



JÚNIO ASSUNÇÃO DOS SANTOS

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE EXPLORAÇÃO DE UM
BIODIGESTOR NA PRODUÇÃO DE ENERGIA NA CIDADE
DE VARGINHA/MG – ESTUDO DE CASO**

LAVRAS - MG

2017

JÚNIO ASSUNÇÃO DOS SANTOS

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE EXPLORAÇÃO DE UM BIODIGESTOR NA
PRODUÇÃO DE ENERGIA NA CIDADE DE VARGINHA/MG – ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Desenvolvimento Sustentável e Extensão, área de concentração em Desenvolvimento Sustentável e Extensão, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Renato Elias Fontes

Orientador

LAVRAS - MG

2017

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Santos, Júnio Assunção dos.

Viabilidade econômica de exploração de um biodigestor na
produção de energia na cidade de Varginha/MG – estudo de caso / Júnio
Assunção dos Santos. - 2017.

63 p. : il.

Orientador: Renato Elias Fontes.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de
Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Biogás. 2. Estação de Tratamento de Esgoto. 3. Eletricidade. I.
Fontes, Renato Elias. II. Título.

JÚNIO ASSUNÇÃO DOS SANTOS

**VIABILIDADE ECONÔMICA DE EXPLORAÇÃO DE UM BIODIGESTOR NA
PRODUÇÃO DE ENERGIA NA CIDADE DE VARGINHA/MG – ESTUDO DE CASO**

***ECONOMIC FEASIBILITY OF THE EXPLOITATION OF A BIODIGESTOR IN THE
ENERGY PRODUCTION IN THE MUNICIPALITY OF VARGINHA/MG, BRASIL –
CASE STUDY***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Desenvolvimento Sustentável e Extensão, área de concentração em Desenvolvimento Sustentável e Extensão, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 20 de setembro de 2017.

Prof. Dr. Adair Ribeiro
Prof. Dr. Luís Cláudio Paterno Silveira

Faculdade Promove de Alfenas
UFLA

Prof. Dr. Renato Elias Fontes
Orientador

LAVRAS - MG

2017

AGRADECIMENTOS

A Oludumare, Orunmilá, aos Orixás e a todos Irunmolés pela dádiva da vida, da fé e capacidade de aprendizado para que me torne uma pessoa melhor a cada dia.

À minha esposa, Ana Paula e a meus filhos Raphael (in memoriam), Márcia Helena e Marcus Vinicius que souberam compreender minha ausência e apoiar o meu esforço na realização deste trabalho.

Ao Professor Dr. Renato Elias Fontes pela orientação, paciência, interesse pelo assunto, apoio e confiança neste trabalho.

À empresa COPASA, responsável pela Estação de Tratamento de Esgoto Santana de Varginha/MG, pela atenção com que sempre me recebeu e pelos dados fornecidos.

Aos funcionários Gerente Distrital Dr. Marco Aurélio Resende, Chefe do Laboratório Dr. Carlos Coelho e, especialmente, ao encarregado de operações da Estação de Tratamento Sr. Paulo Henrique Batistão pelo grande auxílio nos trabalhos de campo em todos os momentos em que foram solicitados.

A todos os colegas, que acabaram se tornando amigos, pelo apoio incondicional e pela solidariedade, em especial, a Sebastião, Bruno e Adriano.

À UFLA, por ter me acolhido tão bem e ter-me permitindo participar de um núcleo tão seleto de conhecimento, meu mais sincero agradecimento.

Os ignorantes do século XXI não serão
aqueles que não sabem ler e escrever,
mas aqueles que não sabem aprender,
desaprender e reaprender
Alvin Toffler.

RESUMO

O objetivo geral deste trabalho é analisar a viabilidade econômica de aproveitamento energético do biogás produzido na ETE Santana de Varginha/MG na geração de energia elétrica. A produção de biogás, a partir dos sistemas de tratamento de esgoto tipo UASB/RAFA (Reator anaeróbio de fluxo ascendente), dispõe de tratamento primário e secundário, tendo o sistema de tratamento de esgoto por aeração prolongada (degradação da matéria orgânica por meio da “adição” de oxigênio), ocasionando a geração de biogás pelas bactérias e responsáveis pela produção de metano (CH_4). Quanto maior a quantidade de metano maior é a eficiência da queima e, portanto maior o aproveitamento energético, seja para energia elétrica ou à utilização dos vapores gerados para a própria ETE (estação de tratamento de esgoto). Para cada habitante, é esperado que sejam gerados 0,054 kg de DBO (demanda bioquímica de oxigênio), na cidade em questão. A quantidade de carga orgânica é equivalente a uma população de 140 mil habitantes, isto porque a estação de tratamento de esgoto, além do esgoto doméstico, também recebe o esgoto industrial recém-tratado nas próprias empresas. É estimado que a estação de tratamento de esgoto produza por dia, utilizando o sistema RAFA/USB, cerca de 1.850 m³ de biogás, sendo, desta quantia, 1.295 m³ somente de metano. Conceituando pesquisas já elaboradas acerca do biogás dos esgotos, assim como relacioná-las com este estudo, também, utilizando fórmulas matemáticas, tornará a visão mais clara e objetiva para que possa ser traçada uma perspectiva de geração de biogás mais coerente, de acordo com as características estruturais e dinâmicas da estação de tratamento de esgoto. Aumentar o potencial energético e satisfazer parcialmente a dependência energética da ETE, já que, em uma estação de tratamento de esgoto, os gastos referentes à energia elétrica são altos e a alternativa encontrada (utilização do biogás) colabora para redução do consumo de eletricidade proveniente da rede, sendo assim, em termos de eficiência energética, haverá um aumento significativo, sendo possível torná-la autossuficiente em energia, visto que é grande a demanda de eletricidade requerida pelos equipamentos do processo de tratamento de esgoto.

Palavras-chave: Biogás. Estação de Tratamento de Esgoto. Eletricidade.

ABSTRACT

The general objective of this work is to analyze the economic feasibility of the energetic exploitation of biogas produced at the Sewage Treatment Station Santana de Varginha/MG on the generation of electric energy. The production of biogas in a UASB/RAFA (Ascendant Flow Anaerobic Reactor) type sewage treatment systems consists of primary and secondary treatment, using an extended aeration sewage treatment system (degradation of organic matter by means of the addition of oxygen), which generates biogas due to the bacteria responsible for the production of methane (CH_4). The greater the amount of methane produced is, the greater the efficiency of the burn and, therefore, energetic exploitation, will be, be it for electric energy or for the use of the generated vapors for the Sewage Treatment Station. For each resident, it is expected that 0.054 kg of DBO (Oxygen Biochemical Demand) be generated in the municipality in question. The amount of organic load is equivalent to a population of 140,000 residents, given that, in addition to domestic sewage, the sewage treatment station receives industrial sewage, recently treated at the industries. It is estimated that the sewage treatment station produce 1,850 m^3 of biogas per day using the RAFA/USB system. Of this amount, 1,295 m^3 is methane. Conceptualizing researches conducted regarding sewage biogas, and relating them with this study, as well as using mathematical formulas, will give a clearer and more objective view to outline a more coherent perspective of biogas generation, according to the structural and dynamic traits of the sewage treatment station. To increase the energetic potential and satisfy the energetic dependency of the sewage treatment station, given that, at a sewage treatment station, the expenses concerning electric energy are high, and the alternative (use of biogas) collaborates with the reduction of the consumption of electricity derived from the network. Thus, in terms of energetic efficiency, there will be a significant increase, allowing the sewage treatment station self-sufficient in energy, given that the amount of energy demanded from the sewage treatment process is high.

Keywords: Biogas. Sewage treatment station. Electricity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da concentração de CO ₂ em 800 mil anos.	17
Figura 2 - Evolução da concentração de CO ₂ nos últimos 300 anos.	17
Figura 3 - Biodigestor modelo UASB/RALF.	23
Figura 4 - Organograma do tratamento de esgoto.	24
Figura 5 - Esquema de um reator UASB.	25
Figura 6 - Desenho esquemático do funcionamento de um motor Otto.	28
Figura 7 - Modelo de estação de tratamento seguido em Varginha.	39
Figura 8 - Reatores UASB - ETE Santana/Varginha.	40
Figura 9 - Queimadores da ETE Santana	41
Figura 10 - Área passível de Instalação dos Equipamentos.	41
Figura 11 - Custo com equipamentos.	42
Figura 12 - Esquema simplificado.	43
Figura 13 - Gasômetro de dupla membrana.	43
Figura 14 - Medidor de vazão Vortex.	45
Figura 15 - Analisador de gases.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição do Biogás.....	21
Tabela 2 - Dados ETE – Santana/Varginha (2016).....	41
Tabela 3 - Custo equipamentos de medir vazão e concentração de biogás.....	46
Tabela 4 - Os custos linha paralela de gás.....	46
Tabela 5 - Cálculos de Viabilidade Econômica.....	50
Tabela 6 - Demonstração dos Resultados.....	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivos gerais.....	13
2.2	Objetivos específicos	13
3	JUSTIFICATIVA	14
4	REVISÃO DE LITERATURA	15
4.1	Fontes alternativas de energia	15
4.1.1	Histórico.....	19
4.1.2	Biogás no Brasil.....	20
4.1.3	Características do biogás.....	20
4.1.4	Sistemas de produção	21
4.1.5	Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs).....	23
4.1.6	Recuperações do biogás em ETEs	25
4.2	Conversões Energéticas	27
4.3	Gerações de Energia	27
4.3.1	Tecnologias na geração da eletricidade.....	28
4.3.2	Motores a gás ciclo Otto	28
4.4	Estudos Viabilidade Econômica	29
4.5	Mercados de Carbono	30
5	REFERENCIAL TEÓRICO.....	32
5.1	Custos de produção.....	32
5.2	Análises econômicas simplificadas	34
5.3	Pontos de nivelamento e resíduo.....	35
6	METODOLOGIA.....	36
6.1	Abordagens da pesquisa	36
6.2	Métodos de pesquisa	37
6.3	Universo e Amostra	37
6.4	Coletas de dados.....	38
6.5	Análises de dados	38
6.6	Visita à Estação de Tratamento de Esgoto	40
6.7	Custos de Implantação	42
6.8	Custos do motogerador	44
6.9	Custos com linha de biogás	44
6.10	Custos com sistema de segurança e medição.....	44
6.11	Custos com projeto e obra	46
6.12	Custos com energia elétrica	47
6.13	Custos de operação e de conservação.....	47
6.14	Indicadores para Financiamento.....	47
6.15	Cálculos de Viabilidade Econômica	48
6.15.1	Potencial de Energia Instalada	49
6.15.2	Receita Estimada com a Energia.....	49
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

Não são recentes as repercussões que as realizações da humanidade têm sobre o meio ambiente. O crescimento e a expansão humana trazem sempre um ônus que deve ser dirigido de forma inteligente para diminuir seus impactos e assegurar a existência de recursos naturais para uso futuro.

Por conseguinte, o desenvolvimento sustentável, ou seja, o conjunto de atitudes que permita o desenvolvimento econômico e social, concomitante ao que ameniza as influências negativas sobre o meio ambiente, é tão debatido pela mídia mundial, universidades, política, sociedade civil e pessoas em geral.

A racionalidade no uso dos recursos naturais passa também pelo incentivo à produção de energias limpas e renováveis que possam suprir os combustíveis fósseis, reduzindo não só a vinculação direta a eles, mas também seus resultados sobre as variações climáticas, já que eles têm repercussão direta com a produção de gases associados ao efeito estufa (GEE).

Entre novas fontes de energia limpa há alternativas como a biomassa que engloba uma variada gama de resíduos vegetais, dejetos animais, lodos de esgotos, resíduos sólidos urbanos e microrganismos fotossintéticos. A biomassa, por meio de uma série de processos biotecnológicos, pode auxiliar na produção de combustíveis líquidos e gasosos que são potenciais fontes de energia. O uso dos restos de esgotamento sanitário urbano, por exemplo, a partir da digestão anaeróbia e do tratamento do gás emitido, gera o biogás que pode ser, assim, aplicado na geração de energia elétrica.

Em síntese, o esgoto é coletado por uma rede de dutos, entra na estação elevatória em que as frações grosseiras são retidas e, então, é conduzido à Estação de Tratamento de Esgotos por bombeamento pela qual passa por um tratamento inicial de onde os sólidos são separados e levados ao aterro sanitário.

Depois, a parte líquida passa pelo biodigestor UASB/RALF (Reator Anaeróbio de Manto de Lodo e Fluxo Ascendente) no qual acontece a digestão anaeróbia pelas bactérias ali existentes e segue para o posterior tratamento, enquanto o lodo processado vai para secagem. Apesar de a grande maioria das empresas de saneamento, no Brasil, operar com sistemas anaeróbios de tratamento de esgoto, poucas fazem a utilização do biogás gerado nesta ação.

Em Minas Gerais, o serviço de saneamento básico atende a 81% dos seus municípios, dentre estes está o município de Varginha, localizado no sul do Estado, com a sua ETE – Santana/ Estação de Tratamento de Esgoto, objeto deste estudo, que trata, aproximadamente, 150 litros por segundo de esgoto e queima o biogás produzido sem qualquer outra utilização.

O sistema de tratamento está projetado para funcionar em reatores anaeróbios de fluxo ascendente de manta de lodo antes do lançamento no Rio Verde.

Esse trabalho procurará demonstrar a grande necessidade de políticas públicas específicas e coordenadas entre todos os segmentos da sociedade que, apesar de poucos estímulos existentes para o uso energético do biogás, como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e os incentivos às fontes de energia limpa e renováveis no País, vários obstáculos dificultam ainda a eficaz utilização desta nova fonte de energia.

Assim há a necessidade de um maior empenho entre as diferentes esferas do governo, o setor privado e instituições de pesquisa e desenvolvimento para a formulação de políticas efetivas que promovam o melhor aproveitamento energético do biogás no Brasil.

Em face dos aspectos econômicos e ambientais que envolvem o saneamento básico, formula-se o seguinte problema de pesquisa: é viável economicamente o aproveitamento do biogás produzido na Estação de Tratamento de Esgoto - Santana de Varginha para a geração de energia elétrica?

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

O objetivo geral deste trabalho é analisar a viabilidade econômica de aproveitamento energético do biogás produzido na ETE Santana de Varginha/MG na geração de energia elétrica.

2.2 Objetivos específicos

Para consecução do objetivo geral, foram propostos os objetivos específicos a seguir:

- a) Identificar quais insumos impactam no processo produtivo.
- b) Determinar o ponto de nivelamento e resíduo da ETE - Santana.

3 JUSTIFICATIVA

A busca por fontes alternativas de geração de energia se tornou inevitável, urgente e necessária. A recente crise hídrica por que passamos e quase levou ao colapso (apagão) todo o País sinalizou e advertiu quanto à fragilidade da matriz energética nacional, o aumento dos efeitos nocivos da emissão de gases poluentes no planeta resultou em um avanço acentuado e danoso de fenômenos naturais.

O acionamento das termoelétricas movidas a combustível fóssil (diesel), para compensar a baixa produção das hidrelétricas, ocasionando um custo elevado seja econômico ou ambiental, estimularam-nos a enveredar na busca pela obtenção alternativa de fonte de eletricidade, com o uso do biogás procedente do tratamento de esgotos urbanos como fonte, pois possibilita a utilização de um recurso encontrado em abundância, além de contribuir, em um segundo momento, de forma exponencial, para a melhoria do saneamento básico e, por consequência, na saúde pública.

A abordagem do tema propicia uma oportunidade de pesquisa, para a apresentação de um trabalho de conscientização, no que diz respeito à conservação e utilização da energia, agregado ao incentivo em estudo e pesquisa, para busca de nova fonte geradora de energia renovável, sustentável, limpa, segura e ambientalmente correta, que implicará seguramente em desenvolvimento social, econômico e tecnológico em todo o país.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Fontes alternativas de energia

É público que o fator energético é muito importante para alavancar o desenvolvimento de uma sociedade, além disso, verifica-se que há uma crescente vulnerabilidade dos atuais mecanismos de suprimento de energia, quanto à dependência de recursos não renováveis como carvão, petróleo e outros, cujo esgotamento de suas reservas naturais provocaria um colapso na sociedade atual. É neste contexto que as fontes alternativas (eólica, solar, biomassa, pequenas centrais hidroelétricas) podem contribuir, para a mudança de um modelo energético que atenda aos princípios da sustentabilidade. Com base nesta realidade, nota-se uma grande procura por formas alternativas de geração e de aproveitamento energético, que é motivada pela viabilização de novas tecnologias e pela redução do impacto ao meio ambiente e vem não apenas para substituir e, sim, para somar esforços no sentido de racionalizar o uso do potencial energético disponível.

A atual situação mundial, marcada por uma exacerbada vinculação da produção e uso de energia de natureza fóssil e de ações ligadas à cadeia energética, que envolve elevados impactos ao meio ambiente, tem movido diversos segmentos da sociedade a redimensionar as direções energéticas com base nos recursos naturais sustentáveis e nos meios de produção em equilíbrio com o meio ambiente. A realidade desta postura é o vertiginoso crescimento anual de 30% em investimentos em energia eólica (SILVA, 2008).

O incremento e modernização das atividades humanas, somados ao imenso crescimento populacional, exigem um volume cada vez maior da capacidade de geração de energia elétrica e a falência dos recursos naturais e a crescente agressão ao meio ambiente, para suprir tal questão, vêm sendo assinalados como um fator importante de desequilíbrio da natureza. Nesta situação, as formas alternativas de produção e aproveitamento de energia limpa têm-se mostrado apropriadas para agregar ao modelo energético em vigor (SEIXAS; PASCHOARELLI JÚNIOR; FARIA JÚNIOR, 2005).

Silva (2008) afirma que o Brasil é efetivamente um país com um enorme potencial de utilização de novas fontes de energia limpa e sustentável, dessa forma, temos várias alternativas na produção de energia, presentes em fartura no território nacional, que se mostram como uma evidenciada forma de complementar os aproveitamentos hídricos. As tecnologias renováveis manifestam-se também de um atrativo adicional, no que tange aos programas de expansão do setor, baseado na conservação do jeito limpo da matriz energética nacional, assim como a sua sustentabilidade.

Dados da Empresa de Pesquisa Energética (2006) informam que, atualmente, 46% da matriz energética brasileira é fundada em fontes alternativas, neste panorama, é possível entrever, no futuro, a procura da sustentabilidade energética do país, orientada na conservação do jeito renovável de sua matriz.

No mesmo sentido, Tolmasquim (2003) indica que, entre as novas formas de geração de energia renováveis, é necessário mostrar os avanços obtidos em nível mundial da utilização dos resíduos sólidos e efluentes urbanos, para geração de eletricidade, energia solar térmica, solar fotovoltaica, as aplicações eólicas para obtenção de eletricidade, os biocombustíveis, dentre outros.

O atual patamar de incremento das técnicas de obtenção alternativa de energia, fundamentada em energia limpa e renovável, fará com que cresçam novos sistemas energéticos diversos e maleáveis que aproveitem de forma total e integrada as várias fontes energéticas e técnicas utilizáveis em cada lugar ou região. Portanto, podem colaborar para mitigar os impactos sobre o meio ambiente vindos da obtenção e utilização de energia.

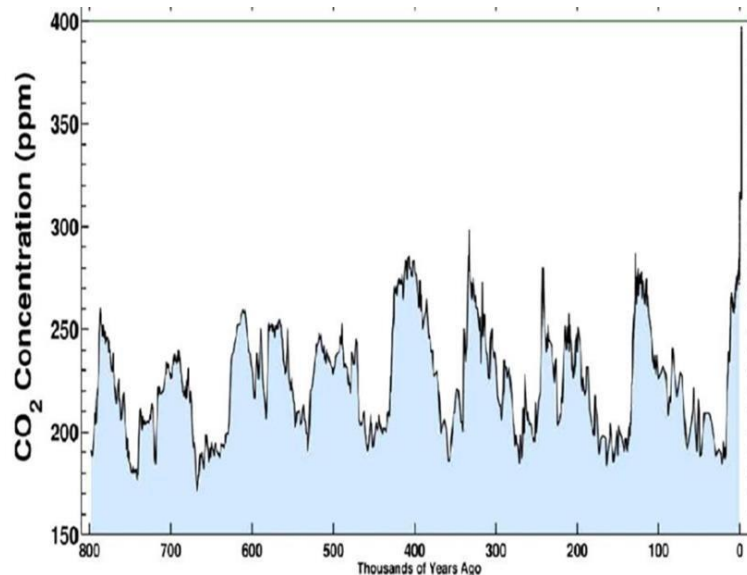
As mudanças climáticas têm sido um constante e persistente tema de debates nos encontros mundiais, sendo pacífico que há um aumento considerável na intensidade das intempéries no mundo inteiro, bem como na frequência destes fenômenos. Ainda se percebe o movimento de áreas tipicamente atingidas por fortes temporais, vendavais, secas intensas, tornados e desertificação, para outras que não eram usualmente abrangidas por tais fenômenos. Nas regiões polares e de grandes altitudes, verifica-se o degelo de calotas polares e geleiras consideradas eternas (INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2007).

Nos últimos dez anos, houve uma elevação na temperatura média da Terra de cerca de 0,85°C e estima-se que até o ano 2100 esta elevação chegue a 4°C. Caso nenhuma atitude seja tomada, os desdobramentos desta elevação provocarão inundações, grandes secas, aumento do nível do mar e extinção de muitas espécies, além de movimentação (migração) de populações de pessoas e animais (IPCC, 2007).

O protocolo de Kyoto mostra o conjunto de iniciativas da comunidade mundial para atingir o objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), no que se refere a consolidar a níveis seguros as concentrações de gases de efeito estufa, visto que foram elaborados mecanismos de maleabilidade, para a obtenção dessa meta, como: Comércio de emissões e Implementação Conjunta e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (LEMOS et al., 2002).

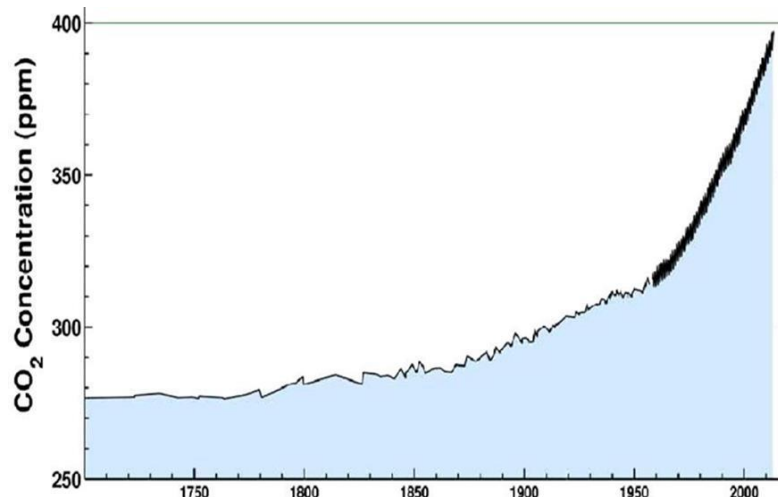
Nas Figuras 1 e 2, observa-se com clareza o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera, em partículas por milhão, em que se desenvolveu a atividade industrial com forte interferência humana na emissão do dióxido de carbono.

Figura 1 - Evolução da concentração de CO₂ em 800 mil anos.



Fonte: Trends... (2016)

Figura 2 - Evolução da concentração de CO₂ nos últimos 300 anos.



Fonte: Trends... (2016)

a) Energias de biomassa

Embora ainda muito incipientes, o uso de biomassa para a obtenção de eletricidade vem sendo motivo de diversas pesquisas e estudos aplicados tanto em regiões desenvolvidas como subdesenvolvidas e, dentre diferentes causas, estão a procura de fontes mais

concorrentes de geração e a obrigação de redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE).

Segundo Simioni (2006), a biomassa, do ponto de vista energético, é o nome dado à matéria orgânica passível de ser utilizada, para a geração de energia, ela abrange tanto os biocombustíveis (como o etanol e biodiesel) como bioenergia (resíduos orgânicos), a qual pode ser obtida da biomassa nova (estrupe, restos de ração e outros dejetos) e da biomassa velha (madeiras e palhas). Por melhor combustão da biomassa, as emissões atmosféricas totais tendem a ser menores e menores emissões por unidade de energia gerada são constatadas (PLATAFORMA ITAIPU DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2008).

Segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica, o Brasil, pela imensa extensão de seu território, quase todo localizado em região tropical e chuvosa, oferece excelente condição para a produção e o uso intenso da biomassa, a qual apresenta enorme potencialidade no campo de geração de eletricidade.

Em médio e longo prazo, o esgotamento de fontes não renováveis e as influências de ambientalistas poderão acarretar melhor aproveitamento da biomassa que, ultimamente, é, sem dúvida, intensamente utilizada na obtenção de eletricidade, especialmente, em sistemas de cogeração e no abastecimento de eletricidade para necessidades isoladas da rede elétrica (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, 2007).

De acordo com Farret (1999), o uso de biomassa na geração de energia representa uma fonte alternativa de grande eficácia, no âmbito urbano. Essa forma de geração, além de gerar energia térmica, proporciona a utilização de grandes quantidades de lixo orgânico e, com isso, deixa de contaminar a natureza. Já no meio rural, o uso dos resíduos e dejetos animais, nos biodigestores, pode fornecer a energia necessária para iluminação, aquecimento e a movimentação de motores, por meio do biogás.

Após ser processado, o material orgânico digerido no biodigestor pode ser empregado como adubo, ou seja, essa alternativa não só é viável do ponto de vista econômico, pois se harmoniza a economia e gera novas rendas para o agricultor, como possui um potencial de redução de 80% das cargas poluentes que hoje são lançadas in natura no meio ambiente.

O aproveitamento energético e racional desta fonte de energia leva a realizar o crescimento e progresso de regiões menos favorecidas, economicamente, por meio da criação, do aparecimento de empregos e de receita, diminuindo as desigualdades sociais, o problema do êxodo rural e a interdependência de fora de energia, em virtude de sua produção local. Além de ambientalmente favorável, outro importante aspecto desta fonte de energia é o fato de que a sua produção pode ser concentrada ao atendimento de pequenos mercados, de caráter

regional e não na competição direta com outras fontes como a hidroeletricidade de larga escala (ANEEL, 2007).

Individualmente o potencial do biogás é pequeno, mas, no conjunto, é diferente, por exemplo, no caso de estações de tratamento de esgotos e aterros sanitários, se metade dos municípios brasileiros tivessem se adequadado ao que é a exigência legal, poderia haver uma produção média de 5 MW de energia, a partir do biogás e seria possível obter cerca de 12.500 MW (2.500 municípios X 5 MW), ou seja, o equivalente à produção em escala máxima de Itaipu. De forma geral, é possível afirmar que o biogás, gerado da decomposição da biomassa, apresenta mais vantagens que desvantagens (SIMIONI, 2006).

4.1.1 Histórico

O biogás é o gás produzido, a partir da degradação/decomposição da matéria orgânica (resíduos orgânicos) por bactérias estudadas. No século XVII, o biogás passa a ser considerado como fonte de energia, em uma exposição feita por Louis Pasteur, no século XIX, quando foi demonstrada a obtenção de biogás, com base em uma mistura de estrume e água, quando se realiza a fermentação anaeróbia. Louis Pasteur expôs à Academia das Ciências que essa fermentação formaria uma fonte de calor e luz (ZACHOW, 2000).

Na Índia, em 1859, aconteceu o primeiro experimento como uso direto de biogás, já em 1895, sucedeu ao primeiro experimento europeu, com o uso do biogás para iluminar algumas ruas de Exter, na Inglaterra, que sobreveio a outras experiências, movidas, principalmente, pelo ânimo inicial que esta técnica abrangeu. Na década de sessenta, a respectiva fartura de fontes de energia habituais desanimou a recuperação do biogás, na maior parte dos países desenvolvidos.

Entretanto, na China e Índia, com escassas condições de dinheiro e energia, o biogás cumpriu uma função de grande importância, sobretudo, em pequenos agregados rurais, a partir da crise energética dos anos 70. O gás metano dos digestores anaeróbios voltou a interessar todo o mundo, no entanto, em nenhum país, o uso deste método alternativo foi tão proeminente como na Índia e China.

Ultimamente, o biogás é, sim, um intenso objeto de pesquisas que procuram desenvolver métodos de produzir energia que possibilite a redução do uso das fontes naturais não renováveis, não sendo mais visto apenas como um derivado ou subproduto, conseguido a partir da decomposição anaeróbio, segundo Costa (2006).

4.1.2 Biogás no Brasil

O interesse pelo biogás, no Brasil, aumentou, a partir da década de oitenta, notadamente, entre os produtores de suínos, quando programas do governo incentivaram a instalação de diversos biodigestores direcionados, principalmente, para a redução das consequências ambientais nocivas, obtenção de energia e na fabricação de biofertilizante. Os objetivos dos programas do governo eram de diminuir a vinculação das menores propriedades rurais, na obtenção de fertilizantes químicos e de energia termal, para os múltiplos usos (iluminação, cozimento, aquecimento e refrigeração), assim como diminuir a poluição ocasionada pelos excrementos animais e aumentar o ganho dos produtores.

No entanto os efeitos desejados não foram alcançados, e a maioria dos sistemas instalados terminou sendo subutilizados. No final da década de noventa, um novo movimento, envolvendo e objetivando o uso do biogás, começou a surgir incitado pela chance da inclusão dos processos anaeróbicos no comércio de carbono pelo mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL). Confirmada em 2005, a participação, no protocolo de Kyoto da Rússia, enorme otimismo iniciou-se, especialmente, para a agropecuária, no desejo e esperança de que os projetos e as RCE - Reduções Certificadas de Emissão unicamente principiariam novos investimentos e empreendimentos (ETCHECOIN, 2000). O movimento dos preços embolsados, na negociação das RCEs, entaves funcionais, a atual crise mundial, alteraram a esperança inicial em um enorme desapontamento.

4.1.3 Características do biogás

O Biogás é caracterizado por estar subordinado à condição de temperatura, pressão, umidade, teor de metano e concentração de gases inativos, dado que pode ser usado na qualidade em que é obtido e está sujeito à forma de utilização, pode ser imprescindível à diminuição da concentração de CO₂, H₂S, diminuição da umidade ou mesmo ao aumento da pressão. De forma geral, o biogás é composto, essencialmente, por gás carbônico e gás metano, tendo outros gases como hidrogênio (H₂), gás sulfídrico (H₂S) e nitrogênio (N₂) existentes, mas em pequenas concentrações, como apontado na Tabela 1, as estimativas médias obtidas com o exame do biogás.

Tabela 1 - Composição do Biogás.

Gás	Símbolo	Concentração no Biogás (%)
Dióxido de carbono	CO ₂	20 – 40
Hidrogênio	H ₂	1 – 3
Nitrogênio	N ₂	0,5 – 3
Gás sulfídrico e outros	H ₂ S, CO, NH ₃	1 - 5
Metano	CH ₄	50 – 80

Fonte: Coldebella et al. (2006).

O metano, fruto do procedimento de digestão anaeróbica, pode originar enorme prejuízo ambiental, se for lançado espontaneamente na atmosfera, por isso, há a obrigação da sua queima, transformando o metano em gás carbônico, a fim de diminuir o impacto ocasionado ao meio ambiente. O metano é um gás do efeito estufa que é vinte vezes mais nocivo que o do dióxido de carbono, colaborando, imensamente, para o crescimento do efeito estufa e, logo para o aquecimento global.

É um gás incolor, inodoro, combustível, sua queima mostra uma chama de cor azul-lilás, não produzindo fuligem e sendo o alcance poluidor atmosférico inferior ao do butano, que é do gás de cozinha (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

4.1.4 Sistemas de produção

Um dos modos para obtenção do biogás, mais conhecidos e usados, é de processos de digestão anaeróbia em biodigestores, que nada mais é que um reator, no qual as reações químicas e o biogás gerado após ser limpo é queimado em chaminés (flares) ou utilizado para gerar eletricidade por motores de combustão interna (LAMAS, 2007).

Cada biodigestor tem uma qualidade própria, havendo os de produção contínua e descontínua; no primeiro caso, coloca-se a biomassa em seu interior e a produção pode ocorrer por um tempo longo sem que tenha a obrigação de ser aberto o equipamento; no segundo caso, a biomassa é colocada dentro do biodigestor, que é totalmente fechado e somente será aberto, após a produção de biogás, o que leva mais ou menos noventa dias. Depois da fermentação da biomassa, o biodigestor é aberto, limpo e novamente carregado para uma nova rodada de produção de biogás (FRANÇA JUNIOR, 2008). Biodigestores modelo UASB/RALF: são formas de tratar os esgotos mais usados no Brasil que operam como “Up Flow Anaerobic sludge Blanket Reactores”, também conhecido como os Reatores Anaeróbios de Leito Fluidizado (RALF), são muito usados para tratamento de maneira biológica, baseado no processo de estabilização de matéria orgânica.

O trabalho do biodigestor RALF é o de início levar os dejetos brutos, para uma grade fina, com o objetivo de tirar os sólidos em suspensão, em que há um desarenador que também tira os sólidos que se sedimentam e podem prejudicar todo o procedimento. Depois de o esgoto estar gradeado e desarenado, é conduzido a um compartimento, na parte central superior do reator, no qual é separado em partes iguais, para manter abastecidos os tubos difusores, que conduzem o esgoto até a sua parte inferior (ANDRADE NETO, 1997).

Na parte inferior do biodigestor, o esgoto é mexido com o lodo presente em uma mantilha, antecipadamente preparada, impregnada de bactérias anaeróbias; o material orgânico, presente no esgoto, fica retido nessa mantilha e é degradado e estabilizado por causa da agilidade metabólica das bactérias, as quais, contidas no manto de lodo, transformam a matéria orgânica suspensa em produtos estáveis, como água, biogás e outros elementos inertes.

Tem uma divisória defletora, na parte de cima do reator, que atua como interconexão da área de digestão e de decantação, os gases originados agrupam-se, na parte de cima interna do reator, de onde, por meio de um tubo, podem ser aproveitados para fins energéticos (CH_4) ou descartados (CO_2).

Os gases levam a parte sólida até a mantilha de lodo, depois de se soltar das bolhas produzidas, a líquida prossegue para o decantador e é vertido para uma pequena canaletta que recolhe todo o efluente tratado e o leva para um conduto, que pode levar o efluente para um curso d'água ou para um tratamento posterior. O lodo restante, produzido no reator, tem de ser retirado regularmente para secagem, sendo possível sua utilização como fertilizante ou disposição final em aterro sanitário.

Figura 3 - Biodigestor modelo UASB/RALF.



Fonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA (2010).

4.1.5 Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs)

A água que sobra do uso humano é definida como esgoto, sua origem pode ser industrial, comercial ou residencial (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994), a composição do esgoto doméstico é produto dos resíduos da preparação de alimentos, higiene pessoal, lavagem de utensílios domésticos, roupas e necessidades fisiológicas. Frequentemente são encontrados nos esgotos poluentes líquidos e sólidos, tais como absorventes, preservativos, trapos, pedaços de madeira, papéis de bala, “cotonetes”, tampas de garrafa, cabelos, fio dental, cigarros, óleo de cozinha e tintas, os quais deveriam ser descartados junto com o lixo doméstico.

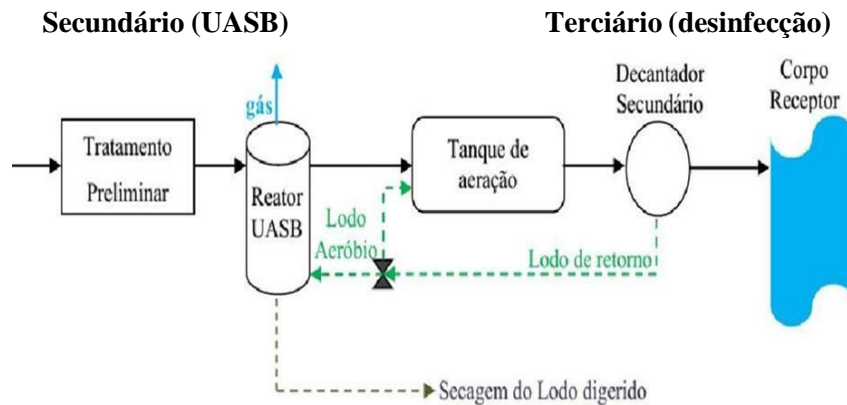
Conforme Chernicharo (2007), o esgoto contém uma fração de 99,9% de água para 0,1% de material sólido diluído e, de acordo com Alves et al. (2008), os resíduos líquidos com matéria orgânica são característicos de uma população com qualidades e concentrações próprias. É nesta mínima proporção de uma para mil que se encontram os sólidos suspenso e dissolvido, orgânico e inorgânico, um conjunto de inúmeros contaminantes causadores de doença como vírus e bactérias e, sem receber o devido tratamento, esta água, quando descartada em corpos receptores (rios, córregos e mares), causa danos à saúde pública pela transmissão de doenças, além de contribuir para a disseminação de certas algas e infectando animais e vegetais.

Define-se Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) como a forma capaz de tratar águas residuais de origem domésticas e industriais, para que depois o efluente possa ser descartado

com menor impacto ambiental, segundo a lei atual em vigor, usando processos físicos, químicos e biológicos.

A Figura 4 mostra o organograma de uma ETE, que servirá como referência neste estudo. O afluyente representa o canal de entrada do esgoto, em que está a captação e, durante o processo de tratamento, há a separação da parte sólida diluída na água, resultando em efluentes de três tipos: gasosos, líquidos e sólidos úmidos (lodo). O canal de saída do esgoto, tratado na forma líquida, é chamado emissário e comumente está sobre rios e lagos, dos quais, em alguns casos, a água que serve para o abastecimento da população é coletada.

Figura 4 - Organograma do tratamento de esgoto.



Fonte: Perovano e Formigoni (2011)

A primeira fase do tratamento é responsável pela separação dos sólidos grosseiros, espuma, gordura e areia, a ETE pode ser composta por um sistema de gradeamento grosseiro e outro fino, peneiras mecanizadas rotativas, desarenamento em caixas de areia e de retirada de gordura (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA, 2004).

Na continuação do tratamento do esgoto livre de materiais grosseiros, há a decantação dos sólidos que sedimentam, no fundo do tanque, para ajudar neste processo, são usados coagulantes, como o sulfato de alumínio. Este produto forma flocos com as partículas sólidas que afundam no decantador e para este material usa-se a expressão “lodo” (ZILOTTI, 2012).

Apesar de a separação de todo material visivelmente poluidor do esgoto, suas propriedades químicas e biológicas permanecem as mesmas, pois o tratamento inicial objetiva separar a água pela ação física de sedimentação, ajudado por elementos químicos coagulantes, floculando a matéria poluente (ZILOTTI, 2012).

A segunda fase do tratamento é um procedimento biológico, que pode ser do tipo lodos ativado ou filtro biológico, usando reatores cuja matéria orgânica é consumida por

microrganismos anaeróbicos (com ausência de oxigênio) e aeróbicos (na presença de oxigenação forçada), a eficiência do tratamento biológico é alta: a redução da matéria orgânica dissolvida na água chega a 95%, depois os microrganismos passam por uma ação de sedimentação nos decantadores secundários (COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS - COPASA, 2011).

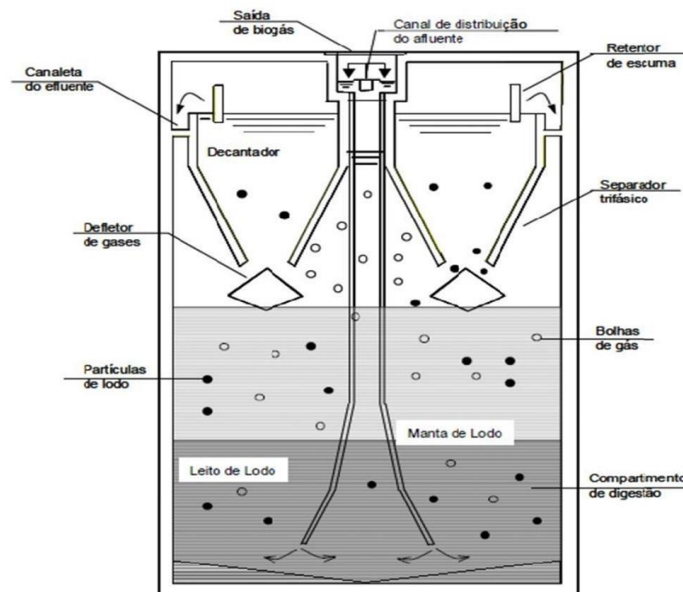
A terceira fase do tratamento corresponde à desinfecção das águas, sendo retirados contaminantes ou nutrientes que aumentam a eutrofização das águas receptoras de rios e mares. Normalmente removem-se nitrogênio e fósforo, para evitar o crescimento de algas, que reduzem a quantidade de oxigênio na água e asfixia peixes (COELHO et al., 2004c).

4.1.6 Recuperações do biogás em ETEs

O biodigestor de modelo UASB (Figura 5), a seguir, foco deste trabalho, é um tipo de reator que trata o efluente, com base na forma de equilíbrio da matéria orgânica, é constituído por um tanque de fluxo vertical com câmaras de sedimentação e digestão anaeróbica, fechado na parte superior, não utilizando energia elétrica complementar.

Segundo Aisse (2000), é importante que, em reatores tipo UASB, exista um eficaz isolamento do biogás produzido, do esgoto e do lodo, além de que o lodo deve possuir boa capacidade de sedimentação e solidificação (de 1 a 5 mm de diâmetro), a matéria orgânica contida no esgoto em fluxo ascendente é misturada ao lodo contido em um manto inoculado ou formado antecipadamente.

Figura 5 - Esquema de um reator UASB.



Fonte: Versiani, Mari e Walti (2005).

Os fundamentais indicadores da matéria orgânica atuante no esgoto são a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO). Define-se DBO como o indicador do agrupamento de material orgânico biodegradável, pela demanda de oxigênio feita por microrganismos, e DQO o indicador de matéria orgânica, baseado na concentração de oxigênio usado na oxidação da matéria orgânica, em meio ácido (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997).

A quantidade de DBO é diretamente proporcional à quantidade de esgoto que será tratada, avalia-se que sejam gerados 0,054 kg de DBO, para cada pessoa em uma determinada região urbana, analisando afluentes domésticos e industriais (PECORA, 2006).

O biogás gerado, durante o processo de digestão anaeróbica nos reatores, é comumente visto como um dejetivo para ser tratada na ETE. A imensa ajuda para o aquecimento global do metano, além de sua propriedade explosiva, representa riscos à Estação e, por estas razões, o biogás é levado em tubulações próprias até um lugar especial dentro da ETE na qual ocorrerá sua queima, em chaminés (Flares). Esta intervenção garante que, durante a queima do metano, a sua transformação em dióxido de carbono reduza o impacto ambiental coligado a sua direta liberação para a atmosfera.

O poder calorífico do biogás é diretamente proporcional à quantidade de metano existente na mistura gasosa, que é o único gás combustível presente. A parte não combustível como o dióxido de carbono e a água reduzem o poder calorífico, prejudicando sua queima, assim, diminuindo a eficiência.

Para acrescentar e melhorar a eficácia na conversão do biogás em energia elétrica ou outros fins, é necessário retirar a umidade, o dióxido de carbono e o ácido sulfídrico, este último é especialmente prejudicial para o maquinário, pois causa corrosão antecipada do motor e sistemas de transporte, especialmente naqueles feitos em ligas de alumínio, aços com níquel e no cobre (FRARE, 2006).

A potencialidade energética como combustível de 1,0 Nm³ de biogás, com concentração de 50% de CH₄, é equivalente a 0,53 Nm³ de gás natural, 0,63 litro de óleo diesel e a 0,61 litros de gasolina. Todavia há uma parte do biogás que atua contra a eficácia do seu aproveitamento, além da deterioração causada pelo gás sulfídrico, a siloxina (compostos de sílica, abrasivos) impacta na vida útil do maquinário do gerador de biogás.

4.2 Conversões Energéticas

Segundo França Junior (2008), para que a produção de energia elétrica, a partir do biogás, em uma ETE seja contínua, o tamanho da estação deve atender a uma população mínima de 10.000 habitantes, com possibilidade de obtenção de 5.544 kWh/mês de energia.

O emprego energético do biogás que é simplesmente queimado, para reduzir o potencial de efeito estufa, traz benefícios indiretos para a sociedade, dentro de uma visão energética; a obtenção descentralizada de eletricidade, perto do ponto de consumo, contribui para diminuição das perdas elétricas de distribuição, ao mesmo tempo em que aumenta a credibilidade e a oferta de energia elétrica. Também auxilia na diminuição da dependência de energia de fonte fóssil e, sob o ponto de vista econômico, há a redução dos gastos em compra de energia elétrica da distribuidora, acrescentando a viabilidade econômica do tratamento de efluentes (PECORA, 2006).

Dos métodos atuais, os motores de combustão interna, baseados no ciclo Otto, permitem maior eficiência integral na conversão elétrica quando atuando em cogeração de calor e eletricidade (COSTA, 2006).

Os Motores de Combustão Interna (MCI) são aparelhos mais versáteis por aceitarem maior multiplicidade de combustíveis, transformam o combustível líquido ou gasoso ativando pistões confinados em cilindros acoplados a um eixo e outra vantagem dos MCI é ser menos sujeito às impurezas do biogás, tais como umidade e gases não combustíveis. O ciclo Otto é o mais recomendável, para a utilização de gases como combustível, os MCI são indicados, para gerações de energia, em que a disponibilidade de combustível seja intermitente e as necessidades térmicas pouco significativas (FRANÇA JUNIOR, 2008).

4.3 Gerações de Energia

Conforme Costa (2006), o poder de geração de energia do biogás muda, de acordo com a quantidade de metano presente na em sua formação: quanto maior quantidade de metano, melhor é o biogás; quando originado de aterros sanitários, a quantidade de metano é, em média, de 50%, enquanto é gerada, em reatores anaeróbios de efluentes, a quantidade média é mais alta, chegando até, aproximadamente, 70%. Entretanto, comparando com o gás natural (até 95% de metano), mostra menor poder calorífico, que é resultado da menor quantidade de metano; a quantidade de energia presente, durante a queima por unidade de massa ou volume de um combustível, é determinada como poder calorífico.

4.3.1 Tecnologias na geração da eletricidade

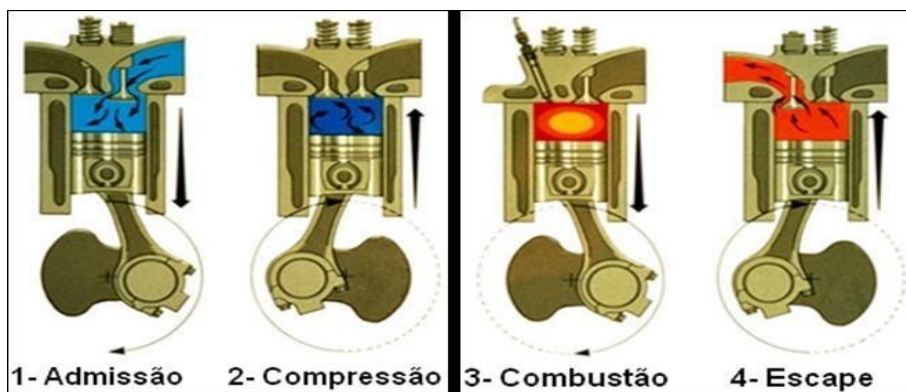
No caso do biogás, é a modificação da energia química, contida em suas moléculas em energia mecânica por uma forma de combustão controlada, dentro de um motor de combustão interna, visto que a potência mecânica aciona um gerador que a transforma em energia elétrica. O uso mais comum do biogás em ETE é para gerar eletricidade, justamente com motor de combustão interna do tipo "Ciclo Otto", esta é a forma tecnológica mais usada para esse tipo de transformação energética (COELHO et al., 2004a).

4.3.2 Motores a gás ciclo Otto

O motor a combustão interna é uma máquina que modifica a energia derivada de uma reação química em energia mecânica, o procedimento de transformação se dá por meio de ciclos termodinâmicos que envolvem expansão, compressão e mudança de temperatura de gases. Consideramos como sendo aqueles que usam os gases da combustão como fluido de trabalho, ou seja, são estes gases que fazem os procedimentos de compressão, aumento de temperatura (queima), expansão e, finalmente, exaustão.

Motor de combustão interna também é, popularmente, chamado de motor à explosão; o que acontece dentro das câmaras de combustão é a queima dos gases, o que impulsiona os pistões é o aumento da pressão interna da câmara, decorrente da combustão (queima controlada). Chama-se de explosão uma detonação dos gases, que deve ser evitada, nos motores de combustão interna, a fim de dar-lhes maior durabilidade e menores taxas de emissões de poluentes atmosféricos.

Figura 6 - Desenho esquemático do funcionamento de um motor Otto.



Fonte: Otto (2011)

Ainda que variem levemente, conforme o fabricante, os requisitos para a utilização de biogás como combustível, em motores a gás, são basicamente muito semelhantes, a

temperatura máxima do biogás não deve exceder 40 °C, para não depreciar a vida útil dos componentes da linha de controle e regulação de gás e não afetar a temperatura da mistura de ar e gás e, por conseguinte, o desempenho do motor (BELL, 2011).

4.4 Estudos Viabilidade Econômica

Importantes alterações, nas normas que regulam o mercado de eletricidade e gás, nos últimos anos, ocasionaram mudanças no conceito de Produção Distribuída de energia (PDE). São três as fontes de relativa influência independente – necessidade de nova capacidade instalada, nova estruturação e progressos tecnológicos – incentivam, coletivamente, a busca para inclusão de fontes alternativas viáveis (ROSS, 1999).

Neste contexto, é aguardado que, em diversos casos, os projetos de obtenção de energia elétrica com custo menor serão os estrategicamente localizados e de pequena escala. Apesar de valores de investimento unitários por capacidade de potência instalada sejam ainda altos, novas alternativas de geração de energia contribuem, na redução da dependência em horários de pico, quando os gastos de energia são maiores e a rede fica mais carregada (SCHWARTZ, 2005).

Desta forma, incentivadores de projetos em Produção Distribuída de Energia, financiadores e investidores, geralmente, encontram dificuldades de estimação de custos, com probabilidade de gastos demasiados, quando confrontando técnica e financeiramente as opções disponíveis com alternativas concorrentes. O procedimento adequado, na resolução destas situações, é progredir com o projeto dando alguns passos, denominados: estudo de viabilidade; de engenharia; desenvolvimento e construção e comissionamento.

Estes estudos de viabilidade são decisivos para subsidiar os investidores a rejeitarem projetos que não são atrativos de forma financeira e econômica, assim como a concentrar esforços nos estudos de engenharia antes da construção. Neste contexto, projetos de viabilidade são definidos como:

Uma análise célere e aberta, mostrando em que situações o projeto escolhido tem grande possibilidade de agradar as condições do investidor em custos e efetividade de lucros e, portanto interesse para um maior investimento de recursos e de tempo em um estudo de viabilidade econômica sendo marcado pela utilização de dados acessíveis e imediatos, estimativa de custos, simples cálculos e avaliações não raras vezes abrangendo preceitos menos analíticos (RETSCREEN..., 2005).

Portanto, diversos são os estudos achados na literatura contrariando a implantação de diversas fontes de produção distribuída de energia, os quais, geralmente, são concentrados em aspectos econômicos de viabilidade (ALLAN; AVELLA, 1985; COX; DUGGIRALA; LI,

2006) e variáveis técnicas de análise (ASHOK; BALAMURUGAN, 2007; SIMIC; MIKILICIC, 2007). Mesmo dessa forma, contribuindo para o incremento e amadurecimento da inclusão de novas fontes de Produção Energética, normalmente estes englobam: casos característicos em níveis de associação detalhados, de modo a avaliar a viabilidade econômica de funcionamento das unidades de produção e o sistema como um todo ou métodos genéricos abordando partes de processos financeiros.

4.5 Mercados de Carbono

Adotando a variação do clima como uma inquietação comum da humanidade, governos do mundo inteiro se propuseram a elaborar uma estratégia mundial, para proteger o planeta para gerações presentes e futuras, para isso, foi criada a Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC, sigla em inglês) e todos os anos os países membros debatem as questões mais importantes sobre mudanças climáticas.

A 3ª Conferência das Partes, realizada entre 1 e 12 de dezembro de 1997, em Kyoto, Japão, contou com a presença de representantes de mais de 160 países. Nessa conferência foi celebrado o Protocolo de Quioto, incluindo metas e prazos relativos à diminuição ou limitação das emissões futuras de dióxido de carbono e outros gases responsáveis pelo efeito estufa, exceto aqueles já controlados pelo Protocolo de Montreal (ALMEIDA; SANTOS JÚNIOR, 2006).

É o único tratado internacional que estipula reduções obrigatórias de emissões de gases causadores do efeito estufa, o documento foi ratificado por 168 países, porém os Estados Unidos, maior emissor mundial e a Austrália não fazem parte do Protocolo de Quioto. O Protocolo estipula que os países desenvolvidos com metas de redução de emissões devem fixar seus objetivos junto aos maiores emissores dentro de seus territórios, conforme objetivos que lhes foram atribuídas pelo Protocolo e, depois, serão fixadas pelo governo local pelo seu plano de emissões.

Com o ingresso do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), as empresas que não atingirem (ou não quiserem) reduzir suas emissões poderão adquirir (RCE) Reduções Certificadas de Emissões, em outros países em desenvolvimento (que tenha gerado projeto redutor de emissão de GEE) e usar esses certificados para atingir suas obrigações.

Os países em desenvolvimento devem utilizar o MDL, para incentivar seu desenvolvimento sustentável, além de favorecerem a entrada de dinheiro por causa das vendas de RCE para os países desenvolvidos (BOLSA DE MERCADORIAS E FUTUROS - BM&F, 2008). Os projetos que certificam a qualidade de projeto de MDL devem preencher uma série

de requisitos até receber a rubrica da ONU, pelo Conselho Executivo do MDL, órgão superior na verificação e validação de projetos de MDL.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

A formulação teórica, para a realização deste trabalho, está fundamentada nas definições e fundamentos da teoria do custo e da produção. Para maiores detalhes, este referencial teórico está baseado em leituras da produção e dos custos, balizadas em autores como Roger Leroy Miller (1981), Américo Florentino (1983), Eliseu Martins (1987), Nali de Jesus de Souza (1997), Paul A. Samuelson e William D. Nordhaus (2004) e Paul Krugman e Robin Wells (2009).

5.1 Custos de produção

A Teoria dos Custos de Produção envolve a quantidade real do produto com o valor dos fatores de produção, enquanto a Teoria da Produção cuida do parâmetro técnico entre a quantidade do produto e de fatores de produção, ou seja, a Teoria da Produção cuida somente de relações reais, enquanto a Teoria dos custos de produção cuida, também, do valor dos insumos.

A Produção e os Custos de Produção exercem função preponderante, pois servem de base para o exame das relações entre custos e produção em uma economia moderna, cuja tecnologia e métodos produtivos evoluem diariamente. A relação entre custos e a produção é preponderante, no exame da Teoria da Formação dos Preços, bem como serve de apoio para o julgamento na busca da empresa quanto aos meios de produção que são usados: para fabricar bens, as empresas estão sujeitas à oferta de meios de produção.

Produção é o processo de alteração da matéria-prima comprada pela empresa, em um novo produto, para a venda no comércio, é importante ressaltar que a definição de produção não se relaciona somente a bens materiais, mas também à prestação de serviços, como comércio, atividades financeiras, transporte e outras atividades.

O custo de produção é definido como a somatória de valores de todos os recursos (insumos) e intervenções (serviços), usados no processo produtivo de determinada atividade, para a estimativa dos custos de produção. Aprecia-se todo o processo e insumos, contidos na produção de certa atividade, mais o custo alternativo da utilização dos recursos, dentro de determinado período necessário, em que se tenham os resultados em forma de produto final.

A implantação do custo de produção inicia-se pela realização do levantamento patrimonial da ETE, porém boa parte dos custos está na depreciação das benfeitorias, máquinas e equipamentos usados no tratamento do esgoto e nas taxas de pagamentos aplicadas sobre o capital circulante, benfeitorias, máquinas e equipamentos. O levantamento será iniciado pela pesquisa de campo, para relacionar e avaliar os seguintes dados: área total

da Estação de Tratamento, maquinário usado, construção civil e estado de conservação, entre outros.

Quando se analisam estes custos, deve-se observar o prazo, período gasto para a produção de certa atividade e, ainda, separar em curto e em longo prazo, os quais são mais para efeito de estruturação e refere-se a um período de tempo no qual a empresa pretende expandir. O curto prazo é o menor tempo necessário, para concluir a prestação de serviço, sendo caracterizado como o período entre o bom emprego dos recursos e a sua efetivação em figura de produto; é o período de implantação para obtenção de energia elétrica.

Ao se levar em consideração o longo prazo, verifica-se um período em que as aplicações dos recursos usados demoram mais para fazer seu retorno em curto prazo, os recursos usados nas empresas são considerados em fixos e variáveis, em longo prazo, todos os recursos são variáveis.

Para entendermos o custo de produção, são necessários a definição de alguns custos, elementos que formam o gasto na produção. Os custos fixos (CF) são aqueles em que as quantidades não modificam quando o produto muda. Por exemplo: as estruturas físicas da empresa e a sua metodologia (know-how), que são elementos que só são alterados em longo prazo e que não se ligam totalmente ao produto em curto prazo, fazendo-o enquanto permitir a vida útil do biodigestor. Constitui-se em recursos que dificilmente serão alterados em curto prazo e independem da variação do volume produzido.

Em outro giro, existem os custos variáveis (CV) que são aqueles em que os volumes usados mudam quando a quantidade de produção muda. Por exemplo: quando cresce a produção, são necessários mais trabalhadores e maior quantidade de matérias-primas. E se referem aos recursos com duração inferior ou igual ao curto prazo, o qual se agrega totalmente ao produto, sendo a sua composição feita no processo produtivo.

A soma dos custos fixos e variáveis representa o custo total (CT) que nada mais é que todos os custos, durante o período de implantação da tecnologia, para produzir certa quantidade de energia elétrica. Outra classificação, importante para a análise, divide-se em custo alternativo ou de oportunidade e custo operacional (Cop) e, para facilitar as análises, apuram-se os custos médios.

O custo alternativo é definido como sendo o retorno que o capital usado na prestação de serviço estaria proporcionando, se fosse aplicado em alternativas, seja ele serviço monetário ou financeiro. Sua apreciação, por comparações com alternativas de uso do capital, admite verificar a viabilidade econômica da atividade em questão. O indicador mais comum, para a obtenção do custo alternativo, é a utilização de uma taxa de juros.

O custo operacional (Cop) é o custo de todos os insumos que exigem aplicação financeira de capital por parte da empresa, para a sua recomposição, incluindo as depreciações dos recursos fixos e gastos com insumos e mão de obra. Somando-se o custo operacional ao custo alternativo, obtém-se o custo econômico. O custo operacional é dividido em custo operacional fixo (CopF), composto pelas depreciações e custo operacional variável (CopV), constituído pelos desembolsos.

O custo operacional total (CopT) é a soma do custo operacional fixo total (CopFT) e operacional variável total (CopVT). A finalidade dos custos operacionais na apreciação é a opção de decisão, em situações cujas respostas financeiras sejam inferiores às de alternativa, representada pelos custos de oportunidade. Neste sentido, ainda podem fazer importantes interpretações com base neste tipo de custo. O custo médio (CMe) é apurado quando se divide o custo almejado pela quantidade (q) de energia gerada (produto) naquela ETE estudada.

5.2 Análises econômicas simplificadas

Os custos são usados para conferir como e se os recursos utilizados, em um processo de produção, estão sendo recompensados, possibilitando, também, verificar como está o ganho da atividade em questão, comparada a outras possibilidades de utilização do capital e tempo. Os efeitos das situações de negócio e ganho da atividade produtiva são calculados pelo valor do produto ou pelo lucro médio e este lucro pode ser avaliado pelo preço do produto mais o valor médio das vendas de subprodutos, confrontando-se o lucro médio ou ganho com os custos totais médios tem-se o diagnóstico econômico da atividade em questão por unidade produtiva (KW/h).

Para isso, pode ser usado um modelo de análise que constata se o empreendimento está operando com lucro. O lucro supernormal (LSN) é uma situação em que a atividade está obtendo retornos maiores que as melhores alternativas possíveis de emprego do capital, indicando que a empresa pode expandir em médio ou em longo prazo. Ocorre, quando a receita média ou o preço é superior ao custo total médio, o lucro supernormal também é denominado lucro econômico. Em se tratando de lucro normal (LN), sugere-se que a atividade está obtendo retornos iguais aos que seriam obtidos nas melhores alternativas possíveis de emprego dos recursos. Significa estabilidade, conservando o nível de produção em curto e em longo prazo; essa situação é obtida quando a receita média ou preço for igual ao custo total médio.

O lucro normal é o próprio custo alternativo ou de oportunidade, quando o valor do produto ou o ganho médio da atividade não garantir os custos totais médios; pode-se utilizar o

custo operacional, para análise da rentabilidade do empreendimento, utilizando-se, assim, o conceito de resíduo (RS). Se a renda média ou o preço for maior que o custo operacional total médio, a atividade apresenta resíduo positivo. Ainda se trata de um retomo, mesmo que inferior aos possíveis de se obter em outras melhores alternativas. Indica que a empresa está sustentando todos os custos fixos, variáveis e operacionais, mas rendendo menos que o valor alternativo (ou de oportunidade).

Caso o preço seja igual ao custo operacional total médio, o resíduo é nulo. Neste caso, a atividade cobre todos os custos operacionais, mas não proporciona a remuneração do capital empatado na atividade. Uma atividade, nesta situação, não se pode sustentar por muito tempo. Se o preço é menor que o custo operacional total médio, mas ainda superior ao custo operacional variável médio, a atividade está cobrindo todos os custos operacionais variáveis (as despesas de giro) e apenas uma parte do fixo (depreciações). Nesta situação, o empreendimento pode sustentar-se só em curto prazo, não levando em conta a remuneração do capital e a reposição de parte dos recursos fixos, é um processo de descapitalização.

Se o preço é igual ao custo operacional variável médio, a atividade cobre as despesas de custeio com recursos variáveis, sustentando-se por pouco tempo, tendendo a mudar de ramo se a situação assim permanecer. Se o preço for menor do que o gasto operacional variável médio, então a atividade, para garantir os gastos de custeio com recursos variáveis, os quais são obrigatórios em curto prazo, terá de injetar recursos de outras fontes, o que se trata de subsídio à atividade.

5.3 Pontos de nivelamento e resíduo

O ponto de produção, em que determinada atividade tem seu custo total igual ao seu ganho total, indica o ponto de nivelamento (q_n) e de resíduo (q_r), ele mostra o ponto mínimo de produção além do qual a atividade daria lucro econômico (ou resíduo positivo). O ponto de nivelamento, em que se localiza o lucro normal, é o ponto cujo ganho total é igual ao custo total ($RT = CT$). O ponto de resíduo é localizado onde o resíduo é nulo e, neste ponto, o ganho total é igual ao custo operacional total ($RT = CopT$).

As estimativas de q_n e q_r autorizam uma avaliação da conjuntura presente estudada, com possíveis circunstâncias de racionalização ou os caminhos de se chegar a elas, também, é possível verificar claramente a produção de cobertura, que indica a quantidade de energia elétrica produzida para cobrir todos os custos. Tem-se produção de cobertura total (pct), quando a produção total cobre todos os custos e produção de cobertura operacional ($pcop$), cujos custos operacionais são cobertos pela produção geral.

6 METODOLOGIA

Neste tópico, será abordada a metodologia de pesquisa, a abordagem da pesquisa, tipo de pesquisa, método de pesquisa, universo, amostra, amostragem, coleta de dados e análise de dados escolhida para a discussão e análise do tema deste trabalho.

Segundo Gil (2002), o estudo é considerado como Exploratório, já que se dedica ao estudo de tema, no qual ainda não existem muitos trabalhos publicados. Quanto ao delineamento, optou-se pelo Estudo de Caso, haja vista que versa sobre um estudo aprofundado e esgotante de um ou alguns objetos, de forma que possibilite seu extenso e minucioso conhecimento. A pesquisa pela complexidade de generalização da análise está fundamentada, em um único modelo, entretanto possibilita a projeção e aplicação prática dos resultados.

6.1 Abordagens da pesquisa

A abordagem da pesquisa é quantitativa, visto que a análise do problema será realizada com base em fontes primárias e secundárias e serão adotados métodos matemáticos para estudar a amostra selecionada.

Para Mattar (2001, p. 53)

[...] a pesquisa quantitativa busca a validação das hipóteses, mediante a utilização de dados estruturados, matemáticos, com análise de um grande número de casos representativos, recomendando um curso final da ação. Ela quantifica os dados e generaliza os resultados da amostra para os interessados.

Segundo Richardson et al. (1989), a pesquisa quantitativa é caracterizada pelo emprego da quantificação, tanto nas modalidades de coleta de informações quanto no tratamento delas por meio de técnicas estatísticas.

Na pesquisa quantitativa, a determinação da composição e do tamanho da amostra é um processo no qual a estatística tornou-se o meio principal. Como, na pesquisa quantitativa, as respostas de alguns problemas podem ser inferidas para o todo, então, a amostra deve ser muito bem definida; caso contrário, podem surgir problemas ao se utilizar a solução para o todo (MALHOTRA, 2001).

A pesquisa quantitativa foi selecionada, para a análise neste trabalho, com o propósito de que se pudesse confrontar dados documentais, a fim de conseguir avaliar, de forma coerente, a possibilidade de se gerar energia elétricos por biogás produzido pela ETE de Varginha.

6.2 Métodos de pesquisa

O presente trabalho usará o método a pesquisa de campo, visto que os dados de coleta do biogás gerado na ETE como: vazão do afluente, a porcentagem de metano presente no biogás gerado no reator UASB da ETE serão coletados na estação de tratamento de esgotos de Varginha.

O investigador, na pesquisa de campo, assume o papel de observador e explorador, coletando diretamente os dados no local (campo) em que se deram ou surgiram os fenômenos. O trabalho de campo se distingue pela relação direta com o elemento do estudo (BARROS; LEHFELD, 2000).

A pesquisa de campo consiste na coleta direta de informação, no local em que acontecem os fenômenos, é aquela que se realiza fora do laboratório, no próprio terreno das ocorrências. “Não se deve confundir pesquisa de campo com coleta de dados, pois a coleta é imperativa, em qualquer pesquisa, porém, na pesquisa de campo, os dados são coletados in loco, com objetivos pré-estabelecidos, discriminando suficientemente o que é coletado” (SILVA, 2008, p. 35).

É aquela usada com a finalidade de obter informações e conhecimentos sobre um problema, na busca de uma resposta, ou de uma suposição, que se queira comprovar ou, ainda, encontrar novos fenômenos ou as semelhanças entre eles (ANDRADE, 2000, p. 5).

A pesquisa de campo foi definida como método de pesquisa, pois é mais abrangente e consegue atender as necessidades do trabalho.

6.3 Universo e Amostra

Martins (2008) explica que o universo é o conjunto de pessoas, objetos que possuem determinada característica em comum definidas para o estudo, a amostra é uma parte desse conjunto. O universo de pesquisa selecionado foi o conjunto de equipamentos do sistema de tratamento anaeróbio de esgotos (UASB) da ETE - Santana em Varginha/MG, visto que todos os dados coletados para este trabalho serão extraídos nesse local.

A Estação de Tratamento de Esgotos está localizada a 21° 33' S e 45° 25' W, no perímetro urbano de Varginha. O entorno caracteriza-se por três bairros residenciais (Rezende, Atlântico Sul e Centenário), pelo Ribeirão Santana e pelo Rio Verde e o local é administrado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA, responsável pela distribuição de água tratada, coleta e tratamento dos esgotos produzidos na cidade.

A amostra de pesquisa será o reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB) que faz parte do conjunto de equipamentos do sistema de tratamento anaeróbio de esgotos.

Beuren et al. (2008) ressaltam que a denominação de um conjunto de elementos que possuem características iguais, e a amostra é um subconjunto dele. O reator UASB foi definido como a amostra do universo de pesquisa, visto que o biogás gerado na ETE é produzido pelas bactérias heterogêneas inseridas no seu interior.

6.4 Coletas de dados

A técnica adotada, para este trabalho, será coleta de dados e a pesquisa documental; a técnica de coleta de dados será adotada, já que pode ser por meio de elementos impressos como arquivos históricos, revistas, jornais, livros, diários, biografias, dados estatísticos.

“Os escritos, na maior parte das vezes, são muito abundantes e auxiliam o pesquisador a não desperdiçar tempo à procura por material em campo, observando que, em determinadas situações, só é possível à investigação social por meio de documentos” (GIL, 1995, p. 158).

A pesquisa documental, também, compõe a etapa de coleta de dados, pois os dados serão fornecidos pela empresa que administra a ETE e serão usados para agregar informações ao trabalho: a tabela de controle de vazão e composição do biogás da estação de tratamento de esgotos (ETE- SANTANA).

A coleta de dados desta pesquisa será realizada para vincular documentos e provas, procurar informações sobre um determinado assunto, relacionando-os e agrupando-os de maneira a promover uma futura análise. Os dados informados pela empresa e a análise documental, além de visitas de campo serão analisados com o intuito de levantar informações e, dessa forma, comparar com os dados encontrados na pesquisa documental e no referencial teórico.

6.5 Análises de dados

O tipo de análise escolhida, para compilar os dados coletados, será análise de conteúdo, visto que será realizada uma análise dos dados fornecidos pela empresa e as informações coletadas na pesquisa de campo, a fim de confrontar os dados coletados com o referencial teórico realizado.

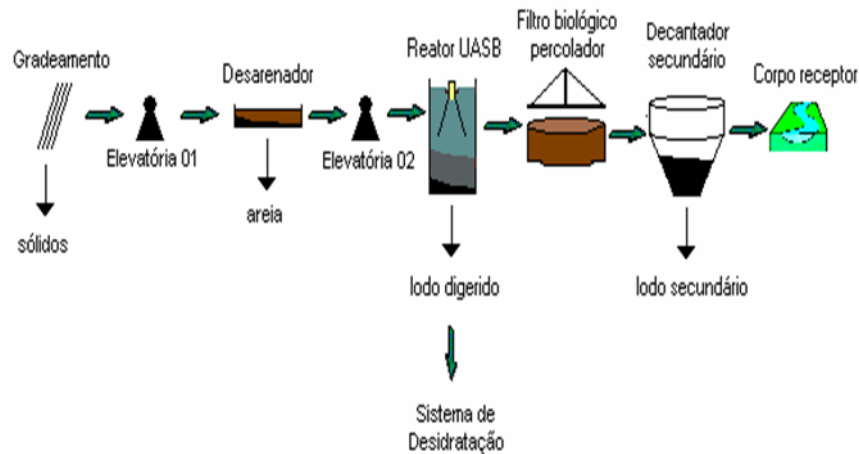
Segundo Appolinário (2006), a finalidade da técnica análise de conteúdo é buscar o significado de dados, obtidos em materiais textuais, como: artigos de revistas, prontuários de pacientes de um hospital, transcrição de entrevistas realizadas com sujeitos, individual ou coletivamente.

[...] tem o propósito de contar a frequência de um fenômeno e procurar identificar relações entre os fenômenos, sendo que a interpretação dos dados se socorre de modelos conceituais definidos a priori. Costuma-se denominar o conjunto destas técnicas de Análise de Conteúdo (ROESCH, 2005, p. 169).

De acordo com Martins (2008), a análise de conteúdo é utilizada no estudo e apreciação de maneira objetiva, sistemática e quantitativa, cuja técnica auxilia no processo de descrição e compreensão do material escrito coletado, pesquisa documental e pesquisas de campo que compõem o caso sob estudo.

A análise de conteúdo permitirá uma apreciação mais abrangente dos dados coletados, porque une a documentação fornecida pela empresa, pesquisa de campo e o referencial teórico pesquisado e as categorias usadas para a análise de conteúdo serão: as intempéries que influenciam na geração de biogás, o volume produzido para a obtenção de energia elétrica, a influência do gás sulfídrico no potencial energético do gás gerado.

Figura 7 - Modelo de estação de tratamento seguido em Varginha.



Fonte: Copasa (2011)

Para o reator UASB dimensionado para o final de plano, foram previstas oito unidades de reatores, cada qual com três câmaras conjugadas. Na primeira fase, funcionarão apenas quatro unidades, que operarão em paralelo, dispondo das principais características geométricas em cada câmara de reator (COPASA, 2011). Os reatores UASB da ETE Santana possuem forma retangular e cada um possui 5,00m de altura (altura útil de 4,5m) e um volume útil de 605,43 m³.

Além disso, cada câmara disposta no reator possui 21,70 m de comprimento e 6,20 m de largura, o reator UASB, atualmente, tem um volume total de 4.843,4 m³ (tendo 4 reatores e 12 câmaras), mas o volume total, para final do horizonte de projeto (10 anos), é de 9.686,9 m³ (operando com 8 reatores e 24 câmaras). Esses valores foram definidos por meio dos cálculos

para dimensionamento de reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (COPASA, 2011).

6.6 Visita à Estação de Tratamento de Esgoto

Foram realizadas, no período entre abril e outubro de 2016, visitas técnicas à sede Distrital da Copasa, na cidade de Varginha/MG, em seus laboratórios e na Estação de Tratamento de Esgoto, para o levantamento dos dados que subsidiaram o estudo de viabilidade econômica.

Figura 8 - Reatores UASB - ETE Santana/Varginha.



Fonte: Copasa (2011)

Os dados informados foram disponibilizados, respectivamente, pelo Gerente Distrital Dr. Marco Aurélio Resende, pelo Dr. Carlos Coelho responsável Técnico pelo laboratório de análises e pelo Encarregado de operações da ETE, Sr. Paulo Henrique Batistão, sendo os seguintes dados (Tabela 2).

Tabela 2 - Dados ETE – Santana/Varginha (2016).

Área total	150.0000 m²
Total de Esgoto Tratado	180 l/seg.
Volume de Biogás Produzido	1.850 m ³ /dia
Concentração de Metano	70%
Valores de Equivalência	1m ³ Biogás = 1,43 kWh e 1 kWh = R\$0,76
Consumo de Eletricidade	43.400 kWh/mês
Custo de Eletricidade	R\$ 32.984,00
Estimativa de Produção	79.365 kWh/mês
Estimativa de Receita	R\$ 60.314,40
Funcionários	04

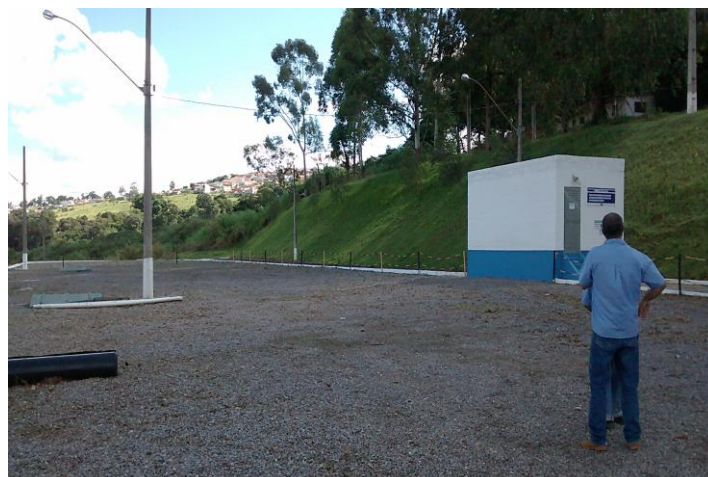
Fonte: Copasa (2011).

Figura 9 - Queimadores da ETE Santana



Fonte: Copasa (2011).

Figura 10 - Área passível de Instalação dos Equipamentos.



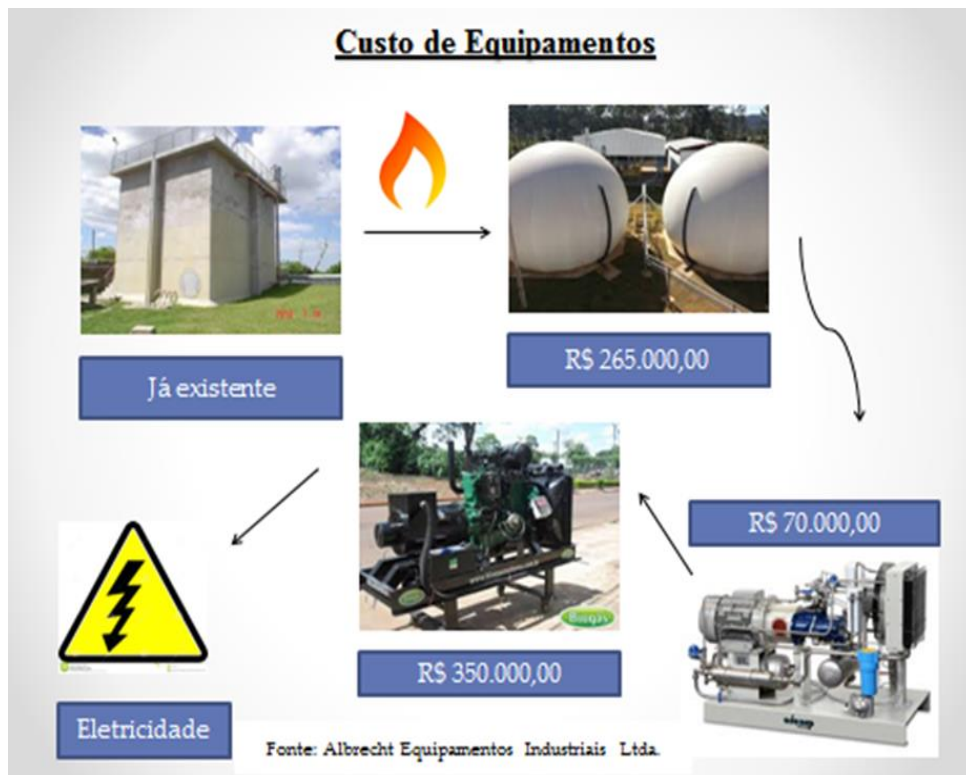
Fonte: Copasa (2011).

6.7 Custos de Implantação

Foram realizadas as pesquisas do custo dos principais equipamentos, utilizados na implantação técnica, seguida neste trabalho, em relação à ETE. Foram utilizadas informações obtidas por contato telefônico e via correio eletrônico (e-mail) com a empresa ER-BR BIO – Energias Renováveis Ltda., localizada em Londrina /PR, entretanto, para o custo com o conjunto moto gerador (Motor de Combustão Interna - MCI), foram utilizados os valores de R\$/kW elaborado por Valente, Padilha e Silva (1997).

A Figura 11 mostra os custos de aquisição dos equipamentos fundamentais, propostos na linha de biogás, de acordo com a atual população de 132.353 habitantes da cidade de Varginha.

Figura 11 - Custo com equipamentos.

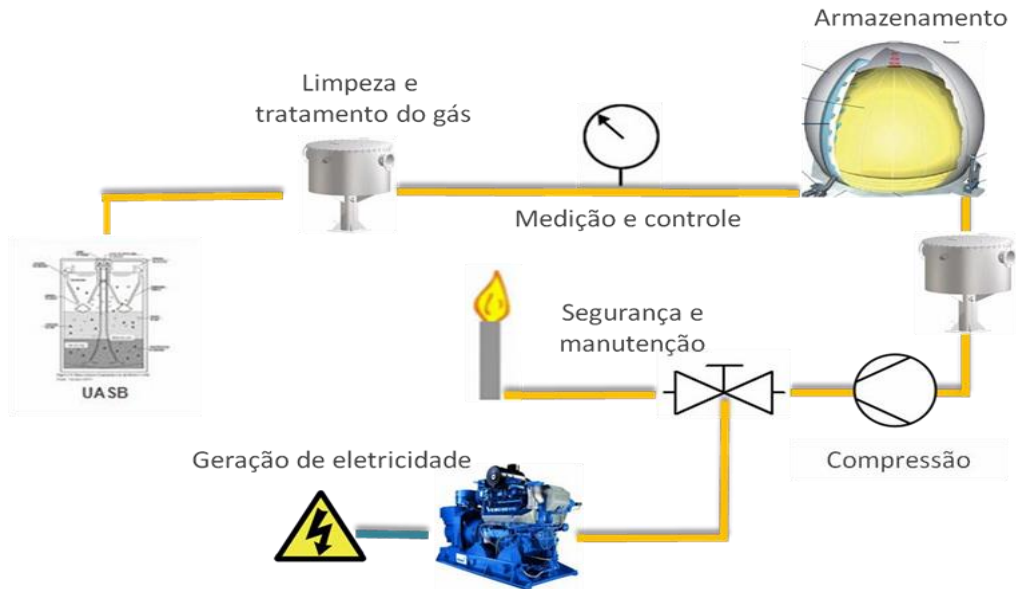


Fonte: Do autor (2017).

O levantamento dos equipamentos básicos usados, para a geração de energia elétrica, a partir do biogás, é: compressor, gasômetro, filtro dessulfurizador e conjunto motogerador (MCI) e seus respectivos custos, não levando em conta os custos com pequenas obras civis de adaptação, instalações elétricas, tubulações e manutenções.

O estudo considera o uso do biogás apenas como fonte, para a geração de eletricidade na Estação de Tratamento de Esgoto. Observam-se de forma simples, na Figura 12, as etapas necessárias para a geração de energia elétrica para este trabalho¹.

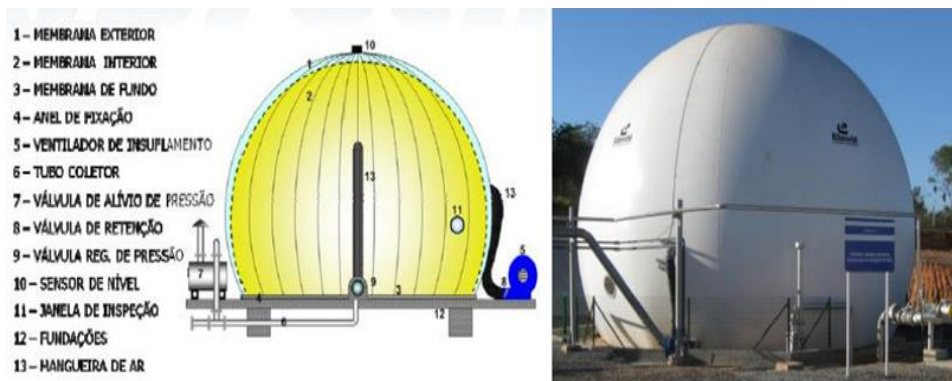
Figura 12 - Esquema simplificado.



Fonte: Do autor (2017).

O biogás produzido nos digestores é conduzido para o sistema de regularização e cumulação de vazão, denominado de gasômetro, sendo idealizado o do tipo esférico de dupla membrana (Figura 13).

Figura 13 - Gasômetro de dupla membrana.



Fonte: Albrecht (2015).

¹ ER - BR. BIO. Informações obtidas por meio de comunicação via e-mail, no dia 16 de Janeiro de 2016. ER-BR Energias Renováveis. Londrina/PR. 2016.

Prosseguindo, o biogás passa por um compressor, com a intenção de garantir uma vazão apropriada de entrada no conjunto motogerador (MCI); uma linha de gás paralela à principal depois do compressor funciona como auxílio ao sistema, caso haja excesso na produção de biogás e/ou manutenção, sendo este queimado em chaminés. Para conversão do biogás em energia elétrica, tomou-se por base um conjunto motogerador ciclo Otto (MCI) a biogás, pois tem melhor desempenho na transformação da energia térmica em elétrica, sendo este equipamento considerado na maioria dos projetos pelo mundo (WEITHÄUSER et al., 2010).

6.8 Custos do motogerador

De acordo com Alves (2015) e, em pesquisa realizada pela própria COPASA, na elaboração de projeto, em andamento, de aproveitamento energético do biogás para a ETE Ibirité (informação obtida pessoalmente), ficou demonstrada a eficácia do motogerador (MCI) superior uma vez e meia em relação às demais Turbinas e Microturbinas.

Para este estudo, consideramos um conjunto motogerador no valor de R\$ 350.000,00 com potência útil de 71,39 kW, pois, segundo pesquisa de preços de distintas marcas e modelos para motogeradores com potência entre 50 e 1200 kW, optou-se pelo modelo produzido pronto para o uso de biogás e não motores adaptados (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997).

6.9 Custos com linha de biogás

Para equipamentos para retirada de umidade, impurezas, armazenamento e compressão do biogás, foi feita tomada de preços também junto à empresa ER – BR BIO, pelo fato de que, após pesquisar junto às empresas de serviço de saneamento que possuem projetos de aproveitamento do biogás em operação ou em fase de implantação, a empresa ER-BR BIO foi mencionada em todos os casos. Assim, embora sendo uma única amostra de preço, levam-se em conta que os mais perto da realidade no Brasil e, portanto apropriados para o estudo em tela.

6.10 Custos com sistema de segurança e medição

É necessária a utilização, nos dutos de condução do biogás, de medidores de vazão e concentração, sendo esses equipamentos para monitorar a produção e qualidade do gás produzido no reator UASB, assim como o teor do metano após a filtragem.

Figura 14 - Medidor de vazão Vortex.



Fonte: Do autor (2017).

Figura 15 - Analisador de gases.



Fonte: Do autor (2017).

O sistema de medição da vazão de biogás é constituído por uma unidade de medição de temperatura e de pressão, já o analisador de gases faz a medição do teor de concentração de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), oxigênio (O_2) e ácido sulfídrico (H_2S), sendo os preços destes equipamentos obtidos junto aos seus fabricantes (MESSTECHNIK..., 2015; UNION, 2015).

Tabela 3 - Custo equipamentos de medir vazão e concentração de biogás.

Custo dos equipamentos de medição do biogás	
Registro de vazão Vortex	R\$ 23.264,00
Analizador de Gases	R\$ 21.763,00

Fonte: Do autor (2017).

Para linha paralela de gás, usada unicamente, quando o sistema de geração encontrar-se em reparos ou houver excesso de biogás, os preços foram estimados junto à empresa Fokal (QUEIMADOR..., 2011). Além dos queimadores, foram consideradas, ainda, válvulas corta-chamas e de alívio, um selo hidráulico de segurança, medidor de vazão e transmissor de pressão (TABELA 4).

Tabela 4 - Os custos linha paralela de gás.

#	Equipamento	Diâmetro	R\$
1	Queimador	2"	26.100
2	Selo Hidráulico	2"	9.000
3	Corta-chamas	2"	8.000
4	Válvula Alívio	2"	4.000
5	Medidor Vazão	N/A	18.000
6	Transmissor Pressão	N/A	6.600

Fonte: Queimador... (2011)

6.11 Custos com projeto e obra

Os custos do projeto de engenharia, obras civis e montagem dos equipamentos foram todos seguidos, a partir de uma fração do custo de capital, que será investido para compra dos equipamentos, por ser um projeto teórico. Julgou-se difícil calcular esses dados ou obtê-los, com base na literatura, já que são bastante específicos.

Cabe ressaltar que a ETE (edificação/construção) não foi avaliada como custo de capital, já que ela já está construída e já dispõe de tubos, dutos e cabos em seu almoxarifado, além do espaço físico para instalação dos equipamentos; os projetos de engenharia e as obras civis são então para pequenas adequações no reator UASB, para assegurar que não haverá vazamento de biogás e a sua devida coleta, e o remanescente, para recuperação de biogás, será basicamente os equipamentos antes descritos, sistema de controle e segurança.

6.12 Custos com energia elétrica

No estudo do cálculo de viabilidade econômica, precisa-se ter informação sobre o gasto elétrico da Estação, para o tratamento do esgoto, já que vai se estimar teoricamente a energia produzida, por meio do biogás, que poderá ser parcial ou totalmente consumida na própria ETE. Neste estudo, será avaliado se toda a energia produzida deve ser utilizada, para consumo próprio e, se excedente, assim, a despesa com a energia elétrica pode ser reduzida do valor da tarifa cobrada pela companhia de energia e seu excedente lançado na rede, tendo como parâmetro as definições de centrais geradoras de energia elétrica, segundo as resoluções normativas 482/2012 e 687/2015 da ANEEL².

É utilizado um conjunto de três bombas de potência de 67,56 CV cada, ou 49,7 kW, que funciona de forma alternada no sistema elevatório, no tratamento preliminar e na iluminação interna da Estação, que é desprezível, porque o consumo elétrico total, no mês de outubro de 2016, foi de 43.400 kWh, e o valor pago pela energia elétrica foi de R\$ 32.984,00.

6.13 Custos de operação e de conservação

Os custos de operação avaliados são essencialmente os com mão de obra e conservação, mas como a ETE já dispõe de seus operadores, considerou-se um aumento no quadro de funcionários, em número de dois, apenas para o controle e manutenção básica dos equipamentos da unidade de recuperação energética.

Os contratos realizados pela prestadora consideram, normalmente, que a manutenção dos equipamentos é de responsabilidade do fornecedor, principalmente, o conjunto motogerador (MCI). Sendo assim, a mão de obra, apesar de ser pouco qualificada, não operará diretamente na manutenção dos equipamentos mais complexos. Por isso, avaliou-se um custo mensal por funcionário, incluindo salário, encargos e benefícios de R\$ 3.500,00, além de 13º salário (COPASA, 2011).

6.14 Indicadores para Financiamento

Foram pesquisados indicadores, para financiamento do projeto, que pode ser exclusivamente com recursos próprios por parte da empresa ou de instituição financiadora, que irão considerar a sua duração, os juros, a razão da dívida e o prazo. Todavia, para este estudo, foram seguidos valores utilizados pelo mercado financeiro.

² FOKAL. Informações obtidas por meio de conversa telefônica e e-mail no dia 30 de Setembro de 2016. Fokal Soluções Industriais. Cotia, São Paulo. 2015.

O período de duração do projeto foi estimado em quinze anos, estimando o prazo de amortização, segundo a Instrução Normativa nº 39 (BRASIL, 2012), que estipula um período de vinte anos praticado no “Programa Saneamento para Todos”, para obras de saneamento (esgotamento sanitário, abastecimento de água, manejo de águas pluviais e saneamento integrado) e de até 10 anos, para recuperação de mananciais, desenvolvimento institucional e preservação.

Então, o panorama financeiro, para projetos de recursos energéticos alternativos e aproveitamento do biogás, adotado foi um período de dez anos de financiamento e mais cinco anos, para comprovação do fluxo de caixa, após o prazo final de amortização. A relação de quanto se deve a cada mês em comparação ao quanto se recebe é a razão da dívida, ou seja, mostra o total pago por meio de empréstimo.

Em negociações com o poder público, o valor de correspondência mínima é de 5% do valor investido e, em negociações com o setor privado, esse valor sobe para 20% (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2013), então, preferiu-se, para este trabalho, usar um valor da dívida de 80%.

A taxa de juros cobrada é de 9% a.a., nos cálculos do financiamento é aquela cobrada pela Caixa Econômica Federal, sendo 1% referente ao risco de crédito, 2% sobre o saldo devedor e 6% definido à taxa nominal (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2013).

6.15 Cálculos de Viabilidade Econômica

O cálculo de viabilidade econômica de um determinado projeto nada mais é que uma análise dos valores despendidos em sua implantação e funcionamento, dos melhoramentos sociais, ambientais e econômicos gerados por ele, a viabilidade econômica está relacionada com os recursos financeiros disponíveis para execução do projeto. Tendo em vista as receitas que se esperam obter, foram utilizados os dados constantes da Tabela 2.

Prosseguindo para composição final teórica do custo total de implantação (CTI), foi considerada a soma dos valores dos equipamentos (VE), mão de obra de dois funcionários para operação dos equipamentos e serviços gerais de conservação (MOC), pela Fórmula 1 abaixo:

$$CTI = VE + MOC \quad (1)$$

6.15.1 Potencial de Energia Instalada

Para verificação da capacidade teórica instalada de produção de energia elétrica da ETE, ou seja, o quanto ela é capaz de gerar em energia elétrica (PEE), utilizamos o volume de biogás produzido por dia (VB^d) e o valor equivalente em Quilowatt hora dia ($VKwh^d$) (Fórmula 2).

$$PEE = VB^d \times VKwh^d \quad (2)$$

6.15.2 Receita Estimada com a Energia

Para verificação do valor teórico encontrado com a produção de energia elétrica oriunda do Biogás (VPE), ou seja, o quanto vale em reais a energia gerada, utilizamos a produção de energia elétrica encontrada acima (PEE) e o valor do quilowatt (VKW/MG) cobrado pela distribuidora de energia de Minas Gerais, tendo como parâmetro, para os cálculos realizados abaixo, segundo Nogueira (1986) e Sganzerla (1983), que o potencial energético de 1 m^3 de biogás equivale a 1,43 kWh e o valor de R\$ 0,76 do kWh em Minas Gerais (COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG, 2012).

$$VPE = PEE \times VKW \quad (3)$$

A depreciação não poderia deixar de ser considerada, pois é a perda de valor dos ativos imobilizados, ou seja, é que, ao longo do tempo, os itens adquiridos vão perdendo valor e, para este estudo, foi calculada a depreciação do bem em relação a sua vida útil, pela Fórmula 4.

$$DP = \frac{CTI}{VUB} \quad (4)$$

Sendo:

DP = Depreciação

CTI = Custo Total de Investimento

VUB = Vida Útil do Bem

Para melhor compreensão dos resultados obtidos quanto aos custos de produção, ao investimento para geração de energia e aos parâmetros financeiros, foi elaborada a Tabela 5.

Tabela 5 - Cálculos de Viabilidade Econômica.

Parâmetro	Valor	Unidade
Investimento Total	852.727,00	R\$
Gasto Elétrico na ETE	32.984,00	R\$/mês
Biogás Produzido	1.850	m ³ /dia
Valor Energia	0,76	R\$/kWh
Energia Estimada	79.365	kWh/mês
Energia Excedente	35.965	kWh/mês
Receita Estimada	60.314,40	R\$/mês
Receita líquida	27.330,40	R\$
Quitação financiamento	31	Mês
Vida Útil do Projeto	15	anos
Prazo Financiamento	10	anos
Taxa de Juros	9	% a.a.

Fonte: Do autor (2017).

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados coletados e seus respectivos valores, apresentados na Tabela 5, baseiam-se no levantamento entre os meses de Abril a Outubro de 2016, e os resultados alcançados nesta pesquisa, mostraram que:

A produção de Biogás disponível, para a aplicação energética da ETE Santana, foi estimada em 1.850 m³/d, o uso do biogás no saneamento pode melhorar a avaliação energética do setor diminuindo o custo com eletricidade, que hoje representam 2% da despesa total com energia elétrica.

O potencial teórico de geração de energia elétrica instalada na ETE Santana foi calculado em 79.365 kWh/mês, descontando a energia elétrica consumida, para o funcionamento da própria ETE de 43.400 kWh /mês. Temos um excedente teórico de produção de 35.965 kWh /mês, que pode e deve ser lançado na rede de distribuição, gerando receita mensal estimada em R\$27.330,40.

Isto é, podemos melhor verificar na tabela abaixo:

Tabela 6 - Demonstração dos Resultados

Produção de Biogás	55.500 m³/mês
Geração de Energia Elétrica	79.365 kWh/mês
Energia consumida na ETE	43.400 kWh/mês
Excedente da Produção	35.965 kWh/mês
Valor da Energia Excedente	R\$ 27.330,00
Retorno do Valor Investido	31 meses

Fonte: Do autor.

O tempo de retorno do capital investido será alcançado em 31 meses; para uma vida útil de 15 anos, o investimento mostrou-se viável.

Determinamos o ponto de nivelamento teórico como sendo aquele, depois de trinta e um meses do início da produção de eletricidade, pois nele o custo total é igual ao seu ganho total, ou seja, retorna o valor investido e, a partir daí, temos o ponto de resíduo ou resíduo positivo no qual a atividade daria lucro econômico.

A utilização do biogás na ETE reduzirá a emissão total de metano, diminuindo sensivelmente a emissão de poluentes e possibilitando a oportunidade, após procedimento administrativo, de uma receita futura advinda dos créditos de carbono.

Um projeto sustentável de geração de eletricidade aumentará o potencial energético, na área de saneamento, agregando um aumento da participação nas fontes renováveis de energia à matriz brasileira.

A destinação e o adequado tratamento dos esgotos impedirão o desenvolvimento de moléstias e a contaminação do meio ambiente, gerando a melhoria na saúde e na qualidade de vida das pessoas.

O estímulo à utilização de fontes renováveis de energia compensará e equilibrará os custos abrangidos com a implantação de projetos que busquem um melhor desempenho energético, a exemplo do estudo de caso nesta dissertação.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho procurou-se esclarecer o método de utilização do biogás, a partir do esgoto urbano, em relação à busca atual de novas fontes renováveis de energia para a matriz energética nacional. Constatou-se que a geração de energia com o biogás mostra resultados estimulantes, por contribuir economicamente com a geração de energia.

Usar o esgoto como fonte energética ajudará, na variação da matriz energética nacional, além de ocasionar a diminuição das emissões de gases poluentes e da contaminação dos mananciais de água. Dará condição econômica, para se tratar um volume maior de água e esgoto, ao apresentar uma fonte diferente de lucro no processo.

O estudo realizado aponta para o incentivo na utilização crescente desse processo no país, agregando o uso racional e eficiente da energia sustentável com o dos recursos naturais renováveis, aumentando, assim, o potencial energético.

A produção energética, a partir do uso de um subproduto do processo do tratamento do esgoto, é o fator econômico mais importante por agregar valor ao que se considera resíduo, cujo destino final é o descarte no meio ambiente.

Na conjuntura internacional, vemos as mais diversas propostas de aumento na aplicação de energias renováveis com uma constante diminuição na utilização dos combustíveis fósseis, redesenhando a produção, criando novas tecnologias e, neste aspecto, o desempenho da biomassa e do biogás será essencial.

Políticas públicas devem ser efetivamente implementadas para incentivar com mais vigor a utilização desta fonte alternativa de geração de energia.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Atlas da energia elétrica 2007**. Brasília: ANEEL, 2007. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 2 maio 2015.

_____. Resolução Autorizativa nº 1.482, 20 de agosto de 2008. Autoriza o Programa de Geração Distribuída com Saneamento Ambiental, como projeto piloto de implantação de geração distribuída, em baixa tensão, apresentado pela Companhia Paranaense de Energia - COPEL. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 20 ago. 2008a. Seção 1, p. 74.

_____. Resolução Homologatória nº 689, de 5 de agosto de 2008. Homologa o resultado provisório da segunda revisão tarifária periódica e fixa as Tarifas de Uso dos Sistemas de Distribuição – TUSD e o valor da Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica – TFSEE, referentes à CELESC Distribuição S.A. - CELESC. **Diário Oficial**, Brasília, DF, 8 ago. 2008b. Seção 1, v. 145, n. 152, p. 61.

AISSE, M. M. **Sistemas econômicos de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2000. 192 p.

ALBRECHT. **Cotação para equipamentos de acumulação, regularização de fluxo e tratamento de biogás e secagem**. Joinville: Albrecht Equipamentos Industriais, 2015.

ALLAN, R.N.; AVELLA, P. C. Reliability and economic assessment of generating systems containing wind energy sources. **IEEE Proceedings**, New York, v. 132, n. 1, p. 8-13, Jan. 1985.

ALMEIDA, A. A. A. SANTOS JÚNIOR, M. F. dos. **A geração de energia elétrica através de fontes renováveis e o mercado de créditos de carbono no Brasil: o caso das PCHs**. 2006. 57 p. Monografia (Especialização em Eficiência Energética na Indústria) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ALVES, C. A. et al. Adsorção multicomponente de CO₂ e CH₄ em carbono ativado para processos de purificação de biogás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., 2015, Campinas. **Anais...** Campinas; COBEQIC, 2015. p. 1-6.

ALVES, J. W. S. **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbica de resíduos**. 2000. 142 p. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

ALVES, J. W. S.; MANSO, S. M. **Inventário nacional de emissões de metano pelo manejo de resíduos**. São Paulo: CETESB, 1998. 62 p.

ALVES, M. C. M. et al. **Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: guia do profissional em treinamento: nível 2**. Salvador: ReCESA, 2008. 120 p.

ANDRADE, J. C. de. Química analítica básica: os conceitos ácido-base e a escala de pH. **Chemkeys**, Campinas, p. 1-6, 2000.

ANDRADE NETO, C. O. de. **Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários: experiência brasileira.** Rio de Janeiro: ABES, 1997. 299 p.

ANDRADE, M. A. N.; NINO, R.; RANZI, T. J. Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. **Anais...** Campinas: AGRENER, 2002. p. 1-12.

APOLINÁRIO, F. **Metodologia da ciência: filosofia e prática da pesquisa.** São Paulo: Thomson, 2006. 209 p.

ASHOK, S.; BALAMURUGAN, P. Biomass gasifier based hybrid energy system for rural areas. In: IEEE Canada Electrical Power Conference, 2007, Montreal. **Proceedings...** Montreal: IEEE, 2007. p. 371-375.

AZEVEDO, M. et al. **Cogeração de energia utilizando o biogás do esgoto sanitário.** Medianeira: CEFET-PR, 2004. 156 p.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES. **Financiamento a empreendimentos (FINEM).** Brasília: BNDES, 2015. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/produtos/custos/juros/tjlp.asp>>. Acesso em: 13 nov. 2015.

BARBOSA, R. A. **Tratamento anaeróbio de esgoto sanitário em reator de fluxo ascendente com leito de lodo.** 1988. 242 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1988.

BARROS, A.; LEHFELD, N. **Fundamentos de metodologia científica.** 2. ed. São Paulo: Makron Books, 2000. 84 p.

BELL, M. **Guia técnico DWA-M 361: tratamento do biogás.** Germany: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, 2011. 10 p.

BEUREN, I. M. (Org.). et al. **Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prática.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 195 p.

BEURSKENS, L. W. M.; HEKKENBERG, M. **Renewable energy projections as published in the national renewable energy action plans of the European Member States.** Copenhagen: European Environmental Agency, 2011. 244 p.

BOLSA DE MERCADORIAS E FUTUROS - BM&F. **Mercado brasileiro de reduções de emissões.** Brasília: BM&F, 2008. Disponível em: <http://www.bmf.com.br/portal/pages/MBRE/mecanis_mo.asp>. Acesso em: 15 nov. 2015.

BORELLI, S.; CORTEZ, C.L.; PECORA, V. Biogás: uma alternativa energética sustentável. **Revista Petro & Química**, São Paulo, v. 28, n. 274, p. 66-70, jul. 2005.

BRASIL. **Declaração de Brasília: diretrizes e plano de ação para o desenvolvimento das energias renováveis solar, eólica e de biomassa no Brasil.** Brasília: Foro Permanente das Energias Renováveis, 1995. 39 p.

_____. Ministério das Cidades. Instrução Normativa nº 39, de 24 de outubro de 2012. Regulamenta os procedimentos e as disposições relativos às operações de crédito no âmbito do Programa Saneamento para Todos - Mutuários Públicos, instituído pela Resolução nº 476, de 31 de maio de 2005, e alterado pela Resolução nº 647, de 14 de dezembro de 2010, ambas do Conselho Curador do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço - FGTS, com suas alterações e aditamentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 out. 2012. Seção 1, n. 207, p. 84.

_____. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2007**: ano base 2006: resultados preliminares. Rio de Janeiro: EPE, 2007. 48 p.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Brasília: Caixa Econômica Federal, 2013. Disponível em: <http://downloads.caixa.gov.br/arquivos/sinapi/servicos_semdes_nov_2013/Servicos_RJ_NOV_2013_SEM_DESONER A%C7%C3O.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2015.

CASSINI, S. T. et al. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 196 p.

CASTRO, N. J. de; DANTAS, G. de A. Lições do PROINFA e do leilão de fontes alternativas para a inserção da bioeletricidade sucroalcooleira na matriz elétrica brasileira. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 30., 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Gesel, 2008. p. 1-23.

CENTRO NACIONAL DE REFERENCIA EM BIOMASSA - CENBIO. Biomassa é a energia do século 21. **Revista Brasileira de Bioenergia**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 1821, out. 2015.

_____. **Nota Técnica VII – Geração de energia a partir do biogás gerado por resíduos urbanos e industriais**. São Paulo: CENBIO, 2001. 11 p.

_____. **Nota Técnica VIII - Biogás e o mercado de crédito de carbono**. São Paulo: CENBIO, 2008. 20 p.

CHERNICHARO, C. A. de L. **Reatores anaeróbios de fluxo ascendente**. 2. ed. Belo Horizonte: DESA- UFMG, 2007. 359 p.

COELHO, S. T. et al. Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. **Anais...** Campinas: Agrener, 2006. p. 1-10.

_____. Instalação e testes de uma unidade de demonstração de geração de energia elétrica a partir de biogás de tratamento de esgoto. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. **Anais...** Campinas: Agrener, 2004a. p. 1-10.

_____. Projeto programa uso racional de energia e fontes alternativas - PUREFA. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. **Anais...** Campinas: Agrener, 2004c. p. 1-9.

_____. Relatório de Acompanhamento - "Relatório de Atividades do Projeto Programa de Uso Racional de Energia e Fontes Alternativas (PUREFA)". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 10., 2004, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBPE, 2004b. p. 1525-1536.

COHIM, E. et al. Perspectivas futuras: água, energia e nutrientes. In: GONÇALVES, Ricardo Francis (Coord.). **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. Vitória: ABES, 2015. Cap. 6, p. 295-350.

COLDEBELLA, A. et al. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bovinocultura de leite. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. **Anais...** Campinas: Agrener, 2006. p. 1-9.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS - COPASA. **Copasa Day**. Belo Horizonte: Copasa, 2011. Disponível em: <www.mzweb.com.br/Copasa/web/arquivos/_Apresent_SES-25112011_port.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2015.

_____. **Tratamento de esgoto**. Varginha: Copasa, 2010. Disponível em: <http://www.saneamento.com.br/tr_01.htm>. Acesso em: 21 set. 2015.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG. **Alternativas energéticas: uma visão Cemig**. Belo Horizonte: Cemig, 2012. 369 p.

COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. **Métodos de pesquisa na administração**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2003. 640 p.

COSTA, A. R. da; SILVA, N. F. da; GOMES, F. P. B. **Biodigestor**. Goiânia: Editora da PUC de Goiás, 1985. 44 p. (Cadernos de Pesquisa).

COSTA, D. F. da. **Geração de energia elétrica do biogás do tratamento de esgoto**. 2006. 194 p. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

COSTA, E. de S. **Proposta de protocolo para projeto de engenharia de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo**. 2009. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

COX, C.; DUGGIRALA, S.; LI, Z. Case studies on the economic viability of renewable energy. In: POWER ENGINEERING SOCIETY GENERAL MEETING, EDITED BY IEEE AND POWER ENGINEERING SOCIETY GENERAL MEETING, 2006, Chicago. **Proceedings...** Chicago: IEEE, 2006. p. 8.

DIAS, R. **Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**. São Paulo: Atlas, 2017. 248 p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco Energético Nacional 2006: ano base 2005**. Brasília: MME, 2006.

ETCHECOIN, C. Protocolo de Kyoto: passaporte das futuras gerações. In: **Cenbio Notícias**, São Paulo, v. 3, n. 8, p. 4, 2000.

FARRET, F. A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica.** Santa Maria: Editora da UFSM, 1999. 245 p.

FRANÇA JUNIOR, A. T. **Análise do aproveitamento energético do biogás produzido numa estação de tratamento de esgoto.** 2008. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2008.

FRARE, L. M. **Estudos para a implementação de uma planta para remoção de ácido sulfídrico de processos de produção de biogás.** 2006. 162 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA. **Manual de saneamento.** 3. ed. rev. Brasília: Ministério da Saúde, 2004. 408 p.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais: um estudo de caso na região de Toledo-PR.** 2003. 106 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Estratégia Organizacional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176 p.

_____. **Como elaborar projetos de pesquisa.** Atlas: São Paulo, 1995. 159 p.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira.** 2. ed. São Paulo: Harbra, 2002. 610 p.

GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento.** São Paulo: EDUSP, 1998. 226 p.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. Estudos Avançados, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 7-20, jan./abr. 2007.

GOLDEMBERG, M. **A arte de pesquisar:** como fazer pesquisa qualitativa em Ciências Sociais. Rio de Janeiro: Record, 2005. 556 p.

GUEDES, J. C. D. S. **Manual de tarifação da energia elétrica.** Rio de Janeiro: PROCEL, 2011. 56 p.

HUMMEL, P. R. V.; TASCHNER, M. R. B. **Análise e decisão sobre investimentos e financiamentos: engenharia econômica:** teoria e prática. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1995. 216 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2000.** Brasília: IBGE, 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/pnsb.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2015.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.** Cambridge: Cambridge Press, 2007. 996 p.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgoto doméstico**. 5. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 941 p.

KASTRUP, L. F. de C.; BERNARDI JÚNIOR, P.; GÜNTER, W. M. R. **Geração de energia limpa através da reforma de gás metano de aterros sanitários**. São Paulo: USP, 2006. 7 p.

LAKATOS, E. M. **Fundamento de metodologia científica**. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 1991. 231 p.

_____. **Fundamentos da metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 304 p.

LAMAS, W. Q. **Análise termo econômica aplicada a uma miniestação de tratamento de esgoto com autossuficiência energética**. 2007. 135 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2007.

LEITE, R. C. de C.; LEAL, M. R. L. V. O biocombustível no Brasil. **Novos Estudos**, São Paulo, n. 78, p. 15-21, jul. 2007.

LEMOS, M. C. et al. The use of seasonal climate forecasting in policymaking: lessons from northeast Brazil. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 55, n. 4, p. 479-507, Dec. 2002.

LIMA, F. P. **Energia no tratamento de esgoto: análise tecnológica e institucional para conservação de energia e uso do biogás**. 2005. 139 p. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

LORA, E. E. S.; SALOMON, K. R. Análise comparativa da utilização da biomassa com tecnologias convencionais de geração aplicando a eficiência ecológica. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Itajubá. **Anais...** Itajubá: UNIFEI/NEST, 2004. p. 1-10.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 720 p.

MARTINS, D. S.; ASSIS, E. G. Estudo de viabilidade econômica da implantação de um biodigestor em uma Granja de perus. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27., 2007, Foz do Iguaçu. **Anais Eletrônicos...** Foz do Iguaçu, 2007. p. 1-9.

MARTINS, O. M. **Utilização de um grupo motogerador alimentado com biogás obtido no tratamento de águas residuárias para geração de energia elétrica**. 2008. 66 p. Monografia (Graduação em Engenharia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing: edição compacta**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2001. 275 p.

MELLO JÚNIOR, A. G. de. O uso de motores de combustão interna a gás natural em substituição aos motores elétricos nas instalações de centrais de bombeamento de água. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 5., 2008, Salvador. **Anais...** Salvador: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2008.

MESSTECHNIK für Durchfluss, Massenstrom & Strömungsgeschwindigkeit. **Höntzsch**, Waiblingen, 2015. Disponível em: <<http://www.hoentzsch.com/de/produkte/detail/p/141-vortex-messrohr-va-di-zg1-ex-d/>>. Acesso em: 1 out. 2016.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Plano nacional de agroenergia**. 2. ed. rev. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110 p.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão: a alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1986. 135 p.

OLIVEIRA, P. A. V. de; HIGARASHI, M. M. **Geração e utilização de biogás em unidades de Produção de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 42 p.

OTTO, N. A. Motor otto: o resgate de uma era. **Museu do Motor**, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<http://www.mecânica.ufrgs.br/mmotor/otto.htm>>. Acesso em: 22 nov. 2015.

PALETTA, C. E. M.; FREITAS, M. A. V. de. **Medidas mitigadoras para a redução de emissões de gases de efeito estufa na geração termelétrica**. Brasília: ANEEL, 2000. 222 p.

PECORA, V. **Implementação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP: estudo de caso**. 2006. 152 p. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PEROVANO, T. G.; FORMIGONI, L. P. A. **Geração de energia a partir de subprodutos do tratamento de esgotos sanitários**. 2011. 63 p. Projeto (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

PHILIPPI JÚNIOR, A.; ROMERO, M. de A.; BRUNA, G. C. (Ed.). **Curso de gestão ambiental: volume 2**. Barueri: Manole, 2005. 1045 p.

PLATAFORMA ITAIPU DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. 2008. Disponível em: <<http://www.plataformaitaipu.org.br>>. Acesso em: 2 maio 2015.

POOLE, A. D. et al. **Conservação de energia e emissões de gases do efeito estufa no Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Eficiência Energética, 1998. 39 p. (Projeto BRA/95/G-31).

PREFEITURA MUNICIPAL DE VARGINHA. **Assessoria de planejamento**. Varginha: Prefeitura Municipal, 2015. Disponível em: <http://www.varginha.mg.gov.br/asplan_arquivos.htm>. Acesso em: 29 set. 2015.

QUEIMADOR KF. **Fokal**, Cotia, jul. 2011. Disponível em: <<http://www.fokal.com.br/noticias/250711.php>>. Acesso em: 1 out. 2016.

R. W. BECK & DISTRIBUTED UTILITIES ASSOCIATES. Review of utility interconnection, tariff and contract provisions for distributed generation. **A Report to the NARUC Committee on Energy Resources and the Environment**, Washington, p. 1-51, Jan. 2000.

RABONI, M.; TORRETTA, V.; URBINI, G. The future of biofuels for a sustainable mobility. In: WORLD SUSTAIN. FORUM, 3.; SCIFORUM ELECTRONIC CONFERENCE SERIES, 3., 2013, Ontario. **Proceedings...** Ontario: [s.n.], 2013.

RETSCREEN software. **Retscreen.net**, Canadá, 2005. Disponível em: <<http://www.retscreen.net/ang/centre.php>>. Acesso em: 5 mar. 2016.

RICHARDSON, R. J. et al. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1989. 334 p.

ROBRA, S. et al. Tecnologia e potencial de produção de energia a partir da biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos na Bahia. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 18, n. 4, p. 621-633, jan./mar. 2009.

ROESCH, S. M. A. **Projetos de pesquisa em administração: guia para estágios, trabalhos de conclusão, dissertações e estudos de caso**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2005. 312 p.

ROSS, C. E. H. The energy industry at the start of the new millennium. **Arthur D. Little**, Argentina, n. 3, p. 1-8, 1999.

SÁ JUNIOR, G. N. de; AZEVEDO, R. O. de. **Análise econômica-financeira para implantação de centrais termelétrica a gás no Brasil**. Itajubá: EFEI, 2001.

SANTOS, A. H. M. et al. **Conservação de energia: eficiência energética de instalações e equipamentos**. Itajubá: FUPAI, 2001. 596 p.

SANTOS, P. et al. **Guia técnico de biogás**. Portugal: Centro para a Conservação de Energia, 2000. 117 p.

SASSE, L. **DEWATS Decentralized Wastewater Treatment in Developing Countries**. Germany: BORDA, 1998. 160 p.

SCHWARTZ, L. **Distributed generation in Oregon: overview, regulatory barriers and recommendations**. Oregon: Public Utility Commission, 2005. 57 p.

SECRETARIA DE ESTADO DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL. **Bem vindo ao nicho águas urbanas**. Florianópolis: SDS, 2004. Disponível em: <<http://www.sds.sc.gov.br/saneamento/esgotamento.htm>>. Acesso em: 20 set. 2015.

SEIXAS, F. J. M. de.; PASCHOARELLI JUNIOR, D.; FARIA JUNIOR, M. J. A. Impacto da utilização de inversores em sistemas de geração distribuída sobre equipamentos rurais. In: CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO, 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CRESESB, 2005. (Coletânea de Artigos).

SGANZERLA, E. **Biodigestores: uma solução**. Porto Alegre: Agropecuária, 1983. 86 p.

SILVA, N. F. da. **Fontes de energia renováveis na expansão do setor elétrico brasileiro: o caso da energia eólica**. 2008. 263 p. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

SIMIC, Z.; MIKILICIC, V. Small wind off-grid optimization regarding wind turbine power curve. In: AFRICON, 2007, Windhoek. **Proceedings...** Windhoek: IEEE, 2007. p. 1-6.

SIMIONI, C. A. **O uso de energia renovável sustentável na matriz energética brasileira: obstáculos para o planejamento e ampliação de políticas sustentáveis.** 2006. 300 p. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS.

Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2007. Brasília: MCIDADES, 2009. 210 p.

SOUZA, J. de. Desempenho de um motor de combustão interna – ciclo Otto – operando com biogás e gás natural. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. **Anais...** Campinas: Agrener, 2004. p. 1-6.

SPIER, E. et al. Avaliação de conexão de produtores independentes em alimentadores radiais de sistemas de distribuição. In: SIMPÓSIO DE ESPECIALISTAS EM PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO E EXPANSÃO ELÉTRICA, 8., 2002, Brasília. **Anais...** Brasília: SEPOPE, 2002.

TEIXEIRA, A. R. et al. Influência da alteração da distribuição do tamanho de partículas no desempenho de reator UASB tratando esgoto doméstico. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, p. 159-166, abr./jun. 2009.

TOLMASQUIM, M. (Org.). **Fontes renováveis de energia no Brasil.** Rio de Janeiro: CENERGIA, 2003. 516 p.

TRENDS in atmospheric carbon dioxide. **Earth System Research Laboratory Global Monitoring Division**, Boulder, 2016. Disponível em: <www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>. Acesso em: 18 out. 2016.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - UNFCCC. **Consolidated methodology for grid-connected electricity generation from renewable sources: version 7.** Washington: UNFCCC, 2015. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/approved.html>>. Acesso em: 7 nov. 2015.

UNION. **Union Instruments**, [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://www.unioninstruments.com/inca-list/product/inca4000.html>>. Acesso em: 1 fev. 2016.

VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no Ribeirão Lava-pés/Botucatu-SP. **Eclética Química**, São Paulo, v. 22, 1997. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-46701997000100005>. Acesso em: 22 nov. 2015.

VAN FOREEST, F. **Perspectives for biogas in Europe.** Oxford: The Oxford Institute for Energy Studies, 2012. 54 p. (Report NG 70).

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente.** Campina Grande: Epgraf, 1994. 240 p.

VAN HAREN, M.; FLEMING, R. **Electricity and heat production using biogas from the anaerobic digestion of livestock**. Guelph: Ontario Ministry of Agriculture, 2005. 27 p.

VERGARA, S. M. A. **Projetos de pesquisa em administração**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1999. 457 p.

VIALLI, A. Biogás é alternativa para gerar energia. **Estado de São Paulo**, São Paulo, ano 88, n. 28955, jun. 2008. Caderno Economia, p. 12.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. 452 p.

WEITHÄUSER, M. et al. Tratamento do biogás e opções de utilização. In: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE. **Guia prático do biogás: geração e utilização**. 5. ed. Gülzow: FNR, 2010. p. 115-141.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Sanitation**. Washington: WHO, 2015. Disponível em: <<http://www.who.int/topics/sanitation/en/>>. Acesso em: 25 set. 2015.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE. **Agenda elétrica sustentável 2020: estudo de cenários para um setor elétrico brasileiro eficiente, seguro e competitivo**. Brasília: WWF, 2006. 80 p.

ZACHOW, C. R. **Biogás**. Panambi: UNIJUI, 2000. 12 p.

ZANETTE, A. L. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil**. 2009. 97 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

ZAREH, A. Motores a gás. **Lubrificação**, Rio de Janeiro, v. 81, n. 4, p. 2-4, 1998.

ZILOTTI, H. A. R. Potencial de produção de biogás em uma Estação de tratamento de esgoto de cascavel para a geração de energia elétrica. 2012. 52 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.