



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

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

Sabrina De Medeiros - sabrinadmed@gmail.com

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Francisco Beltrão

Schirley Paez - schirley_paez@hotmail.com

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Francisco Beltrão

Marcelo Bortoli – marcelobortoli@utfpr.edu.br

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Francisco Beltrão

PPGEA – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental: Análise e Tecnologia Ambiental

Resumo: *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, reduzindo sua dependência de derivados de petróleo e outras fontes de energia não renováveis e, conseqüentemente, diminuindo também os impactos ambientais provenientes da sua queima. A geração de energia a partir do biogás derivado da digestão anaeróbia do esgoto, incorpora o uso sustentável dos recursos naturais renováveis, com o uso racional e eficiente da energia ao utilizar o que é comumente descartado para a produção de matéria-prima, a 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 de Francisco Beltrão (ETE Marrecas), no sudoeste do Paraná. Esta avaliação é realizada a partir da caracterização da ETE, da estimativa da capacidade de geração de metano que o biodigestor comporta 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 são levantados dados a respeito dos custos com a implementação do sistema e da economia energética gerada.*

Palavras-chave: *Biogás. Biomassa. Geração de energia. Esgoto.*

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

POTENCIAL OF POWER GENERATION FROM THE ANAEROBIC DIGESTION OF SEWAGE

Abstract: *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.*

Keywords: *Biogas. Biomass. Power generation. Sewage.*

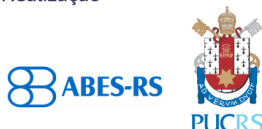
1. INTRODUÇÃO

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

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

litros por segundo, a qual é objeto de estudo deste trabalho. 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 através da utilização do biogás que já é gerado e descartado através da queima na ETE Marrecas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Este trabalho tem por 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;
- Estimar a geração de biogás proveniente dos RALFs (Reatores Anaeróbios de Leito Fluidizado) utilizados na ETE;
- Estimar a geração de energia elétrica a partir da estimativa de geração de biogás;
- Avaliar os custos de implementação do sistema 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, o surgimento de fatores como a crise ambiental, ocasionou um aumento nas pesquisas e nos investimentos para produção de energia a partir de novas fontes alternativas e economicamente atrativas, (SALOMON & LORA, 2005)

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)

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.

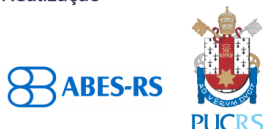
4. REFERENCIAL TEÓRICO

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. (NUVOLARI, 2003)

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.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

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.

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. (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.

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.

De acordo com Chernicharo (1997), na biodigestão anaeróbia a matéria orgânica é convertida, em sua maioria, em gás metano e gás carbônico. 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.

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)

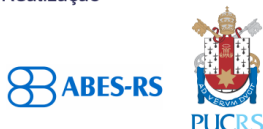
Biomassa

Biomassa é todo material que pode ser decomposto por atividade biológica (STACHISSINI, 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 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).

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

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

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.

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 Chernicharo (1997), os gases gerados na digestão anaeróbia são compostos de 50 a 70% de metano (CH₄), 30 a 50% de CO₂ e baixas concentrações de H₂S, N₂ e H₂, apresentando rendimentos de remoção de matéria orgânica na faixa de 40 a 98%.

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).

4.3. 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. (COSTA, 2006).

De acordo com Lima (2005), o biogás que apresenta o poder calorífico inferior (PCI) em torno de 19.500 kJ.kg⁻¹, constitui-se como uma boa fonte de energia, podendo ser transportado e armazenado. 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

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

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”.

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, incendeia-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.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Caracterização da ETE

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, a estação tem este nome 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.

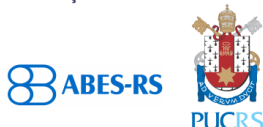
O município de Francisco Beltrão está localizado na região Sudoeste do Paraná, e de acordo com o IBGE, em 2015 apresentava uma população estimada em 86.499 habitantes, sendo que, segundo ofício da Sanepar, 66,41% desta população era atendida pelo Sistema de Esgoto Sanitário. Em seu Relatório de Gestão 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.

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 Grademento. 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. 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, constituído por pedras, formando um biofilme. Por fim, o esgoto passa por um decantador secundário, onde o lodo é removido e retorna ao tratamento.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

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.

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 escritório;
- Imagens de satélite;
- Análise do Relatório de Gestão da Sanepar, do ano de 2011.

5.2. Estimativa da geração de biogás

Segundo dados encaminhados pela Sanepar, 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 valores de DBO do esgoto bruto que entra no digestor 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 com os dados fornecidos 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 software "Biogás, geração e uso energético – Efluentes 1.0". Este software 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 livres a sua reprodução e distribuição. O software 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.

Estimando a potência disponível e a máxima possível

O cálculo utilizado pelo software Biogás 1.0 para estimar a potência disponível, dada a vazão de metano, é a seguinte:

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

Onde:

P_i: Potência disponível (kW ou kJ/s)

Q_i: Vazão mensal de metano (m³CH₄/mês)

P_{c (metano)}: Poder calorífico do metano (J/m³CH₄) - 35,53x10⁶ J/m³CH₄

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.

Estimando a energia disponível

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

No software Biogás, geração e uso energético – Efluentes 1.0, a estimativa de energia disponível é obtida a partir da seguinte equação:

$$E_{disponível} = P_x \cdot \frac{1}{365 \cdot 24} \quad (2)$$

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 do custo 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 software "Biogás, geração e uso energético – Efluentes 1.0". 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 sites de fabricantes, e quando não encontrados, foram utilizados os valores sugeridos pelo software. Após estimar o custo total de implementação do sistema, foi calculado o tempo de retorno do investimento.

6.1 Dados utilizados pelo software Biogás 1.0

Na tabela abaixo (tabela 1) estão apresentados os principais dados adicionados ao software Biogás, geração e uso energético – Efluentes 1.0, que serviram de referência para a elaboração deste trabalho, juntamente com suas respectivas fontes.

Tabela 1 - Dados utilizados no software Biogás 1.0

Principais dados utilizados	Fonte
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	Biogás 1.0
Eficiência da queima do biogás 95%	Biogás 1.0
Rendimento de conversão energético 30%	Literatura

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:

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



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

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

$$C_{DBO} = 6193 \frac{\text{kg}}{\text{DBO dia}}$$

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:

$$C_{DBOr} = 6193 \frac{\text{kg}}{\text{DBO dia}} \cdot 0,7$$

$$C_{DBOr} = 4335 \frac{\text{kgDBOr}}{\text{dia}}$$

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.

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

$$Q_{\text{Biogás}} = 520 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

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:

$$Q_{\text{CH}_4} = 510 \frac{\text{m}^3 \text{ biogás}}{\text{dia}} \cdot 0,65 \frac{\text{CH}_4}{\text{biogás}}$$

$$Q_{\text{CH}_4} = 331 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

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

6.3. Estimativa da energia elétrica disponível

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

Considerando a vazão mensal de metano como 9.930 m³, o programa Biogás, geração e uso energético – Efluentes 1.0 utilizou a Equação (1) para estimar o potencial de energia elétrica disponível, que resultou em 136,12 kW/mês.

Em seguida, o programa utiliza o rendimento de conversão energética do metano para obtenção da potência máxima possível. O software sugere um rendimento de 33%. De acordo com Souza (2016), a eficiência de conversão do biogás em energia elétrica com grupos geradores é de aproximadamente 25%, enquanto Souza (2016) 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 software 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 em torno de 30%.

Foi definido também que o sistema seria composto por: compressor, gasômetro, queimador, tratamento 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, e o tratamento é realizado para purificação do biogás, podendo ser utilizadas diferentes tecnologias, inclusive combinações destas.

6.5. Custo do sistema e retorno do investimento

Após a definição dos parâmetros já mencionados, o software 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

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

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

Os valores do gerador e do queimador foram fornecidos por fabricantes, já para os valores do compressor, do gasômetro e dos purificadores foram utilizadas sugestões do programa.

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 n° 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.

Considerando a geração de 25.080 kWh/mês a partir do biogás, seria gerada uma economia mensal no consumo de energia elétrica de R\$ 15.901,47. Portanto, o projeto teria um tempo de retorno do investimento de 10 meses e 10 horas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado nos cálculos realizados neste trabalho e dos resultados gerados através do software Biogás 1.0, a ETE Marrecas apresenta uma vazão suficiente para gerar energia, reduzindo seu consumo elétrico em R\$ 15.901,47 mensais.

Podemos concluir, quanto a viabilidade econômica, que o valor dispendido com a implementação do projeto se pagaria em menos de um ano, restando ainda 14 anos e um mês de lucros, onde o sistema tem a capacidade de abater uma grande parcela da energia necessária na estação. Sendo assim, consideramos o projeto economicamente viável. Espera-se que o comércio de créditos de carbono brasileiro aumente futuramente, se isso ocorrer, será possível vender mais facilmente os créditos gerados pelo sistema e assim, obter lucro.

Deve-se considerar também que os ganhos ambientais que o sistema proporciona são imediatos, já que com a utilização do metano para a geração de energia, as emissões da ETE diminuem. Além disso, a matriz energética local é beneficiada com a diversificação da rede.

8. REFERÊNCIAS

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=MSC000000022006000100022&script=sci_arttext>. Acesso em 26 abr. 2015.

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

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
**meio ambiente,
política & economia**

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.** 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.

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.

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

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.

METCALF & EDDY, Inc. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.** 4 ed. New York: McGraw-Hill Companies, Inc., 1991.

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

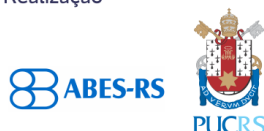
OST, Ana P. et al. **Análise dos sistemas de conversão de energia através do biogás produzido pelo esgoto cloacal.** In: SEMANA ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (FAHOR), 1. Horizontina, 2010.

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.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375

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

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-p57-67.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.

SOUZA, Samuel Nelson Melegari de. **Manual de geração de energia elétrica a partir do biogás no meio rural**. Disponível em: <http://portalpos.unioeste.br/media/File/vanderleia.schmidt/Manual_Geracao_Eletrica_Biogas.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2018.

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.

STACCHISSINI 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.

ZILOTTI Hélcio 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.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375