (1996) classifica também os processos de tratamento em físicos, químicos e biológicos. Os processos físicos incluem atividades de decantação, filtração, incineração, diluição e homogeneização. Os processos químicos envolvem a adição de elementos químicos ao tratamento. Processos biológicos dependem da ação de microrganismos para que as reações possam ocorrer.

Segundo Nuvolari (2003), a remoção de sólidos no tratamento de esgotos se dá da seguinte forma: no nível de preliminar, grades e caixas de areia atuam na remoção de sólidos grosseiros; o tratamento primário é constituído de decantadores primários, nos quais ocorre a remoção dos sólidos sedimentáveis; no tratamento secundário, os sólidos dissolvidos e em suspensão são absorvidos pela biomassa através de um reator, normalmente no sistema de lodo ativado, sendo removidos no processo de sedimentação secundária, e parte é recirculada para o reator. Em casos com presença de organismos patogênicos em grande número, nutrientes e elementos potencialmente tóxicos (EPTs), quando há lançamento de efluentes industriais não tratados um melhor nível de tratamento é necessário, com tratamentos complementares ou terciários. A eliminação de EPTs exigiria processos de precipitação química, enquanto a eliminação de nutrientes pode ser feita por tratamentos biológicos complementares ou utilização de produtos químicos.

Conforme já citado, para o tratamento secundário de esgotos, se faz a inclusão de uma etapa biológica, na qual a matéria orgânica é removida através de reações bioquímicas realizadas por microrganismos (SPERLING, 2005).

4.1.1 Tratamento biológico de esgoto

No tratamento biológico de esgotos, tenta-se reproduzir os processos naturais que ocorrem em um corpo d'água quando do lançamento de efluentes, onde a matéria orgânica, através de mecanismos naturais, é convertida em produtos mineralizados inertes, fenômeno denominado de autodepuração. Neste processo, há a inclusão da tecnologia, no intuito de controlar as condições em que o processo de depuração ocorre, fazer com que ocorra em taxas mais elevadas (SPERLING, 1996).

Para Nuvolari (2003), o tratamento biológico é incluído na maioria dos casos, já que o tratamento primário normalmente é insuficiente para permitir que o efluente seja lançado no corpo hídrico. Segundo ele, a remoção de DBO nos decantadores primários é de no máximo 40%, e a remoção de sólidos suspensos é de no máximo 70%, sendo necessário o tratamento secundário para remoção de sólidos dissolvidos e finamente particulados. A remoção desta fração de sólidos não é comumente realizada por processos físico-químicos porque seria necessária a adição de produtos químicos, aumentando consideravelmente a quantidade de lodo a ser tratado e disposto.

Esse tratamento biológico pode ocorrer em condições aeróbias ou anaeróbias. Os processos aeróbios costumam ser mais rápidos, eficientes e fáceis de controlar. Porém, alguns deles, como o processo de lodos ativados, consomem energia para aeração do líquido e funcionamento das bombas de recirculação, e exigem mão-de-obra especializada para operação e manutenção, além de serem considerados grandes geradores de lodo, que devem ser adequadamente tratados e dispostos ao final do processo. Processos como as lagoas de estabilização e tratamento por disposição no solo não despendem energia, porém necessitam de grandes áreas para serem aplicados. Outros processos aeróbios, como os filtros biológicos, não demandam grandes áreas nem muita energia, porém são de difícil operação, pela possibilidade de entupimentos e proliferação de insetos (NUVOLARI, 2003).

Processos anaeróbios em regiões que contam com condições climáticas favoráveis, principalmente com temperaturas elevadas, são bastante promissores, já que não dependem de tanta energia nem grandes áreas, e ainda geram o gás metano como subproduto, que pode ser reaproveitado. Esses processos incluem filtros anaeróbios de fluxo ascendente, reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de

lodo (UASB) e digestores de lodo. Processos anaeróbios como o RAFA (Reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo) ou o FAFA (Filtro anaeróbio de fluxo ascendente) que, se comparados a sistemas aeróbios, apresentam baixa eficiência, podem ser utilizados como tratamentos precedentes aos aeróbios, por apresentarem baixo custo de implantação e operação (NUVOLARI, 2003).

De acordo com Sperling (1996), os principais organismos envolvidos no tratamento biológico de esgotos são bactérias, protozoários e fungos, além de algumas algas e vermes, sendo as bactérias os mais importantes na estabilização da matéria orgânica.

O tratamento biológico ocorre através do contato direto entre os microrganismos e a matéria orgânica presente no esgoto, que servirá como alimento a esses organismos, sendo esta convertida em gás carbônico, água e material celular, através do crescimento e reprodução dos microrganismos. Em caso de condições anaeróbias, há ainda a produção de metano. Essa decomposição do material orgânico dependerá de condições ambientais favoráveis, como temperatura, pH, tempo de contato e oxigênio (em condições aeróbias) (SPERLING, 2005). Segundo Nuvolari (2003), os microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica são denominados heterótrofos saprófitas.

4.2 DIGESTÃO ANAERÓBIA

Em sistemas de tratamento anaeróbios aplicam-se condições favoráveis ou exclusivas ao desenvolvimento de microrganismos adaptados à ausência de oxigênio, em especial bactérias acidogênicas e metanogênicas (SPERLING, 1996).

De acordo com Chernicharo (1997), na biodigestão anaeróbia a matéria orgânica é convertida, em sua maioria, em gás metano e gás carbônico. Sem a presença de oxigênio, são utilizados aceptores de elétrons inorgânicos, como NO_3^- (redução de nitratos), SO_4^{2-} (redução de sulfatos), ou CO_2 (formação de metano). Em ambientes onde oxigênio, nitratos ou sulfatos estão disponíveis como aceptores de elétrons, não haverá formação do metano. Em ambientes naturais, há produção de metano em locais como pântanos, solo, sedimentos de rios, lagos e mares, bem como nos órgãos digestivos de animais ruminantes.

Angonese et al. (2006) aponta que o processo microbiológico tem a finalidade de reduzir significativamente o potencial poluente e os riscos sanitários relacionados ao efluente, gerando como subprodutos um biofertilizante com diversas aplicações, e o biogás que pode ou não ser aproveitado.

O processo anaeróbio ocorre de maneira mais lenta que os processos aeróbios, e costuma produzir mau cheiro pela formação de gases. Porém, mesmo em ETEs que utilizam o processo aeróbio por lodos ativados convencionais, é geralmente realizada a degradação dos lodos primário e secundário através de processos anaeróbios, devido à economia de energia. Em estações de pequeno porte, a degradação do lodo pode ser realizada aerobiamente por processos de aeração prolongada. Existem também processos anaeróbios de tratamento de esgoto que apresentam uma menor eficiência, porém são mais econômicos e possuem o gás metano como subproduto (NUVOLARI, 2003).

Segundo Silva (2011), após a digestão anaeróbia, a fração de matéria orgânica que não é convertida em gás possui condições de maior estabilidade, com maior quantidade de substâncias minerais (mineralização).

De acordo com Chernicharo (1997), os microrganismos responsáveis pela digestão anaeróbia da matéria orgânica podem ser divididos em bactérias fermentativas, acetogênicas e metanogênicas. As bactérias fermentativas atuam através de enzimas extracelulares que hidrolisam os complexos orgânicos e em seguida os absorvem para formar ácidos graxos de cadeia curta, hidrogênio e dióxido de carbono. Bactérias acetogênicas utilizam os produtos das reações realizadas pelas bactérias fermentativas para produzir hidrogênio, dióxido de carbono e acetato. As bactérias metanogênicas se alimentam do substrato produzido pelas bactérias acetogênicas, produzindo o biogás.

Chernicharo (1997) apresenta o processo de digestão anaeróbia dividido em quatro fases principais (Figura 1), podendo ocorrer uma quinta fase, dependendo das características do despejo, apesar de este processo ser comumente considerado como tendo apenas duas fases. Essas fases são descritas a seguir.

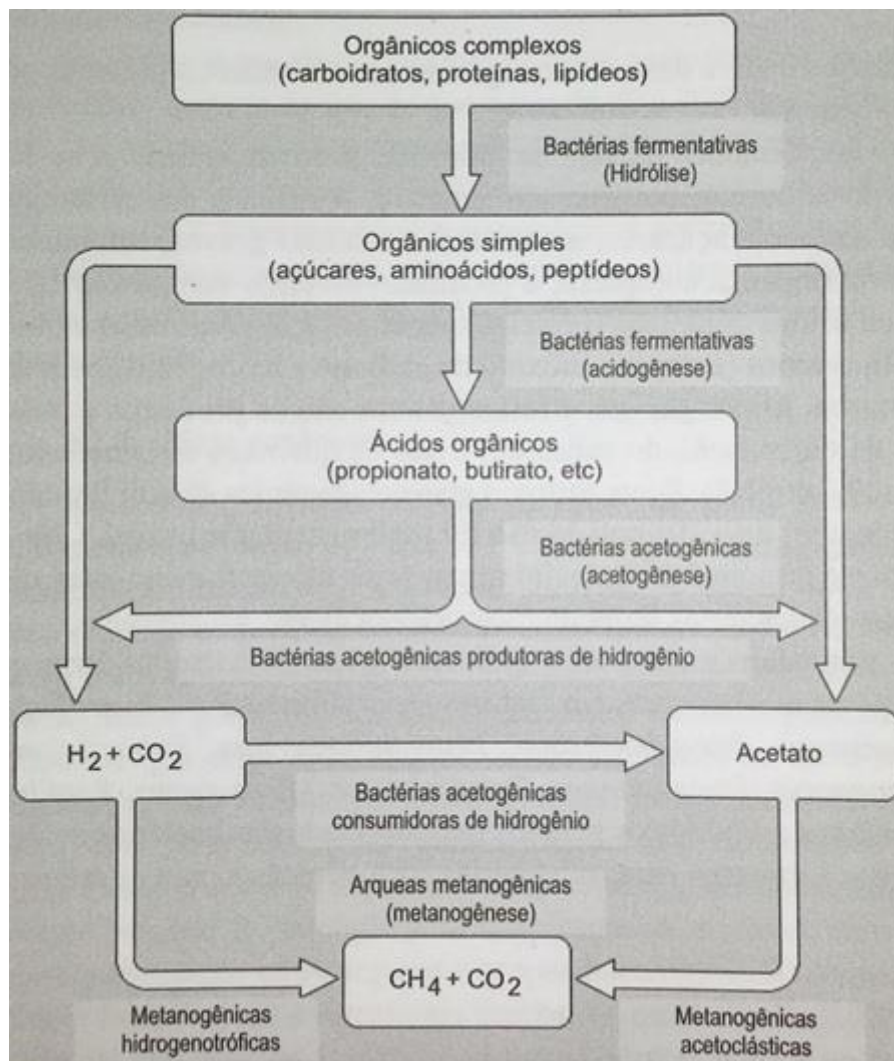


Figura 1. Processo de digestão anaeróbia
Fonte: Chernicharo (1997)

4.2.1 Fases da digestão anaeróbia

➤ Primeira fase – Hidrólise

Na primeira fase no processo de degradação anaeróbia ocorre a hidrólise de substâncias particuladas complexas (polímeros) em substâncias dissolvidas mais simples, para que elas possam então ser assimiladas pelas bactérias fermentativas. Essa conversão é realizada através de enzimas exógenas excretadas por bactérias fermentativas hidrolíticas. Em ambientes anaeróbios, essa hidrólise é mais lenta do que em ambientes aeróbios. O grau e taxa em que o substrato é hidrolisado podem ser afetados por vários fatores (LETTINGA et al. 1996 apud CHERNICHARO, 1997):

- temperatura operacional do reator;
- tempo de residência do substrato no reator;
- composição do substrato (ex.: teores de lignina, carboidrato, proteína e gorduras);
- tamanho das partículas;
- pH do meio;
- concentração de $\text{NH}_4^+\text{-N}$;
- concentração de produtos da hidrólise (ex.: ácidos graxos voláteis).

➤ Segunda fase – Acidogênese

As substâncias solúveis, produtos da hidrólise, são metabolizadas pelas bactérias fermentativas e convertidas em compostos mais simples, excretados pelas células, como ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio, além da formação de novas células bacterianas. Por serem os ácidos graxos o principal composto produzido pelas bactérias fermentativas, essas são comumente denominadas bactérias fermentativas acidogênicas (NUVOLARI, 2003).

Segundo van Haandel e Lettinga (1994) e Lettinga et al. (1996), apud Chernicharo (1997), a maioria das bactérias acidogênicas é estritamente anaeróbia, porém cerca de 1% são bactérias facultativas, podendo atuar na degradação do substrato orgânico por via oxidativa. A ocorrência dessas bactérias facultativas em meio anaeróbio é particularmente importante, pois elas consumirão eventual oxigênio que entre no sistema, protegendo as demais dessa exposição.

➤ Terceira fase – Acetogênese

As bactérias acetogênicas oxidam os subprodutos da acidogênese, convertendo-os em substratos adequados para a metanogênese. Esses subprodutos são o hidrogênio, o gás carbônico e o acetato. Durante a formação dos ácidos acético e propiônico, forma-se também uma grande quantidade de hidrogênio, reduzindo o pH do meio aquoso. No entanto, o hidrogênio é consumido nesse meio de duas maneiras: pelas bactérias metanogênicas, que utilizam hidrogênio e gás carbônico para produzir metano, e pela formação de ácidos orgânicos, como propiônico e

butírico, pela reação do hidrogênio com gás carbônico e ácido acético (NUVOLARI, 2003).

Segundo Chernicharo (1997), de todas as substâncias produzidas pelas bactérias acidogênicas, apenas o hidrogênio e o acetato podem ser utilizados pelas bactérias metanogênicas. No entanto, nesse ambiente, pelo menos 50% da DQO biodegradável é convertida em propionatos e butiratos, que são posteriormente descompostos em acetato e hidrogênio, pela ação das bactérias acetogênicas.

➤ Quarta fase – Metanogênese

Etapa final da degradação anaeróbia, onde ocorre a transformação da matéria orgânica em gás metano e gás carbônico, realizada pelas bactérias metanogênicas (NUVOLARI, 2003). Segundo Chernicharo (1997), essas bactérias utilizam um limitado número de substratos que inclui o ácido acético, hidrogênio/gás carbônico, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono. As bactérias metanogênicas podem ser divididas em dois grupos em função da afinidade por determinado substrato e pela produção de metano: as acetoclásticas, que geram metano a partir do ácido acético (metanol), e as hidrogenotróficas, que produzem metano a partir do hidrogênio e do gás carbônico.

- Bactérias metanogênicas acetoclásticas: apesar de existirem poucas espécies, são normalmente predominantes na digestão anaeróbia. São responsáveis por 60 a 70% da produção de metano. Pertencem a dois gêneros principais: as *Methanosarcinas*, que possuem espécies capazes de utilizar também hidrogênio e metilaminas como substrato, e as *Methanosaetas*, que utilizam exclusivamente o acetato (SOUBES, 1994 apud CHERNICHARO, 1997).

- Bactérias metanogênicas hidrogenotróficas: Segundo Chernicharo (1997), praticamente todas as espécies de bactérias metanogênicas hidrogenotróficas produzem metano, a partir do hidrogênio e do dióxido de carbono. Porém, os gêneros mais frequentemente isolados em reatores anaeróbios são as *Methanobacterium*, as *Methanospirillum* e *Methanobevibacter*.

Tanto as bactérias metanogênicas acetoclásticas quanto as hidrogenotróficas são importantes no processo de digestão anaeróbia, por consumirem o hidrogênio produzido nas fases anteriores da digestão, atuando na manutenção do pH numa faixa

aceitável para sua própria sobrevivência e mantendo a função de produzir metano (NUVOLARI, 2003).

➤ Quinta fase – Sulfetogênese

Essa fase nem sempre ocorre e é indesejável que ocorra. Pode ocorrer quando os despejos que contêm compostos de enxofre encontram-se em condições favoráveis à sua produção, pela redução de sulfatos (NUVOLARI, 2003). Segundo Chernicharo (1997), a produção de sulfetos ocorre através da reação na qual o sulfato e outros compostos à base de enxofre são utilizados como aceptores de elétrons durante a oxidação de compostos orgânicos, realizada por bactérias redutoras de sulfato. Quando existe sulfato em meio anaeróbio, pode ocorrer uma rota alternativa às fases de acetogênese e metanogênese, provocando competição por substrato entre as bactérias redutoras de sulfato e as bactérias fermentativas acetogênicas e metanogênicas, ocorrendo assim a formação de metano pela metanogênese e de sulfetos pela redução do sulfato. Para Chernicharo (1997), a intensidade dessa competição depende de vários aspectos, em especial o pH e a relação entre DQO/SO₄²⁻ (demanda química de oxigênio/concentração de sulfatos).

Visser (1995 apud CHERNICHARO, 1997) apresenta problemas que a produção de sulfetos pode gerar no reator:

- a redução de SO₄²⁻ forma gás sulfídrico (H₂S), que inibe o metabolismo das bactérias metanogênicas. Ocorrerá uma inibição mais acentuada quando a relação DQO/SO₄²⁻ < 7,0, com forte dependência do pH. Para relações DQO/SO₄²⁻ > 10, grande parte do H₂S produzido será removido da fase líquida, em função de uma maior produção de biogás;

- o H₂S presente na fase gasosa pode causar problemas como mau odor e corrosão. Esse gás ataca diversos materiais, desde o ferro até o concreto, pois em meio úmido é convertido a ácido sulfúrico (H₂SO₄). O H₂S apresenta odor extremamente ofensivo (cheiro de ovo podre). Assim, quando misturado ao biogás que se pretenda utilizar, requer um custo adicional para unidades de purificação;

- a presença de sulfetos no efluente líquido do tratamento anaeróbio causará uma elevada demanda de oxigênio, além do problema do mau cheiro. Dependendo do caso, pode ser necessária uma etapa de pós-tratamento;

- a sulfetogênese reduz a quantidade de metano produzido para uma mesma quantidade de matéria orgânica. Para cada 1,5 grama de SO_4^{2-} presente no despejo, consome-se cerca de 1 g de DQO, resultando em uma menor disponibilidade de matéria orgânica a ser convertida em metano.

Khan e Trottier (1978 apud NUVOLARI, 2003), verificaram que a inibição da metanogênese provocada por compostos inorgânicos de enxofre aumentava na seguinte ordem: sulfatos, tiosulfatos, sulfitos, sulfetos e H_2S . Todos os compostos, exceto os sulfatos, inibiram a metanogênese a partir de concentrações de 290 mgS/L.

4.2.2 Fatores que influenciam a digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia é influenciada diretamente pelas características do reator, do resíduo a ser digerido, e da operação do digestor (NUVOLARI, 2003). Segundo Eastman e Ferguson (1981 apud NUVOLARI, 2003), a reprodução das bactérias metanogênicas é mais lenta, e são mais sensíveis a condições adversas, que quase sempre vai causar redução da produção de metano.

Nuvolari (2003) alerta que o aumento da concentração de ácidos voláteis pode provocar a queda do pH, se a alcalinidade do sistema não for suficiente para tamponar essa queda. Se o pH cair para valores menores que 6,8 a atividade das bactérias metanogênicas reduz sensivelmente, já que o pH ótimo desses organismos está na faixa de 6,8 a 7,2. Segundo Qasin (1999 apud NUVOLARI, 2003), em pH abaixo 6,0 não há mais produção de metano.

Conforme explica Souza (1984 apud NUVOLARI, 2003), a alcalinidade total do sistema em meios anaeróbios consiste na alcalinidade devida ao bicarbonato e aos ácidos voláteis. Podem ocorrer problemas no reator anaeróbio se a alcalinidade devida aos ácidos voláteis ultrapassar a alcalinidade devida ao bicarbonato, tornando o reator instável. De acordo com o autor, especialistas indicam que alcalinidade devida ao bicarbonato com valores na faixa de 2.500 a 5.000 mgCaCO_3/L seriam desejáveis e suficientes para se evitar tais problemas. Segundo Snelling (1979 apud NUVOLARI, 2003), o nitrogênio amoniacal em altas concentrações, em torno de 600 a 900 mg/L , também contribui no controle da alcalinidade.

Em termos operacionais, o ajuste do pH pode ser realizado pela adição de produtos químicos, como a cal, por exemplo, que é bastante utilizada para este fim, devido ao seu baixo custo. No entanto, conforme alerta Nuvolari (2003), a adição de cal deve ser feita somente até valores de pH em torno de 6,7 a 6,8, pois a adição além desse ponto pode provocar alto consumo do dióxido de carbono no meio, formando bicarbonato de cálcio, que é insolúvel, e não causará a alteração desejada na alcalinidade ao bicarbonato e no pH. Se o consumo de dióxido de carbono continuar até que se tenha menos que 10% desse gás no meio, novas adições da cal podem aumentar repentinamente o pH, o que também deve ser evitado (SOUZA, 1984 apud NUVOLARI, 2003) A soda cáustica é mais eficiente do que a cal por não formar precipitados, mesmo que haja consumo de dióxido de carbono. Porém, se não fosse o custo, o ideal seria a adição de bicarbonato, que eleva a alcalinidade e o pH sem provocar dissolução do CO₂ (NUVOLARI, 2003).

4.2.3 Biomassa

Biomassa é todo material que pode ser decomposto por atividade biológica (SGANZERLA, 1983 apud STACCHISSINI, 2014). De acordo com Hinrichs e Kleinbach (2003), a energia de biomassa é proveniente de matéria-prima viva, como grãos (milho, trigo), árvores e plantas aquáticas, por exemplo, sendo também encontrada em resíduos agrícolas e florestais, incluindo restos de colheita e estrumes, bem como em resíduos sólidos municipais.

A utilização dessa biomassa como fonte renovável e sustentável de energia, que pode ser obtida a partir de resíduos sólidos urbanos, efluentes industriais ou comerciais e resíduos rurais, possibilita a diversificação da matriz energética nacional, reduzindo ainda a emissão de gases causadores do efeito estufa (MACHADO, 2011).

Segundo Hinrichs e Kleinbach (2003), a biomassa compõe 3,6% do consumo energético norte-americano, tendo potencial para fornecer mais energia que as fontes eólicas e fotovoltaicas. Na Suécia e Irlanda, 13% da energia consumida é produzida a partir de biomassa, e 14% na Finlândia. Ainda de acordo com o autor, a energia de biomassa tem importância particular para países em desenvolvimento, onde o alto

preço do petróleo pode desacelerar o seu crescimento, pela vantagem do menor custo de implantação, e as diversas formas possíveis de conversão energética, sendo uma delas a conversão biológica e utilização do biogás.

De acordo com Nuvolari (2003), a unidade de massa biológica, ou biomassa, é comumente expressa em termos do teor de sólidos em suspensão (SST) em relação aos sólidos totais (os que passam e os que não passam por filtro). Segundo o autor, em reatores de lodos ativados, os sólidos em suspensão no sistema são compostos quase em sua totalidade pela biomassa presente – os flocos biológicos.

Porém, segundo descreve Sperling (2002), não é toda a massa de sólidos que faz parte da biodegradação da matéria orgânica presente, existindo uma fração desta que é inorgânica, não desempenhando funções no tratamento biológico. Considerando este fato, a biomassa costuma também ser frequentemente expressa em termos de sólidos em suspensão voláteis, representando a fração orgânica da biomassa, que pode ser volatilizada, ou seja, convertida a gás por combustão.

4.2.4 Biogás

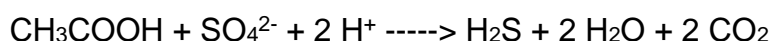
O biogás é produzido a partir da decomposição anaeróbia de matéria orgânica animal ou vegetal. Sua composição pode variar, mas os principais gases presentes são o gás carbônico, o ácido sulfídrico e o metano. A variação da composição ocorre de acordo com o estágio da digestão anaeróbia, com a temperatura, ou origem dos substratos orgânicos (PARZIANELLO, 2011).

De acordo com Souza (1984 apud NUVOLARI, 2003), os gases gerados na digestão anaeróbia são compostos de 50 a 70% de metano (CH_4), 30 a 50% de CO_2 e baixas concentrações de H_2S , N_2 e H_2 , apresentando rendimentos de remoção de matéria orgânica na faixa de 40 a 98%.

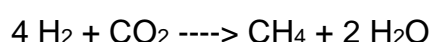
Conforme explica Sperling (1996), a metanogênese, produção de metano na digestão anaeróbia, pode ocorrer por dois caminhos: metanogênese hidrogenotrófica, processo oxidativo de produção de metano a partir de hidrogênio, onde o dióxido de carbono é reduzido a metano, não é tão importante em termos de quantidade, mas pode ser realizado por praticamente todas as bactérias metanogênicas; e metanogênese acetotrófica, na qual o carbono orgânico na forma de acetato (ácido

acético) é convertido em metano, responsável pela maior parte da produção, porém pode ser realizada por poucas espécies. Sperling (1996) descreve as reações de ocorrência para geração de energia na célula em condições anaeróbias, apresentadas abaixo:

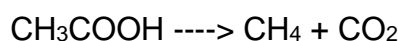
Redução dos sulfatos (dessulfatação):



Redução de CO₂ (metanogênese hidrogenotrófica):



Metanogênese acetotrófica:



Souza (1984 apud NUVOLARI, 2003) apresenta valores de rendimento de produção de biogás:

O rendimento de um processo de digestão anaeróbia é normalmente medido em litros de gás natural produzido, em condições normais de temperatura e pressão (CNTP) por grama de matéria orgânica adicionada ou consumida (L_{gás}/g DQO). Pode-se também medir em termos de (L_{gás}/g ácidos voláteis). Normalmente os rendimentos observados têm variado na faixa de 0,2 a 0,7 L_{gás} (CNTP)/g de sólidos voláteis adicionados (SOUZA, 1984 apud NUVOLARI, 2003, p. 326).

Segundo Coelho et al. (2006), o aproveitamento energético do biogás tem como finalidade a melhoria da eficiência geral do tratamento de esgotos, reduzindo a emissão de gases causadores do efeito estufa, além de reduzir o consumo energético na estação de tratamento, aumentando a viabilidade do saneamento básico no País.

Coelho et al (2006) ainda ressalta que o aproveitamento do biogás gerado no tratamento de esgoto na geração de energia elétrica reduz o potencial de poluição do meio ambiente, por conter alta concentração de gás metano (CH₄), que tem potencial causador de efeito estufa cerca de 24 vezes maior que o dióxido de carbono (CO₂).

Para utilização do biogás para geração de energia, seja através de motores, turbinas a gás ou microturbinas, deve-se obter sua vazão, composição química e poder calorífico, para determinação do real potencial de geração de energia, e para o dimensionamento do pré-tratamento do biogás, como a remoção de ácido sulfídrico

(H₂S) e da umidade, para aumentar seu poder calorífico, bem como evitar danos aos equipamentos (COELHO et al., 2006).

4.2.5 Biodigestores modelo RALF/UASB

De acordo Andrade Neto (1997 apud ZILOTTI, 2012), o funcionamento do RALF consiste, inicialmente, em conduzir o esgoto bruto através de um gradeamento fino, a fim de reter os sólidos flutuantes e em suspensão, passando então por um desarenador para remover sólidos sedimentáveis prejudiciais ao processo. Após o esgoto estar gradeado e desarenado, ele é conduzido para uma câmara no centro superior do reator para então ser dividido em partes iguais alimentando 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 tanto como interface da zona de digestão como 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 apud ZILOTTI, 2012).

4.3 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A quantidade de energia disponível durante a combustão por unidade de massa ou volume de um combustível é definida como poder calorífico. A relação existente entre seu peso específico e o peso específico do ar é a densidade relativa do biogás (ZILOTTI, 2012).

O potencial energético do biogás varia em função da presença de metano em sua composição: quanto mais metano, mais rico é o biogás. O biogás originado de aterros sanitários apresenta uma proporção de metano, em média, de 50%, e quando a geração ocorre 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 (COSTA, 2006).

De acordo com Lima (2005 apud ZILOTTI, 2012), o biogás que apresenta o poder calorífico inferior (PCI) em torno de $19.500 \text{ kJ.kg}^{-1}$, constitui-se como uma boa fonte de energia, podendo ser transportado e armazenado. O armazenamento do biogás é necessário na maioria das vezes. Entretanto, deve-se ter precaução, pois uma mistura de 5% a 14% de metano e ar podem explodir com a ignição, se o volume total for grande.

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre o biogás e demais combustíveis empregados como fonte energética.

Tabela 1 - 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)

Segundo França Junior (2008 apud ZILOTTI, 2012), 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.

4.4 TECNOLOGIAS DE CONVERSÃO DE BIOGÁS

De acordo com Costa (2006), são várias as tecnologias existentes para conversão energética do biogás. Segundo o autor, conversão energética é o processo de transformação de um tipo de energia em outro. Neste caso da utilização do biogás, a energia química contida em suas moléculas é transformada em energia mecânica através do processo de combustão controlada, que irá ativar o gerador que a converte, por fim, em energia elétrica. Além disso, pode-se utilizar também a queima direta do biogás em caldeiras para cogeração através da energia térmica, e há também o surgimento de tecnologias, ainda não comerciais, como a célula combustível. Porém, as tecnologias mais utilizadas para essa conversão energética são turbinas a gás e os motores de combustão interna do tipo “Ciclo – Otto”.

As turbinas a gás podem ser divididas em microturbinas, com potência de até 100 kW, e turbinas de médio e grande portes, atingindo potências de até 300 MW. Existem também as turbinas a vapor, que convertem a energia térmica do vapor gerado em um sistema de cogeração, como uma caldeira a gás, em energia mecânica, sem, portanto, utilizar diretamente um combustível para queima, como as turbinas a gás. Já os motores de combustão interna transformam a energia térmica de um combustível em energia mecânica através do acionamento de pistões confinados em cilindros. Os ciclos de operação mais utilizados são dos tipos Otto e Diesel (COSTA, 2006).

4.4.1 Turbinas a gás

As turbinas a gás são constituídas por compressor, câmara de combustão e a turbina de expansão. Funcionam no ciclo Brayton, no qual o ar comprimido é injetado na câmara de combustão, fornecendo oxigênio para a queima do combustível, ocorrendo uma reação exotérmica à alta pressão que transfere a energia química do combustível para os gases, elevando sua temperatura. O gás é então expandido na turbina, de onde se obtém a energia mecânica para o acionamento do compressor e da carga acoplada ao eixo. Quanto maior a temperatura e pressão dos gases na entrada do primeiro estágio da turbina, e quanto menor a temperatura dos gases de exaustão, maior a eficiência da turbina a gás (COSTA, 2006).

De acordo com Moran e Shapiro (2002 apud OST et al., 2010), as turbinas a gás podem ser classificadas em ciclo fechado e ciclo aberto, dependendo do seu ciclo de operação. No ciclo aberto pressão é elevada no compressor, sem adição de calor, visto que o compressor opera, em condições normais, em regime adiabático, fazendo com que o trabalho de compressão aumente a temperatura do ar. Este então entra na câmara de combustão e, em contato com o combustível, reage, iniciando o processo de queima. Os gases resultantes da combustão se expandem e geram energia mecânica que aciona o compressor. No ciclo fechado os gases que deixam a turbina passam por um trocador de calor onde sofrem resfriamento para entrar novamente no compressor.

4.4.2 Microturbinas a gás

De acordo com Costa (2006) as microturbinas para geração de energia elétrica são pequenas turbinas, na faixa de 30 kW que utilizam o mesmo princípio de funcionamento que as turbinas a gás de maior porte, o ciclo Brayton. São derivadas da tecnologia utilizada nas APU's (*Airborne Power Unit*), que fornecem energia elétrica para os sistemas centrais dos aviões quando estes estão no solo e com as turbinas principais desativadas.

Nas microturbinas, o ar atmosférico entra no compressor, tem sua pressão elevada, e então segue para a câmara de combustão, onde o combustível é injetado e misturado com o ar. Essa mistura é então inflamada por meio de queimadores. Os gases aquecidos e em alta pressão são expandidos através das pás da turbina, fazendo com que esta gire em alta velocidade. A turbina de expansão é montada no mesmo eixo do compressor e do gerador elétrico e assim, quando o ciclo se completa, a turbina de expansão fornece a energia necessária para girar o compressor e o gerador elétrico (COSTA, 2006).

4.4.3 Turbinas a vapor

Nas turbinas a vapor os gases gerados na queima do combustível não entram em contato com o fluido de trabalho que escoar no interior da máquina e realiza os processos de conversão de energia do combustível em potência de eixo, dessa forma, são consideradas máquinas de combustão externa. Por esse motivo, as turbinas a vapor possuem uma maior flexibilidade em relação ao combustível a ser utilizado, esses podem ser, inclusive, aqueles que produzem cinzas durante a queima. O fluido de trabalho, nas turbinas a vapor, é vapor de água sob pressão e alta temperatura. O calor necessário para a ebulição do condensado e para o superaquecimento posterior deve ser transferido dos produtos de combustão ao fluido de trabalho, nesse caso o vapor, através de serpentinas no interior da caldeira (COSTA, 2006).

Segundo Costa (2006) as turbinas a vapor podem ser fabricadas de acordo com muitas configurações variáveis, para diversas pressões, diferentes números de estágios, de condensação, de extração simples e controlada, simples e múltiplas entradas, entre outras. Elas são produzidas na faixa de potência desde poucos kW até pouco mais de 1.000 MW e podem ser “de condensação” ou de “contrapressão”.

Nas turbinas a vapor de condensação o vapor sai da turbina a uma temperatura superior a temperatura do ambiente e a uma pressão um pouco menor; ao sair da turbina, o vapor passa por um condensador para voltar ao estado líquido e ser reaproveitado no ciclo. Esse modelo é o mais comum em usinas termelétricas e nucleares (COSTA, 2006).

Já nas turbinas a vapor de contrapressão o vapor não passa por um condensador ao sair da turbina, e sim deixa a turbina ainda com certa pressão e temperatura, podendo ser aproveitado em outras etapas de determinado processo, seja em aquecedores, destiladores, estufas, ou é simplesmente lançado na atmosfera. Esse modelo é muito usado em usinas petroquímicas, navios, plataformas de petróleo, entre outros (COSTA, 2006).

4.4.4 Motores de combustão interna

Segundo Pierobon (2007), a nomenclatura “motor de combustão interna” geralmente é utilizada para designar os motores alternativos, normalmente empregados em automóveis, caminhões e ônibus. Grande parte das turbinas a gás são motores de combustão interna, porém do tipo rotativo. Nesses motores, os processos ocorrem dentro de arranjos cilindro-êmbolo, com movimentos alternativos.

Existem dois tipos de motores de combustão interna alternativos. O motor com ignição por centelha, que, de acordo com Costa (2006), funciona com a abertura da válvula de entrada de ar no tempo exato para permitir a entrada de ar (misturado ao combustível) no cilindro, então a vela dá ignição à mistura no cilindro, o que cria a explosão, sendo a força gerada da explosão transferida ao pistão, que desce e sobe em um movimento periódico. A força do pistão é transferida através da manivela para o eixo de transmissão.

No motor com ignição por compressão, segundo Pierobon (2007), o ar tem sua pressão e temperatura elevadas até um ponto onde o combustível, ao ser injetado, incendia-se espontaneamente.

O motor com ignição por centelha é conhecido como ciclo Otto. De acordo com Costa (2006) em 1867, o engenheiro alemão Nikolaus August Otto, desenvolveu a tecnologia do ciclo Otto de quatro tempos, que atualmente ainda é muito utilizado em transportes.

Já o motor com ignição por compressão é conhecido como motor a diesel. Segundo Costa (2006) o motor a óleo diesel surgiu em 1892, e também foi construído por um engenheiro alemão, Rudolph Diesel. Esse motor é projetado para ser mais

pesado e mais potente do que os motores a gasolina, sendo usados em máquinas pesadas, locomotivas, navios e em alguns automóveis.

4.5 EXEMPLOS DE CASOS BRASILEIROS DE GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DO ESGOTO

Na Universidade de São Paulo (USP), o Projeto denominado Programa de Uso Racional de Energia e Fontes Alternativas (PUREFA), possibilita o tratamento do esgoto gerado pelo Conjunto Residencial da USP (CRUSP) e pelo principal restaurante do Campus, por meio do processo de digestão anaeróbia. O biogás produzido é tratado e alimenta um motor para gerar energia elétrica (COELHO et al., 2006).

O PUREFA teve três objetivos principais: implantar medidas de gestão e ação de eficiência energética, permitindo reduzir o consumo de energia elétrica na Universidade, além de ampliar a geração distribuída na USP a partir de recursos renováveis e não convencionais de energia, e de implantar políticas de incentivo ao uso eficiente e racional de energia. As atividades incluíam a implementação de um sistema de captação, purificação e armazenamento do biogás gerado por um biodigestor, modelo Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA), além da geração de energia elétrica utilizando o biogás armazenado como combustível em um motor ciclo Otto (COELHO et al., 2006).

No Paraná, a Sanepar desenvolve o projeto de produção de energia limpa na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Ouro Verde, em Foz do Iguaçu. A ETE iniciou sua operação em 1997, sendo projetada para atender 18 mil habitantes, com uma vazão máxima de 70 litros por segundo. A ETE Ouro Verde é certificada de acordo com os requisitos da norma internacional ISO 14001, assim como todas as demais unidades do sistema Sanepar de Foz do Iguaçu, sendo a primeira da América Latina e América do Norte a receber tal certificação neste escopo (SANEPAR, 2010).

O processo de produção de energia limpa na ETE Ouro Verde consiste na utilização do gás metano, subproduto do tratamento de esgoto, para a geração de energia. O esgoto doméstico produzido por cerca de 17.550 pessoas é convertido em energia elétrica. Como subproduto, a Ouro Verde produz anualmente cerca de 18 mil

metros cúbicos de metano através da digestão anaeróbia do esgoto, utilizado para gerar energia elétrica. O sistema de aproveitamento energético da ETE Ouro Verde é constituído de coleta, filtração e armazenamento do biogás e de geração de energia elétrica. O sistema gera cerca de 16.000 kWh/ano. Na ETE, são produzidos cerca de 1.500 quilowatts/hora por mês, equivalente ao consumo anual de cinco residências no período. Todo o sistema da Ouro Verde funciona com a energia produzida na ETE, que consome 68 kW/h por mês em todos os seus processos. Desde que o projeto começou a funcionar, em maio de 2008, cerca de 1,5 toneladas de gás metano deixaram de ser lançadas, anualmente, no meio ambiente (SANEPAR, 2010).

A Sanepar foi a primeira empresa de saneamento do Brasil a utilizar o biogás para a produção de energia elétrica, com disponibilização do excedente desta energia em rede de baixa tensão da Companhia Paranaense de Energia (Copel), já que a energia produzida pelo sistema é maior do que a demanda energética da estação. A autorização do uso desse excedente está na Resolução da Aneel nº 1.482, de 29 de julho de 2008 (SANEPAR, 2010).

Em Pernambuco, um Projeto da Companhia Energética de Pernambuco (Celp) pretende produzir energia elétrica a partir do esgoto coletado pela Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa). Com potência estimada em 200 kW, o sistema deverá entrar em operação até 2015 em uma das estações de tratamento da Compesa, de modo a abastecer a própria unidade. O excedente energético, se houver, será injetado na rede da Celpe. O projeto faz parte do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor Elétrico da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e conta com a parceria da Compesa e da Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos do Governo do Estado (SRHE). É executado pela Universidade de Pernambuco (UPE), pelo Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação (CTGI) e pelas empresas B&G Pesquisa e Desenvolvimento em Sistemas Elétricos Ltda, além da Sustente Energias Sustentáveis Ltda (AEANOPAR, 2015).

4.6 CRÉDITOS DE CARBONO

O mercado de créditos de carbono surgiu a partir do Protocolo de Kyoto, acordo internacional que estabeleceu que os países desenvolvidos deveriam reduzir, entre

2008 e 2012, suas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) 5,2% em média, em relação aos níveis medidos em 1990 (PORTAL BRASIL, 2014).

Créditos de carbono ou Redução Certificada de Emissões (RCE) são certificados emitidos quando ocorre a redução de emissão de gases do efeito estufa (GEE). Por convenção, uma tonelada de dióxido de carbono (CO₂) equivalente corresponde a um crédito de carbono. Este crédito pode ser negociado no mercado internacional (GIOVANINI, CORSATO, MONASSA, 2010).

O Protocolo de Kyoto criou o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), que prevê a redução certificada das emissões. Quem promove a redução da emissão de gases poluentes obtém essa certificação e tem direito a créditos de carbono, podendo comercializá-los com os países que têm metas a cumprir (PORTAL BRASIL, 2014).

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) tem por objetivo auxiliar os países que não fazem parte do Anexo I (que não possuem metas de redução de emissão) na busca pelo desenvolvimento sustentável e que estes cooperem para o objetivo da Convenção do Clima. Objetiva também auxiliar os países pertencentes ao Anexo I (países que possuem metas de redução de emissão) para que realizem seus compromissos de redução ou limitação de emissões (PROTOCOLO DE KYOTO, 1997 apud GIOVANINI, CORSATO, MONASSA, 2010).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ETE

5.1.1 Local e descrição da área de estudo

O estudo foi realizado na Estação de Tratamento de Esgoto do município de Francisco Beltrão – PR, denominada de ETE Marrecas, localizada na R. Xerém, 279, Bairro Presidente Kennedy, sob as coordenadas 26°04'08.3" Sul e 53°02'51.5" Oeste.

A estação tem o nome de ETE Marrecas por operar no Rio Marrecas. É administrada e gerida pela Companhia de Saneamento do Paraná - Sanepar, tendo uma capacidade de 140 L/s e está localizada em uma área de aproximadamente 10.868 m² (Figura 2).

O município de Francisco Beltrão está localizado na região Sudoeste do Paraná, sendo delimitado pelas cidades de Marmeleiro, Renascença, Bom Sucesso do Sul, Itapejara d' Oeste, Verê, Enéas Marques, Nova Esperança do Sudoeste, Ampere, Pinhal de São Bento e Manfrinópolis (SECRETARIA DO ESTADO E TURISMO, 2008).

De acordo com o IBGE (2015), a cidade de Francisco Beltrão apresenta uma população estimada em 86.499 habitantes, sendo que, segundo ofício da Sanepar, 66,41% desta população é atendida pelo Sistema de Esgoto Sanitário. Em seu Relatório de Gestão de 2011, a Sanepar apresenta como um de seus desafios estratégicos elevar o índice de atendimento com rede coletora de esgoto sanitário para 80% da população urbana, nas cidades acima de 50.000 habitantes, cláusula prevista nas concessões renovadas.



Figura 2 - Área da ETE Marrecas
Fonte: (Google Earth)

5.1.2 Descrição do tratamento realizado na ETE Marrecas

Na ETE Marrecas são realizados os tratamentos preliminar, primário e secundário. No tratamento preliminar os sólidos de maior granulometria são retidos através de grades no processo denominado de gradeamento. No tratamento primário os materiais de menor granulometria e natureza orgânica são retidos por meio da decantação através de um desarenador.

No tratamento secundário ocorre a degradação da matéria orgânica em dois Reatores Anaeróbios de Leito Fluidizado (RALF), com vazão de 60 L/s cada, com sete metros de profundidade. O tempo de detenção do esgoto dentro dos reatores é de oito horas, e o gás gerado nestes reatores é queimado em queimador tipo *flare*. O lodo do RALF segue para leitos de secagem, onde o líquido é drenado e retorna ao tratamento.

Após a digestão anaeróbia, o esgoto passa por um filtro biológico de fluxo descendente, preenchido com meio suporte de material rochoso, onde ocorre a formação de biofilme. Por fim, o esgoto passa por um decantador secundário, onde o

lodo é removido e retorna ao tratamento. Na Figura 2 apresenta-se a disposição destes tratamentos na estação.

É adicionado óxido de cálcio ao lodo seco para desinfecção, e este é utilizado para recomposição do solo do aterro sanitário e disponibilizado para uso como biofertilizante na agricultura.

5.1.3 Coleta de dados

Para obter os dados necessários para execução deste trabalho, foram aplicados os seguintes procedimentos:

- Visita técnica ao local estudado;
- Coleta de informações com o Responsável Técnico da ETE Marrecas na Sanepar, através de ofício;
- Imagens de satélite através do Google Earth;
- Análise do Relatório de Gestão da Sanepar, do ano de 2011.

5.2 ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE BIOGÁS

Segundo ofício da Sanepar (Anexo 1), a estimativa da geração de biogás para o volume de esgoto tratado na ETE Marrecas é de 500 m³/dia. Também foram fornecidos pela Sanepar a concentração média de DBO do esgoto na entrada dos reatores RALF e da vazão tratada, igual a 512 mg/L e 140 L/s, respectivamente. Através desses dados, obteve-se uma estimativa de produção de biogás, para fins de verificação dos valores monitorados pela Sanepar.

5.3 ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DO METANO

Para calcular o potencial de geração elétrica do biogás proveniente dos reatores anaeróbios na ETE Marrecas, foi utilizado o programa "Biogás, geração e uso energético – Efluentes 1.0", neste trabalho denominado unicamente por programa Biogás. Este programa foi desenvolvido pelo Governo do Estado de São Paulo, juntamente com a Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SMA-SP) e a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB), sendo livre a sua reprodução, distribuição e uso. O programa tem como objetivo auxiliar a avaliação de viabilidade do uso energético do biogás gerado pela degradação de efluentes domésticos, comerciais, industriais e rurais em estações de tratamento anaeróbio.

5.3.1 Estimando a potência disponível e a máxima possível

O cálculo utilizado pelo programa Biogás para estimar a potência disponível, dada a vazão de metano, é dado pela Equação 1.

$$P_i = \frac{Q_i P_{c(\text{metano})}}{2.592.000} \cdot \frac{k}{1000} \quad (1)$$

Onde:

P_i : Potência disponível (kW ou kJ/s)

Q_i : Vazão mensal de metano ($\text{m}^3\text{CH}_4/\text{mês}$)

$P_{c(\text{metano})}$: Poder calorífico do metano ($\text{J}/\text{m}^3\text{CH}_4$) - $35,53 \times 10^6 \text{ J}/\text{m}^3\text{CH}_4$

2.592.000s: 1 mês (s/mês)

k: 1.000 (adimensional)

Para estimar a potência máxima possível, a potência disponível é multiplicada pelo rendimento de conversão energético.

5.3.2 Estimando a energia disponível

No programa Biogás, a estimativa de energia disponível é obtida a partir da Equação 2.

$$E_{disponível} = P_x \cdot \frac{1}{365.24} \quad (2)$$

Onde:

$E_{disponível}$: Energia disponível (m^3CH_4 ou kWh)

P_x : Potência disponível (m^3CH_4/h ou kW)

365: dias por ano (dia/ano)

24: horas por dia (h/dia)

5.4 ANÁLISE DOS CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO

Foram obtidos dados sobre o consumo médio de energia elétrica da ETE Marrecas através de ofício recebido pela empresa e o tipo de tarifação em que esta se enquadra através da Copel.

Para realizar a análise dos custos de implementação foi utilizado o relatório gerado pelo programa Biogás. De acordo com as características do biogás e a tecnologia de conversão definida, foi obtido o potencial de geração de energia, e com essas informações, analisada a economia financeira possível de ser atingida no consumo de energia elétrica no funcionamento da ETE Marrecas.

Os valores utilizados para estimar os custos de todo o sistema foram obtidos *online* através de sítios de fabricantes, e quando não encontrados, foram utilizados os valores sugeridos pelo programa. Após estimar o custo total de implementação do sistema, foi calculado o tempo de retorno do investimento.

5.5 CRÉDITO DE CARBONO

Para o cálculo do potencial de crédito de carbono, utiliza-se a densidade do gás metano ($0,7167 \text{ kg/m}^3$, ou $0,7167 \times 10^{-3} \text{ t/m}^3$) para conversão da vazão de gás utilizado de m^3 para toneladas. Em seguida, utiliza-se o valor de potencial de efeito estufa (GWP – *global warming potentials*, em inglês) em relação ao CO_2 , fornecidos em relatórios do IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*. Segundo o *Greenhouse Gas Protocol*, para o relatório do IPCC de 2007, o GWP do metano em relação ao CO_2 é de 25, ou seja, uma tonelada de metano corresponde a 25 toneladas de gás carbônico, que é igual ao número de créditos de carbono.

Portanto, multiplica-se a quantidade de metano, em toneladas, por 25, para obtenção do potencial de créditos de carbono. Este cálculo é realizado pelo programa, e a partir do valor do crédito de carbono informado para o período atual, este calcula a renda possível neste mercado.

O valor da tonelada de carbono para a venda dos créditos utilizado para os cálculos no programa foi baseado no último leilão realizado pelo Banco Mundial, em 15 de Julho de 2015, no qual o crédito de carbono foi vendido por 2,40 dólares, convertido para real utilizando a cotação de R\$ 3,79 do dia 10 de Novembro de 2015. Este leilão concentrou-se em projetos de redução do metano em aterros, terrenos agrícolas e estações de tratamento de esgoto (THE WORLD BANK, 2015).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 DADOS UTILIZADOS PELO PROGRAMA BIOGÁS 1.0

No quadro abaixo (Quadro 1) estão apresentados os principais dados adicionados ao programa Biogás, que serviram de referência para a elaboração deste trabalho, juntamente com suas respectivas fontes.

Principais dados utilizados		Fonte
Nome da unidade	ETE Marrecas	Autores
Endereço	Rua Xerém, 279	Google Earth
Cidade	Francisco Beltrão	Autores
Estado	Paraná	Autores
Energia elétrica mensal (kWh/mês)	33.532	Ofício de Resposta da Sanepar
Volume mensal de geração de metano (m ³ /mês)	9.930	Cálculo com valores fornecidos pela Sanepar
Linha de base de queima	100%	Visita técnica na ETE
Energia elétrica evitada (tCO ₂ /MWhevit)	0,2782	Programa Biogás 1.0
Eficiência da queima do biogás	95%	Programa Biogás 1.0
Rendimento de conversão energético	30%	Literatura

Quadro 1 - Dados utilizados no programa Biogás 1.0

Fonte: Autoria própria (2015)

6.2 ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE METANO

Considerando os valores de DBO e vazão de efluente fornecidos pela Sanepar, pode-se calcular a carga orgânica adicionada ao sistema multiplicando a DBO pela vazão de efluente:

$$C_{DBO} = DBO \cdot Q \quad (3)$$

$$C_{DBO} = 512 \frac{mg}{L} \cdot 140 \frac{L}{s}$$

$$C_{DBO} = 71.680 \frac{mg}{s} \cdot \frac{60s}{1min} \cdot \frac{60min}{1h} \cdot \frac{24h}{1dia} \cdot \frac{1kg}{10^6mg}$$

$$C_{DBO} = 6193 \frac{kgDBO}{dia}$$

De acordo com Aisse e Leite (1997), a eficiência na remoção de DBO através da digestão anaeróbia no interior do RALF é de aproximadamente 70%. Podemos então calcular a carga de matéria orgânica removida:

$$C_{DBO_r} = 6193 \frac{kgDBO}{dia} \cdot 0,7$$

$$C_{DBO_r} = 4335 \frac{kgDBO_r}{dia}$$

De acordo com Nuvolari (2003), pode-se adotar um fator de produção total de gás de 0,12 m³ de biogás por kg de DBO digerida. Com isso, obtém-se a estimativa de produção de gás na ETE.

$$Q_{Biogás} = 4335 \frac{kgDBO_r}{dia} \cdot 0,12 \frac{m^3}{kgDBO}$$

$$Q_{Biogás} = 520 \frac{m^3}{dia}$$

O valor da vazão de biogás estimada é semelhante ao valor fornecido pela Sanepar de 500 m³/dia. Portanto, será utilizada para os cálculos deste trabalho a média entre estes dois valores, igual a 510 m³/dia.

A concentração de metano estimada em biogás proveniente do tratamento de esgoto é de 65%, de acordo com Nuvolari (2003), podendo ser estimada a vazão de metano produzido na ETE Marrecas:

$$Q_{CH_4} = 510 \frac{m^3 \text{ biogás}}{\text{dia}} \cdot 0,65 \frac{CH_4}{\text{biogás}}$$

$$Q_{CH_4} = 331 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

Logo, a vazão mensal de metano é igual a 9.930 m³/mês.

6.3 ESTIMATIVA DA ENERGIA ELÉTRICA DISPONÍVEL

Considerando a vazão mensal de metano como 9.930 m³, o programa Biogás utilizou a Equação (1) para estimar o potencial de energia elétrica disponível, que resultou em 136,12 kW/mês. O Gráfico 1 foi gerado com base no resultado do programa e representa este valor.

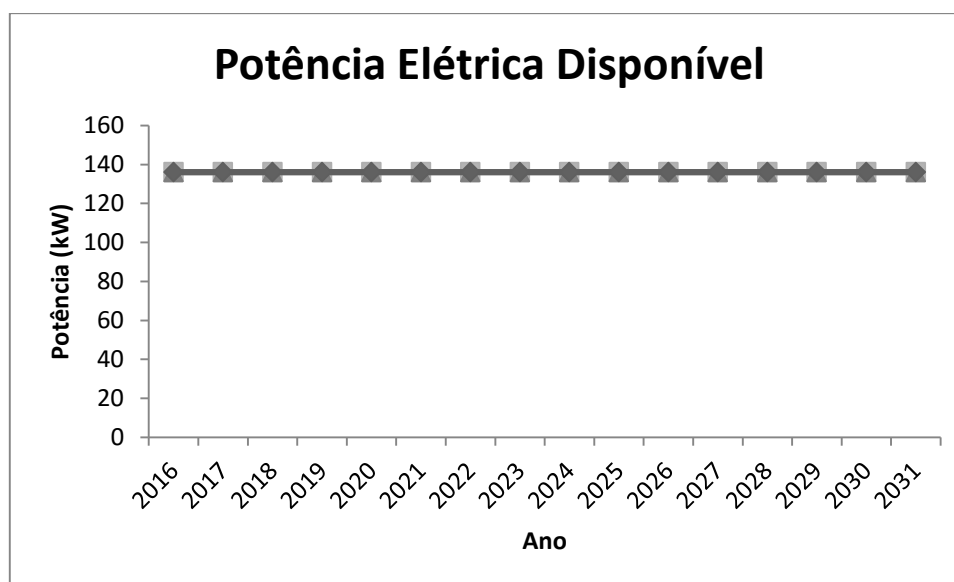


Gráfico 1 – Potência elétrica disponível

Fonte: Autoria própria.

Em seguida, o programa utiliza o rendimento de conversão energética do metano para obtenção da potência máxima possível. O programa Biogás sugere um rendimento de 33%. De acordo com CCE (2000 apud SOUZA, PEREIRA, PAVAN, 2004), a eficiência de conversão do biogás em energia elétrica com grupos geradores

é de aproximadamente 25%, enquanto Coldebella (2006 apud OST et al, 2010) afirma que, dependendo da potência, a eficiência varia de 25% a 38%. Portanto, utilizou-se um rendimento aproximado de 30%, resultando em uma potência máxima possível de 38,79 kW/mês. A potência útil elétrica desejada foi definida como 38 kW/mês.

Para o cálculo da energia elétrica disponível no sistema, o programa considerou os dados já adicionados e calculados anteriormente, e utilizou a equação (2), resultando em 25.080 kWh/mês. Sabendo que a ETE Marrecas consome 33.532 kWh/mês, toda a energia gerada através do sistema dimensionado será utilizada no funcionamento da própria estação.

6.4 TECNOLOGIA DE CONVERSÃO E DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

No programa Biogás 1.0 são listadas algumas tecnologias e estimativas de custos de investimento de cada equipamento de conversão. Há também a possibilidade de pesquisar valores mais atuais e realistas e adicionar ao projeto, para melhorar a precisão dos custos do sistema. As tecnologias para uso do gás na geração de energia elétrica incluídas no programa são: grupos geradores com motor Otto nacional, grupos geradores com motor diesel nacional, grupos geradores com motor a gás importado, microturbina a gás, turbina a gás ou ainda pode-se adicionar outra tecnologia não incluída nesta lista.

Segundo estudos realizados pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa – CENBIO, motores ciclo Otto apresentam baixo custo se comparados às turbinas e microturbinas a gás, e possuem boa eficiência quando operados com biogás. Considera-se ainda a possibilidade de rápida instalação e facilidade de manutenção, por se tratar de tecnologia nacional (PECORA et al, 2008). Portanto, definiu-se que a tecnologia de conversão utilizada será o grupo gerador com motor Otto, que apresenta eficiência de conversão energética de aproximadamente 30%.

Foi definido também que o sistema seria composto por: compressor, gasômetro, queimador, tratamento do gás e gerador. O compressor gera uma pressão positiva no gás para o armazenamento, queima ou uso final, enquanto o gasômetro é utilizado para o armazenamento do gás combustível. O queimador permite a queima controlada do metano em casos de necessidade, e o tratamento é realizado para

purificação do biogás, podendo ser utilizadas diferentes tecnologias, inclusive combinações destas.

6.5 CUSTOS DO SISTEMA E RETORNO DO INVESTIMENTO

Após a definição dos parâmetros já mencionados, o programa fornece um relatório final (Apêndice A) com todos os dados, incluindo os apresentados na Tabela 2, a respeito dos custos do sistema.

Tabela 2 – Custo do investimento para geração de energia elétrica

Descrição	Custo (R\$)
Purificação – H ₂ O/Resfriamento	16.864
Purificação – CO ₂	16.864
Custo de compressão	6.417
Gasômetro	45.000
Queimador	9.500
Equipamento para geração elétrica/gerador	64.600
Investimento para geração elétrica	159.245

Fonte: Biogás, geração e uso energético – Efluentes 1.0

O valor do gerador foi informado pelo fabricante Biogás Motores Elétricos, e do queimador pelo BioChama Queimador de Biogás, ambos através de contato por *e-mail*. Já os demais valores – compressor, gasômetro e purificadores – foram sugeridos pelo programa Biogás.

Conforme apresentado anteriormente, a energia elétrica disponível para ser gerada neste sistema é de 25.080 kWh/mês, sendo que a ETE consome atualmente 33.532 kWh/mês. De acordo com a tabela de tarifação da Copel, conforme Resolução da ANEEL nº 1.897, em vigência desde 24 de Junho de 2015, o custo da energia elétrica é de R\$ 0,63403/kWh para serviços de água, esgoto e saneamento. (COPEL, 2015)

Considerando a geração de 25.080 kWh/mês a partir do biogás, multiplicando pelo custo da energia elétrica pago pela Sanepar, estimou-se que seria gerada uma economia mensal no consumo de energia elétrica de R\$ 15.901,47. Portanto, estima-se que o projeto teria um tempo de retorno do investimento de 10 meses e 10 horas.

6.6 CRÉDITO DE CARBONO

O relatório final fornecido pelo programa Biogás (Apêndice A) apresenta também a estimativa do volume de metano que deixa de ser emitido para a atmosfera, o total em toneladas de CO₂ equivalente e o valor que pode ser obtido pela venda dos créditos de carbono, para um período de 15 anos, definido no início do projeto no programa, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Crédito de carbono do projeto para um período de 15 anos

Descrição	Valor
Total de CH ₄ (t)	1.214
Total de CH ₄ (m ³ CH ₄)	1.811.232
Total de tCO ₂ eq (t)	25.484
Potência útil (kW)	38
Crédito de carbono pela queima (R\$)	229.356,00
Crédito de carbono pela eletricidade (R\$)	34.599,28

Fonte: Biogás, geração e uso energético – Efluentes 1.0

No Brasil ainda não existe um mecanismo interno de compra e venda de créditos de carbono. Espera-se que em 2017, o Ministério da Fazenda gere um relatório, orientando decisões de governo. As definições sobre quais setores produtivos devem ficar submetidos a taxas ou sistemas de mercado deverá sair deste relatório (GARCIA, 2015).

Pela falta de um mercado de crédito de carbono regulado no Brasil, a estimativa da renda pela venda do mesmo não será utilizada no cálculo do tempo de retorno do investimento, ficando apenas registrada essa possibilidade.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas estimativas realizadas e nos resultados obtidos através do programa Biogás 1.0, observa-se que a ETE Marrecas apresenta uma vazão de biogás, a partir do tratamento anaeróbio do esgoto, suficiente para gerar energia em quantidade que reduziria o seu consumo mensal de energia elétrica em R\$ 15.901,47.

Quanto a viabilidade econômica do projeto, é possível concluir que o valor investido com a sua implementação teria retorno em menos de um ano – aproximadamente 10 meses –, restando ainda mais de 14 anos de lucros e economia, de acordo com esta estimativa, podendo ser estendido de acordo com o tempo de vida útil do sistema a ser instalado.

Portanto, o projeto foi considerado economicamente viável, e espera-se ainda que, futuramente, o comércio de créditos de carbono se desenvolva no Brasil, o que facilitaria a venda destes, possibilitando uma renda maior ao projeto a partir deste sistema.

Deve-se considerar também os ganhos ambientais que este sistema proporciona, além do benefício da diversificação da matriz energética local, deixando de simplesmente queimar um combustível com pleno potencial para geração de energia, em tempos de crise energética e busca por alternativas sustentáveis.

Para trabalhos futuros, sugere-se a análise da qualidade do biogás gerado na ETE Marrecas.

REFERÊNCIAS

AEANOPAR. **Esgoto de Pernambuco será usado para gerar energia.** Disponível em: <<http://www.aeanopar.org.br/noticias/esgoto-de-pernambuco-sera-usado-para-gerar-energia>>. Acesso em: 02 out. 2015.

AISSE, Miguel M.; LEITE, Bárbara Z. **Pós-tratamento de efluentes de reatores tipo RALF em lagoas de estabilização.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19. Foz do Iguaçu. 1997. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/ralf.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2015.

ANGONESE, André R. et al. **Avaliação da eficiência de um biodigestor tubular na redução da carga orgânica e produção de biogás a partir de dejetos de suínos.** SciELOProceedings. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2006. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000100022&script=sci_arttext>. Acesso em 26 abr. 2015.

BARRERA, Paulo. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural.** Editora Ícone. 4 ed. São Paulo, 2003.

CHERNICHARO, Carlos A. de L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Reatores anaeróbios**, v. 5. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1997.

COELHO, Suani T. et al. **Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto.** SciELOProceedings, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000100070&script=sci_arttext>. Acesso em: 25 abr. 2015.

COPEL. **Tarifa B3 - Demais Classes Água, esgoto e saneamento.** 2015. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2F424c5fac3731460e03257488005939ef>> Acesso em: 01 nov. 2015.

COSTA, David Freire da. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto.** 2006. 194 f. Dissertação (Pós-Graduação em Energia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

FERREIRA, Fabiana D. CORAIOLA, Márcio. **Eficiência do lodo ativado em fluxo contínuo para tratamento de esgoto**. Ciência Agrária Ambiental, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 259-279, abr./jun. 2008.

GARCIA, Rafael. **Como será o mercado de carbono do Brasil, que foi adiado para 2017**. Observatório do Clima. 2015. Disponível em: <<http://www.observatoriodoclima.eco.br/como-sera-o-mercado-de-carbono-do-brasil/>>. Acesso em: 01 nov. 2015.

GIOVANINI, Deise A.; CORSATO, Alexandre C.; MONASSA, Clarissa C. S. **Análise do Mercado de Créditos de Carbono: Aplicação de projetos MDL no Brasil**. V Encontro Nacional da Anppas, Florianópolis, 2010.

GREENHOUSE GAS PROTOCOL. **Global Warming Potentials**. Disponível em: <<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/tools/Global-Warming-Potential-Values.pdf>> Acesso em: 09 out. 2015.

HINRICHS, Roger A. KLEINBACH, Merlin. **Energia e Meio Ambiente**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

IBGE. **Francisco Beltrão, Paraná**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=410840>>. Acesso em: 02 out. 2015.

IMHOFF, K. R.; IMHOFF, K. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.

MACHADO, Luiz Leal Netto. **Aspectos técnicos relacionados à geração de energia elétrica a partir do lodo de esgoto**. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

NUVOLARI, Ariovaldo et al. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 1 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

OST, Ana P. et al. **Análise dos sistemas de conversão de energia através do biogás produzido pelo esgoto cloacal**. In: SEMANA ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (FAHOR), 1. Horizontina, 2010.

PARZIANELLO, Jorge Eraldo. **Avaliação da biodigestão anaeróbia da mistura de resíduos avícolas e lácteos**. 2011. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2011.

PECORA, Vanessa et al. **Conversão energética do biogás: Estudo de caso em São Paulo**. Simpósio Brasileiro de Agroenergia, Unesp, Botucatu, 2008.

PIEROBON Luís Ricardo Pedra. **Sistema de geração de energia de baixo custo utilizando biogás proveniente de aterro sanitário**. 2007. 154 f. Tese de Doutorado (Doutor em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

PORTAL BRASIL, **Entenda como funciona o mercado de crédito de carbono**. 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2012/04/entenda-como-funciona-o-mercado-de-credito-de-carbono>> Acesso em: 08 out. 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FRANCISCO BELTRÃO. **Aspectos físicos e políticos**. 2013. Disponível em: <<http://franciscobeltrao.pr.gov.br/secretarias/obras-e-urbanismo/aspectos-fisicos-e-politicos/>>. Acesso em: 30 nov. 2015.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável**. São Paulo, 2010.

RELATÓRIO de Gestão PNQS 2010, Companhia de Saneamento do Paraná – **Sanepar**, Unidade Regional de Francisco Beltrão.

RODRIGUES, Dayse L.; AQUINO, Camila F.; ESTEVAM, Guiliano P. **Produção de biogás a partir dos esgotos utilizando reatores anaeróbicos do tipo rafa seguido por lodos ativados numa estação de tratamento de esgoto**. Omnia Exatas, v.4, n.2, p.103-109, 2011.

SALOMON Karina R.; LORA Electo E. S. **Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil**. Revista Biomassa e Energia, v. 2, n. 1, p. 57-67, 2005. Disponível em: <<http://www.renabio.org.br/06-B&E-v2-n1-2005-p557-67.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2015.

SANEPAR. **Energia produzida a partir de Estação de Tratamento de Esgoto**. 2010. Disponível em: <http://educando.sanepar.com.br/ensino_superior/energia-

produzida-partir-de-esta%C3%A7%C3%A3o-de-tratamento-de-esgoto>. Acesso em: 02 out. 2015.

SANEPAR. **PNQS - Relatório de gestão Nível II**. 2011. Disponível em: <<http://www.pnqs.com.br/arquivos/rgs/sanepar-franciscobeltrao.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2015.

SILVA Jader de O. **Caracterização do Potencial Energético e Estudo Físico-Químico do Lodo da Estação de Tratamento de Esgoto do DMAE – Uberlândia – MG**. 2011. 81 f. Dissertação (Pós-Graduação em Química), Universidade de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

SOUZA, Samuel N. M.; PEREIRA, William C.; PAVAN, André A. **Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura**. An. 5. Enc. Energ. Meio Rural, 2004. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000100042&scRipt=sci_arttext> Acesso em: 23 set. 2015.

SPERLING, Marcos V. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Princípios básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1996.

_____. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Lodos ativados**, v. 4, 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2002.

_____. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

STACHISSINI Mariana G. **Estudo sobre a implementação de um sistema biodigestor em uma propriedade rural em Mamborê – PR**. 2014. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.

THE WORLD BANK, **Primeiro leilão-piloto para captura de metano é um sucesso**. Comunicado à imprensa, 2015. Disponível em: <<http://www.worldbank.org/pt/news/press-release/2015/07/17/first-pilot-auction-to-capture-methane-a-success>> Acesso em: 03 nov. 2015.

ZILOTTI Hécio A. R. **Potencial de produção de biogás em uma estação de tratamento de esgoto de Cascavel para a geração de energia elétrica**. 2012. 52 f. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação Stricto Sensu em Energia na Agricultura), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Relatório gerado pelo programa "Biogás, geração e uso energético"



Estudo de geração, recuperação e uso energético de biogás

Francisco Beltrão / PR

1. Avaliador

Sabrina de Medeiros e Schirley Paez
UTFPR

2. Localização

Endereço: R. Xerém, 279, Bairro Presidente Kennedy

Mapa



3. Comentários de gerenciamento

3.1 -

4. Contatos

Nome: Lindomar Votteri - Coordenador industrial
Endereço: R. Curitiba, 1977 - N S Aparecida - Francisco Beltrão / PR
Email
CEP:
Telefone Comercial: 46 3901-6060
Telefone Celular:

Estudo realizado com emprego do programa Biogás. As presentes informações e resultados são de inteira responsabilidade do técnico avaliador.



Realização
Secretaria de Estado
do Meio



Apoio
Ministério da
Ciência e Tecnologia





5. Dados da ETAE

Tabela 5.1 - Dados da ETE Marrecas

Nome da ETAE	ETE Marrecas
Ano de início	2.016
Ano de encerramento do projeto de uso do biogás	2.031
Fontes geradoras de efluentes	
Bovinos (cabeças)	
Equinos (cabeças)	
Suínos (cabeças)	
Aves (cabeças)	
População (hab.)	
Abatedouro (kg)	
Vinhoto (kg)	
Outro	
Distância ao bairro mais próximo (m)	0
Distância à indústria mais próxima (m)	0
Distância ao gasoduto mais próximo (m)	0

6. Registo fotográfico

6. 1. Área interna da ETAE



Estudo realizado com emprego do programa Biogás. As presentes informações e resultados são de inteira reponsabilidade do técnico avaliador.



Realização
Secretaria de Estado
do Meio



Apoio
Ministério da
Ciência e Tecnologia





BIOGAS
GERAÇÃO E USO ENERGÉTICO

6. 2. Vizinhança da ETAE



7. Análise energética

Potenciais usos do biogás como gás combustível

Gás combustível para uso interno (m ³ CH ₄ /mês)	nada consta
Gás combustível para uso externo (m ³ CH ₄ /mês)	nada consta
Gás combustível para venda (m ³ CH ₄ /mês)	nada consta
Total de gás combustível (m³ CH₄/mês)	nada consta

Potenciais usos do biogás - Eletricidade

Eletricidade para uso interno (kW.h/mês)	nada consta
Eletricidade para uso externo (kW.h/mês)	nada consta
Eletricidade para venda (kW.h/mês)	nada consta
Total de eletricidade (kW.h/mês)	nada consta
ou Total de gás combustível para geração de eletricidade (m³ CH₄/mês) @30%	9.241

Necessidades totais de gás combustível (m³CH₄/mês): 9.241

Estudo realizado com emprego do programa Biogás. As presentes informações e resultados são de inteira responsabilidade do técnico avaliador.



Realização
Secretaria de Estado
do Meio



Apoio
Ministério da
Ciência e Tecnologia





8. Método de estimativa

8.1 Estimativa de geração de metano

Com os dados da tabela 5.1, são estimadas as vazões de metano nos anos considerados empregando as equações abaixo:

$$Q_i = 30 \times VE^{-1} \times \sum (Pb_i \times Conc_i \times Qt_i \times Mt_i)$$

$$Q = 30 \times VE^{-1} \times Pi \times fDBO_5 \times MFPM \times Ef$$

onde:

Q_i : Vazão de metano ao mês	[m ³ /mês]
30: 30 dias por mes	[dias/mês]
VE : Volume específico do metano	[m ³ CH ₄ / kg CH ₄]
Pb : Produção de biogás	[kgbiogás /kg Mt]
$Conc$: concentracao de metano no biogás	[%]
Qt : quantidade de unidades geradoras de efluentes	[unidade geradora]
Mt : Materia total	[kg Mt/(dia.unidade geradora)]
Pi :Produção ou atividade industrial	[unidade]
$fDBO_5$: Fator de emissão de carga orgânica	[KgDBO ₅ /und.]
$MFPM$:Máximo fator de produção de metano	[KgCH ₄ /KgDBO ₅]
Ef :Eficiência de tratamento anaeróbio	[%]

Estudo realizado com emprego do programa Biogás. As presentes informações e resultados são de inteira responsabilidade do técnico avaliador.



Realização
Secretaria de Estado
do Meio



Apoio
Ministério da
Ciência e Tecnologia





8.2 Estimativa de potência disponível:

A vazão de metano é convertida na potência disponível na ETAE, empregando-se a equação abaixo:

$$P = \frac{Q \cdot Pc_{(metano)}}{2.592.000} \cdot \frac{k}{1000}$$

onde:

Px:	Potência disponível a cada ano	[kW]
Qx:	Vazão de metano a cada ano	[m ³ CH ₄ /ano]
Pc(metano):	Poder calorífico do metano	[J/m ³ CH ₄]
Ec:	Eficiência de coleta de gases	[%]
2.592.000:	2.592.000s = 1 mês	[s/mês]
k:	k = 1.000	[adimensional]

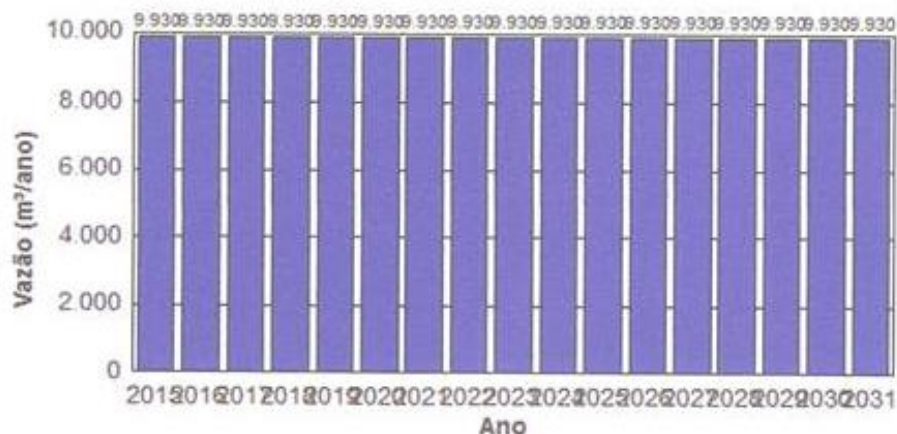
e:

Qx é calculada pelo programa em [m³CH₄/ano],
Pc empregado pelo programa é igual a 35.530 [J/m³CH₄] e

9. Resultados

9.1 Vazão de metano

Aplicando-se a equação de 8.1 tem-se o gráfico a seguir:

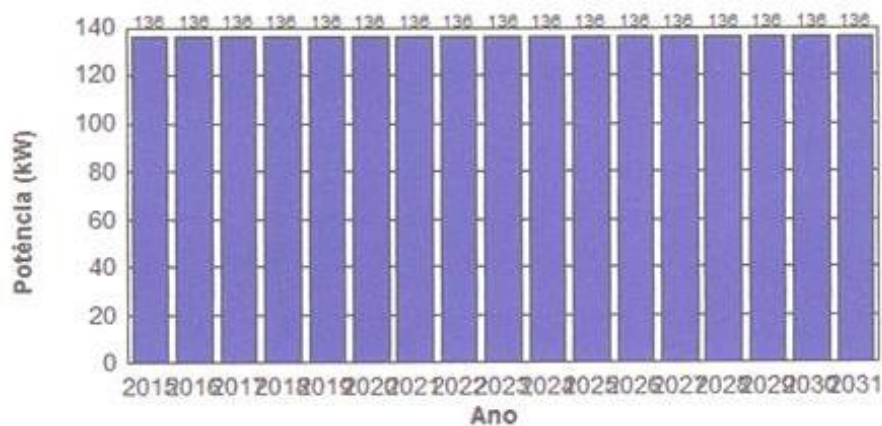


Estudo realizado com emprego do programa Biogás. As presentes informações e resultados são de inteira responsabilidade do técnico avaliador.



9.2 Potência disponível

Aplicando-se a equação de 8.2 tem-se o gráfico a seguir:



9.3 Tecnologia de uso energético

9.3.1. Uso do biogás como gás combustível

Tipo	Quantidade	Estado	Custo (R\$/unidade)	Consumo (m ³ CH ₄ /mês)
Cocção				
Caldeira a vapor				
Uso veicular				
Iluminação a gás				
Tratamento do chorume				
Outro				

Estudo realizado com emprego do programa Biogás. As presentes informações e resultados são de inteira responsabilidade do técnico avaliador.



Realização
Secretaria de Estado
do Meio



Apoio
Ministério da
Ciência e Tecnologia





Gás combustível

9.3.2. Uso do biogás para geração de eletricidade

Tipo	Custo (R\$/kW instalado)	Potência Elétrica (kW)
Grupo gerador otto nacional	1.700	38
Grupo gerador diesel nacional	0	0
Grupo gerador motor a gás	0	0
Micro turbina	0	0
Turbina a gás	0	0
Outro	0	0

Estudo realizado com emprego do programa Biogás. As presentes informações e resultados são de inteira responsabilidade do técnico avaliador.



Realização
Secretaria de Estado
do Meio

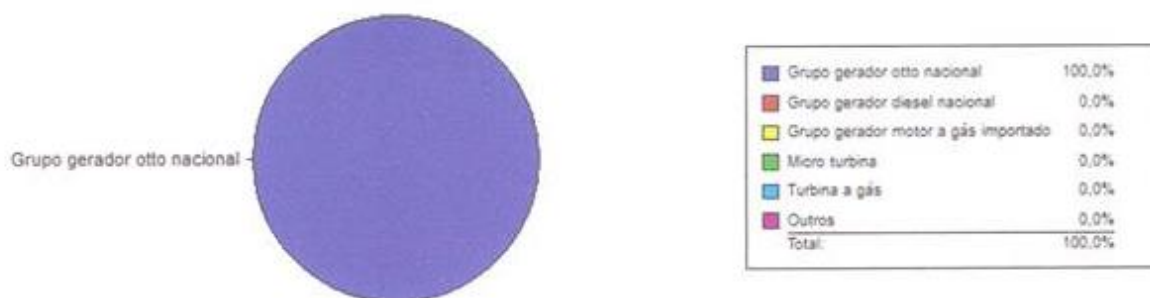


Apoio
Ministério da
Ciência e Tecnologia





Biogás para geração de eletricidade



9.4 Implantação do uso de biogás

9.4.1. Tratamento

Purificação	Vazão (m³/h)	Custo (R\$/m³)	Custo (R\$)
H ₂ O filtro	13	0,01	17.082,00
H ₂ S / Siloxina	13	0,00	0,00
CO ₂	13	0,01	17.082,00
			34.164,00

Período de anos 15

Custo anual do tratamento (R\$/ano): 2.277,60

9.4.2. Compressão

Equipamento	Vazão (m³/h)	Custo (R\$/m³/h)	Custo (R\$)
Compressão Baixa	13,00	500,00	6.500,00
			6.500,00

Estudo realizado com emprego do programa Biogás. As presentes informações e resultados são de inteira responsabilidade do técnico avaliador.



Realização
Secretaria de Estado
do Meio



Apoio
Ministério da
Ciência e Tecnologia





9.4.3. Gasômetro

Equipamento	Volume (m³)	Custo (R\$/m³)	Total (R\$)
Gasômetro	500,00	90,00	45.000,00
			45.000,00

9.4.4. Transporte

	Distância (m)	Custo (R\$/metro)	Custo (R\$)
Bairro			
Indústria			
Gasoduto			
Outro			

9.4.5. Queimador

Equipamento	Quantidade	Custo (R\$/unidade)	Total (R\$)
Queimador	1,00	9.500,00	9.500,00
			9.500,00

Estudo realizado com emprego do programa Biogás. As presentes informações e resultados são de inteira responsabilidade do técnico avaliador.



Realização
Secretaria de Estado
do Meio



Apoio
Ministério da
Ciência e Tecnologia





10. Resumo de custos e rendimentos

Gerção de energia elétrica de 2.016 até 2.031 - Período 15 anos

Purificação - H ₂ S / Siloxina (R\$)	0
Purificação - H ₂ O/Resfriamento (R\$)	16.864
Purificação - CO ₂ (R\$)	16.864
Custo de compressão (R\$)	6.417
Gasoduto da ETAE (R\$)	0
Gasômetro (R\$)	45.000
Queimador (R\$)	9.500
Custo do equipamento para uso de gás (R\$)	0
Custo do equipamento para geração elétrica (R\$)	64.600
Investimento para geração elétrica (R\$)	159.245,00
Investimento para uso direto de gás (R\$)	0,00
Custo da eletricidade (R\$/MW.h)	R\$ 31,89
Custo do uso do gás (R\$/ m ³ CH ₄)	R\$ 0,00

Crédito de Carbono de 2.016 até 2.031 - Período de 15 anos

Total de CH ₄ (t)	1.214,00
Total CH ₄ (m ³ CH ₄)	1.811.232,00
Total de tCO ₂ eq (t)	25.484,00
Potencial útil (kW)	38
Crédito de carbono pela queima (R\$)*	229.356,00
Crédito de carbono pela eletricidade (R\$)*	34.599,28

* Preço do Crédito de Carbono (R\$/tCO₂): 9,00

Estudo realizado com emprego do programa Blogás. As presentes informações e resultados são de inteira responsabilidade do técnico avaliador.



Realização
Secretaria de Estado
do Meio

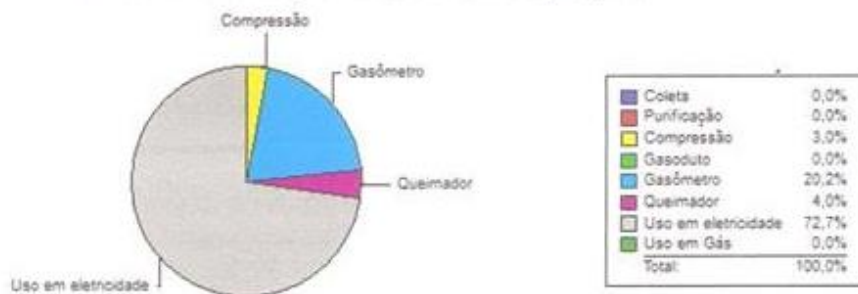


Apoio
Ministério da
Ciência e Tecnologia





Investimento por atividade do projeto



Estudo realizado com emprego do programa Biogás. As presentes informações e resultados são de inteira responsabilidade do técnico avaliador.



Realização
Secretaria de Estado
do Meio



Apoio
Ministério da
Ciência e Tecnologia



ANEXOS

ANEXO A - Ofício de resposta entregue pela Sanepar



Ofício de Resposta – 01/2015

Em resposta ao ofício do coordenador do Curso de Engenharia Ambiental do Campus Francisco Beltrão que solicitou informações sobre a ETE Marrecas para o trabalho de conclusão de curso de duas acadêmicas, as informações que são de interesse público e que não são de ordem estratégicas da empresa, estão relacionadas abaixo:

- **Fases do tratamento:** Entende-se como fases do tratamento:
 - **Gradeamento:** É a separação dos sólidos de maior granulometria e materiais inertes (ex: tolhas, fraudas, fiapos de roupa, cabelos, plásticos, etc...) que chegam juntos no esgoto in natura e que não serão digeridos pelo reator;
 - **Desarenador:** É a separação por meio de decantação dos materiais de menor granulometria de natureza inorgânica (ex: areia, pedra, sílica, dentre outros objetos menores);
 - **Digestão:** É a fase onde ocorre a degradação da matéria orgânica dentro de um reator anaeróbio reduzindo a carga orgânica no esgoto para atendimento da legislação vigente;
 - **Pós-tratamento:** Compreende a fase de polimento, ou seja, a matéria orgânica degradada no reator ainda não foi totalmente digerida e por isso fases complementares são necessárias para melhoria do processo e para atendimento total da legislação. Na ETE Marrecas essa fase é composta por um filtro biológico e um decantador secundário, que fazem uma redução da carga orgânica do efluente recebido do reator;
 - **Oxidação:** É utilizada para a redução dos gases resultantes da degradação da matéria orgânica, que acabam gerando odores fétidos na estação. O produto utilizado é o Peróxido de Hidrogênio, que reduzem esses gases minimizando os odores dentro e no entorno da estação.
 - **Descarte de lodo:** Na degradação da matéria orgânica gera lodo dentro do reator, e para esse lodo não gerar um passivo e inutilizar a operação do equipamento, deve ser dado descartes semanais de lodo, que são depositados em leitos de secagem e retirados após desidratação.

- **Porcentagem da população atendida:** 66,41%;
- **Vazão de esgoto tratado:** A vazão média na ETE Marrecas é 140 l/s e a capacidade máxima da estação é 220 l/s;
- **Quantidade de lodo gerado:** Todo o lodo gerado pelo decantador é destinado para o início do processo, para acumulo com o lodo gerado pelo reator dentro do mesmo, pois todo descarte de lodo é feita do reator. O volume mensal de lodo descartado gira em torno de 350 m³ mês;
- **Destino do lodo:** Todo lodo gerado e desidratado é destinado para agricultura, através de acompanhamento de técnico responsável;
- **Volume de gás produzido:** A estação não possui um medidor de gás, mas estima-se que deve ser gerado algo em torno de 500 m³ por dia de gases derivados das reações anaeróbias;
- **Entrada do RALF:** Como existem dois reatores na estação a vazão de entrada da ETE é dividida pela metade. O esgoto bruto tem como médias: DBO é 512 mg/L, sólidos totais é de 183 mg/L e de sólidos sedimentáveis 5 ml/L;
- **Coleta de amostras:** O lodo é descartado rotineiramente no sábado, salvo algum problema operacional, ou intempéries climas, mas segundo o meu coordenador Lindomar, pode ser agendada uma coleta de amostra de lodo;
- **Consumo de Energia Elétrica:** A média está em torno de 33.532 Kw.

As demais solicitações não elencadas nesse ofício de respostas, não serão atendidas, mas para demais dúvidas a respeito estaremos à disposição para quaisquer questionamentos.