UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS
E SANEAMENTO

MAYARA BEUTTENMÜLLER CASTRO DE MENEZES

Aproveitamento dos efluentes domésticos para geração de energia em condomínios residenciais de baixa renda

Maceió
2016

MAYARA BEUTTENMÜLLER CASTRO DE MENEZES

Aproveitamento dos efluentes domésticos para geração de energia em condomínios residenciais de baixa renda

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientador(a): Prof(a). Dr.(a) Karina Ribeiro Salomon

Maceió
2016

Folha de aprovação

MAYARA BEUTTENMÜLLER CASTRO DE MENEZES

Aproveitamento dos efluentes domésticos para geração de energia em condomínios residenciais de baixa renda

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 31 de março de 2016.

Prof. Dr. Karina Ribeiro Salomon / UFAL (Orientador)

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim/ UFAL (Examinador 1)

Prof. Dr. Vicente Rodolfo Santos Cezar IFAL (Examinador 2)

Catalogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade

M543a Menezes, Mayara Beuttenmüller Castro de.
Aproveitamento dos efluentes domésticos para geração de energia em condomínios residenciais de baixa renda / Mayara Beuttenmüller Castro de Menezes. – 2016.
70 f. : il.

Orientadora: Karina Ribeiro Salomon.
Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Maceió, 2016.

Bibliografia: f. 62-67.
Apêndice: f. 68-70.

1. Efluentes domésticos - Potencial energético. 2. Biogás. 3. Sustentabilidade. I. Título.

CDU: 628.385

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Eduardo e Yara, meu irmão Bruno, e minha esposa pelo incansável e incondicional apoio nesta minha trajetória;

Aos demais familiares, por sempre me incentivarem a continuar;

A minha orientadora Karina Ribeiro Salomon, pela confiança, paciência, por todas as orientações sempre importantes e por todo carinho;

Aos professores do programa, pelas contribuições durante os seminários;

Aos meus amigos do programa, em especial a Schayana Costa de Almeida Macário, pela ajuda com os projetos da ETE

Ao Marcelo Alvarez Francisco, pelas informações e material do empreendimento, cuja ajuda foi valiosíssima;

Aos meus amigos do IFAL, pelo apoio e conselhos; principalmente nos momentos que estava com a cabeça quente.

Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (PPGRHS) e aos professores deste e de outros programas (CECA) que me ajudaram de alguma forma no desenvolvimento da pesquisa;

A empresa que eu trabalho, TPC – Tecnologia em Projetos e Construções, por me liberar nos momentos mais difíceis para que eu pudesse concluir o mestrado

.

RESUMO

O estudo busca avaliar o potencial energético, da estação de tratamento de esgoto, de condomínios residenciais de baixa renda do programa minha casa minha vida (PMCMV), realizando as seguintes estimativas: produção de biogás, produção de energia elétrica e térmica, necessidades de energia da área comum do condomínio e avaliação econômica do projeto. Este trabalho aponta a possibilidade de utilizar o metano que é agressivo ao meio ambiente na recuperação de energia, incentivando a aplicação deste serviço para uso sustentável dos recursos naturais renováveis e eficiência energética. Foram realizados cálculos para a estimativa do biogás e do metano contabilizando suas perdas durante o processo de tratamento anaeróbico. A produção média de biogás estimado foi de 58,78 m³/d resultando em uma possível disponibilidade de energia elétrica de 86,61 kWh/d capaz de abastecer a iluminação dos postes das ruas internas e a área de lazer do condomínio (quadra poliesportiva + espaço gourmet) através de um gerador de 18 cv existente no mercado abastecido por biogás possuindo Sistema de filtro integrado que permite a conexão do gerador diretamente na lona do biodigestor. Foi adotando uma taxa de juros de 17,88 % a.a. para investimento . Além da possibilidade de atender a população local, pode-se ganhar créditos revertendo a energia elétrica gerada na rede de distribuição através do sistema de compensação de energia elétrica da ANEEL. A utilização do biogás como geração de energia elétrica é importante para o meio ambiente, pois evita que seja lançado gás metano e ainda diversifica a matriz energética.

Palavras-chave: Potencial energético. Biogás. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The study aims to assess the energy potential of the sewage treatment plant, residential condominiums low income Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV), by performing the following estimates: biogas production, production of electric and thermal energy, energy needs the common area of the condominium and economic evaluation of the project. This work shows the possibility of using methane That is the aggressive environment in the Energy Recovery, encouraging application of this paragraph Service Sustainable Use of Renewable Natural Resources and Energy Efficiency. Were done calculations to estimate the biogas and methane accounting YOUR Losses During the anaerobic treatment process. The production of biogas Estimated Average was 58.78 m³ / d resulting in a possible Availability of Electricity 86.61 kWh / d Able to supply a lighting of the posts of Internal Streets and condominium recreation area (sports court + gourmet space) through the hum Generator 18 hp no EXISTING iN biogas fueled market having Integrated filter System That allows connection directly to the generator biodigester canvas. It was taking a interest rate of 17.88% pa Investment. Besides the possibility to meet the local population, can earn credits reversing the Electricity Generated in Distribution Network through the Electric Power Compensation System ANEEL. The use of biogas as Electricity Generation And Important For the environment, it avoids it be released methane gas and STILL diversification of energy matrix.

Keywords: Potential energy. Biogás. Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-Sistemas anaeróbios X Sistemas Aeróbios 19

Figura 2-Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia com redução de sulfato. 21

Figura 3 - Fotos de um motor a gás operando num sistema de cogeração 28

Figura 4-Detalhes construtivos de uma turbina a gás. 29

Figura 5-Ciclo de Brayton básico. 31

Figura 6-Posicionamento da Rede em Áreas Novas 34

Figura 7- Local onde está inserido o objeto de estudo. 37

Figura 8 – Park Shopping Condomínio Clube I 38

Figura 9 - Implantação do empreendimento 38

Figura 10 - Área de Lazer 39

Figura 11 - Área do objeto de estudo 39

Figura 12 - Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) 39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Poder calorífico do biogás comparado a outros combustíveis 32
Tabela 2- Tipos de lâmpadas e sua demanda para iluminação pública. 34
Tabela 3-Premissas adotadas para estimativa de produção de biogás e potencial energético.. 50
Tabela 4 – Resultados calculados - Estimativa de Produção de Biogás..... 51
Tabela 5 – Resultados calculados- Energética do biogás 52
Tabela 6- Resultado da demanda energética 53
Tabela 7 - Valores obtidos para os investimentos. 53
Tabela 8 - Depreciação dos bens depreciáveis. 54
Tabela 9 - Juros sobre o capital de investimento. 54
Tabela 10 - Operação e manutenção do conjunto motor-gerador. 55
Tabela 11 - Custos totais de operação do sistema de cogeração. 55
Tabela 12 - Simulação da produção de energia com variação do tempo de operação. 56
Tabela 13 - Valores obtidos para os investimentos. 57
Tabela 14 - Depreciação dos bens depreciáveis. 57
Tabela 15 - Juros sobre o capital de investimento. 58
Tabela 16 - Custos totais de operação do sistema de cogeração. 58
Tabela 17 - Simulação da produção de energia com variação do tempo de operação. 59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
Bmp	Potencial Bioquímico do Metano
BNH	Banco Nacional Da Habitação
CEDEE	Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica
CEF	Caixa Econômica Federal
CH_4	Metano
CH_4COOH	Acetato
CO_2	Gás Carbônico
DBO	Demanda Bioquímica De Oxigênio
DQO	Demanda Química De Oxigênio
DQO_{afl}	Massa Diária de Material Orgânico Afluente
$DQOCH_4$	Massa Diária de Material Orgânico Convertida Em Metano
DQO_{efl}	Massa Diária de Material Orgânico No Efluente
DQO_{lodo}	Massa Diária de Material Orgânico Convertida Em Lodo
DQO_{oxi}	Massa Diária de Material Orgânico Oxidada
ETE	Estação De Tratamento de Esgotos
FG_{Hab}	Fundo Garantidor da Habitação
H_2	Hidrogênio
MCI	Motores de combustão interna
MCMV	Minha Casa Minha Vida
MO	Matéria Orgânica
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial De Hidrogênio

PlanHab	Plano Nacional De Habitação
PRK	Período de Recuperação do Capital
TIR	Taxa Interna de Retorno
TSD	Total De Sólidos Dissolvidos
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13

2 OBJETIVOS E METAS 15

2.1 Objetivo Geral 15

2.2 Objetivos Específicos 15

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 16

3.1 Condomínios Residenciais de Baixa Renda – Programa Minha Casa Minha Vida 16

3.2 Tratamento de Efluentes Líquidos para Produção de Biogás 17

3.2.1 Tratamento anaeróbio 17

3.2.2 Produção de biogás no tratamento anaeróbio de esgoto 20

3.2.2.1 Microbiologia dos processos anaeróbios 20

3.2.2.2 Balanço de massa de DQO 23

3.3 Tecnologia de Aproveitamento Energético do Biogás 24

3.3.1 Geração combinada de eletricidade e/ou calor 26

3.3.1.1 Motores de combustão interna 26

3.3.1.2 Turbinas a gás 29

3.4 Características do Biogás 32

3.5 Necessidade Energética do Empreendimento 32

3.5.1 Classificação do loteamento 33

3.5.2 Locação de postes 33

3.6 Resolução ANEEL 687/15 34

3.7 Avaliação Econômica 35

4 METODOLOGIA 37

4.1 Caracterização do Local do Estudo 37

4.2 Estimativa de Produção de Biogás 40

4.3 Necessidade Energética do Empreendimento 45
4.4 Avaliação Econômica 46
4.5 Premissas Adotadas 50
5 RESULTADO E DISCUSSÕES 51
5.1 Estimativa de Produção de Biogás 51
5.2 Conversão Energética do biogás 52
5.3 Necessidade Energética do Empreendimento 52
5.3.1 Demanda de iluminação dos postes 52
5.3.2 Demanda de iluminação na área de lazer 52
5.3.3 Resumo da demanda: 53
5.4 Avaliação Econômica. 53
5.4.1 Cenário 01 53
5.4.2 Cenário 02 57
5.4.3 Cenário 03 59
6 CONCLUSÃO 61
REFERÊNCIAS 62
APÊNDICE 68

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o aumento populacional trouxe como consequência o aumento de resíduos prejudicando o meio ambiente. Estima-se que a população alcance 8,5 bilhões em 2030, chegue a 9,7 bilhões até 2050 e passará os 11,2 bilhões em 2100 (WORLD POPULATION, 2015). Assim, faz com que sejam tomadas medidas para reaproveitamento de resíduos de forma sustentável (POLONIO *et al*,2015)

O reúso de água, em especial de efluentes domésticos tratados, é uma das práticas que vem sendo incorporada por diversos países. Israel recicla 80% do efluente doméstico gerado, onde quase tudo é encaminhado para a agricultura. No Japão, 40% do volume de efluente urbano tratado é reutilizado por indústrias (JIMÉNEZ e ASANO, 2008; OSORIO (2013) apud LIBHABER e CROOK, (2012). A disponibilidade de esgoto doméstico é constante, fator esse que viabiliza o reúso. A reutilização proporciona vários benefícios, tais como: a redução da captação dos recursos hídricos naturais; a reciclagem de nutrientes na agricultura, com economia de insumos (adubos e fertilizantes, p. ex.); previne a poluição com a redução do lançamento de efluentes em corpos hídricos (FLORENCIO, et al., 2006).

Existe grande variabilidade de aproveitamento para efluentes domésticos tratados. As aplicações são muitas, por exemplo: recreação, agricultura ,dessedentação de animais, etc. processos industriais e outras aplicações (HELMER e HESPANHOL, 1997).

O princípio do tratamento sanitário em reatores anaeróbios é a digestão anaeróbia de compostos orgânicos, que gera dois produtos principais, sendo a maior parte composta pelo biogás (70 a 90%) e, em menor proporção, pelo lodo excedente do sistema (5 a 15%) (SPERLING,1997).

A utilização do biogás como combustível para geração de energia elétrica não apenas aproveita de forma sustentável este subproduto da disposição dos resíduos sólidos, como também evita que o gás metano (CH4) nele contido seja emitido para a atmosfera. Conforme Godoy Júnior et al. (2004) apud ARCADIS Tetraplan (2010), o CH4 presente no biogás de esgoto é cerca de 21 vezes mais danoso para o meio ambiente do que o CO_2, a queima do biogás na produção de energia gera emissões evitadas deste gás. A quantidade de carbono equivalente que potencialmente seria impedido de alcançar a atmosfera da Terra tornando-se, portanto, muito interessante o aproveitamento energético desse biogás, conciliando a geração de energia elétrica renovável com a questão do saneamento ambiental.

A Resolução Normativa 687/15 da Aneel estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e também instituiu o método de compensação de energia elétrica. A criação dessa resolução foi um importante passo ao crescimento da geração distribuída no Brasil. Onde é possível compensar os créditos de energia gerado nos demais meses.

Ultimamente têm-se discutido bastante a questão energética. Sabe-se que os combustíveis fósseis, além de altamente poluentes, também são considerados recursos não-renováveis, e as reservas naturais não devem durar muito tempo. Assim soluções energéticas limpas e renováveis tem sido alvo de muita pesquisa. As tecnologias a base de fontes renováveis são atrativas não só devido às vantagens ambientais, mas também sociais e econômicas.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial energético do biogás de uma estação de tratamento de esgoto, em um condomínio residencial de baixa renda, e através desta avaliação, verificar a necessidade de demanda energética das áreas comuns do empreendimento e realizar a análise de viabilidade econômica da reutilização do biogás em forma de energia elétrica, para o empreendimento ou para a concessionaria elétrica local.

2 OBJETIVOS E METAS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o potencial de aproveitamento energético no biogás gerado a partir de ETE em um condomínio residencial de baixa renda.

2.2 Objetivos Específicos

- Estimar a geração de biogás a partir do efluente domésticos produzido;
- Estimar a produção de energia elétrica e térmica a partir do biogás;
- Estimar consumo de energia para aproveitamento in loco;
- Analisar a viabilidade econômica do projeto de aproveitamento energético.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico se descreve de forma sucinta, o programa minha casa minha vida, o tratamento de efluentes líquidos para produção de biogás através do sistema anaeróbio de esgoto, o balanço de massa de DQO além de uma visão das tecnologias de aproveitamento energético do biogás mostrado a geração combinada de eletricidade e calor juntamente à necessidade elétrica do empreendimento e a compensação de energia elétrica a partir da normativa da ANEEL com uma avaliação econômica.

3.1 Condomínios Residenciais de Baixa Renda – Programa Minha Casa Minha Vida

Para sanar o déficit habitacional existente, o País vem aumentando os investimentos em habitação e infra-estrutura urbana. A meta é a de construir mais, e mais rapidamente a fim de atender a demanda e cumprir com as metas estabelecidas pelos programas, a exemplo do PAC e do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV).

O programa habitacional foi constituído em 2008 e conta com três fases: a primeira, estabelecida em 2009, por meio da Lei n o 11.977/2009, e a segunda em 2011, com a Lei n o 12.424/2011 e a terceira está em andamento (PORTAL BRASIL,2016). Além desses instrumentos legais, o programa é regido por uma série de portarias interministeriais e decretos presidenciais. Cada uma das duas fases do programa objetivava construir 1 milhão de moradias para famílias com renda inferior a 10 salários mínimos (SM) mensais. Apesar do foco ser na produção habitacional, o programa tentava alcançar objetivos mais gerais, ligados ao reforço da atividade econômica em um contexto de crise econômica internacional (KRAUSE; LIMA NETO; BALBIM, 2013). Algumas das mais importantes decisões em termos de desenho do programa foram derivadas do imperativo de produzir resultados imediatos, devido aquele objetivo econômico. Uma das principais consequências disso foi uma pequena aderência do MCMV às diretrizes estabelecidas pelo Plano Nacional de Habitação (PlanHab de 2004, segundo críticos (BONDUKI, 2009; KRAUSE; LIMA NETO; BALBIM, 2013). A primeira fase foi concluída em 2011 com a construção de 4.493 empreendimentos totalizando 743.430 unidades (CARDOSO; ARAÚJO; JAENISCH, 2013) – e a segunda fase foi concluída em julho de 2014 com a entrega de mais de 5 mil moradias em dez cidades, a terceira etapa ainda está em andamento.

O objetivo declarado do programa foi a redução do déficit habitacional nacional. A principal inovação do programa situa-se nas condições para o atendimento das famílias mais pobres, prevendo elevado subsídio para as famílias enquadradas na faixa 1 (entre 0 e 3

salários mínimos mensais de renda familiar), subsídio moderado para famílias da faixa 2 (entre 3 e 6 salários mínimos) e ausência de subsídio para as famílias da faixa 3 (entre 6 e 10 salários mínimos de renda). Além disso, as três faixas têm acesso ao Fundo Garantidor da Habitação (FGHab), o qual viabiliza um sistema de compensação no caso de instabilidade de renda dos mutuários (RODRIGUES; MARQUES, 2013).

A literatura tem apontado a ausência de maiores controles sobre a localização dos empreendimentos, que levaria, por custo do terreno a instalação de habitações em localizações periféricas, reforçando a segregação social no espaço e repetindo em certa medida as experiências do período Banco Nacional da Habitação (BNH) (ARANTES; FIX, 2009; BONDUKI, 2009; ROLNIK; NAKANO, 2009, CARDOSO; ARAÚJO; JAENISCH, 2013; PEQUENO, 2013). Em cidades com mais de 50 mil habitantes e em regiões metropolitanas, o custo da terra urbana é alto, fazendo com que as construtoras procurem terras afastadas das áreas urbanizadas de forma a diminuir seus custos e maximizar seus lucros (CARDOSO, 2013; CARDOSO; ARAÚJO; JAENISCH, 2013).

3.2 Tratamento de Efluentes Líquidos para Produção de Biogás

3.2.1 Tratamento anaeróbio

A água é utilizada de diversas maneiras no dia-a-dia, para tomar banho, lavar louça e na descarga do vaso sanitário. Depois de eliminada, ela passa a ser chamada de esgoto. A origem do esgoto pode ser, além de doméstica, pluvial (água das chuvas) e industrial (água utilizada nos processos industriais). Se não receber tratamento adequado, o esgoto pode causar enormes prejuízos à saúde pública por meio de transmissão de doenças, ou pelo contato direto ou através de vetores tais como: ratos, baratas, moscas entre outros. Ele pode ainda poluir rios e fontes, afetando os recursos hídricos, a vida vegetal e animal. Para evitar esses problemas, as autoridades sanitárias instituíram padrões de qualidade de efluentes.

Segundo Lamas (2007) as principais características do esgoto e de seu processo de tratamento são descritas como:

• Demanda química de oxigênio (DQO): tem o objetivo de medir a quantidade necessária de oxigênio para oxidar quimicamente a matéria orgânica.

• Demanda bioquímica de oxigênio (DBO): tem o objetivo de medir a carga de poluentes de uma água residual, que contém inúmeros poluentes compostos de muitos e variados tipos de materiais orgânicos e inorgânicos que são difíceis de serem mensurados individualmente.

• Tempo de retenção hidráulica: é o período de tempo que os esgotos permanecem dentro do tanque, dado pela relação entre o volume do tanque e a vazão de afluente.

• Aeração: é o processo de inserção de ar em um líquido, essa operação visa fornecer o oxigênio necessário para os microrganismos se desenvolverem nos lodos ativados provocando a agitação e homogeneização suficiente para assegurar o contato entre os elementos poluentes e o oxigênio introduzido.

• Oxigênio dissolvido (OD): indica o grau de arejamento da água onde sua presença é importante para a sobrevivência dos seres aquáticos aeróbios e sua ausência propicia a vida dos microrganismos anaeróbios.

• Potencial de hidrogênio (pH): o monitoramento do potencial de hidrogênio de uma água permite avaliar seu poder de corrosão, da quantidade de reagentes necessários à coagulação e do crescimento de micro-organismos. Com o intuito de aumentar a eficiência do processo de desinfecção da água, conforme Metcalf & Eddy, 1991 é recomendado manter o pH da mesma entre 6,6 e 7,4 . A água em condição de reuso pode ter seu valor de pH entre 6 e 9,5,

• Turbidez: indica a presença de pequenas partículas em suspensão, matérias orgânicas e inorgânicas finamente divididas, plâncton e outros microrganismos. A sua medida é realizada pela comparação da intensidade em uma amostra padrão. Quanto maior seja a intensidade da luz espalhada, maior será a turbidez.

• Total de sólidos dissolvidos (TSD): é um parâmetro que corresponde ao peso total das substâncias dissolvidas na água, incluindo matéria orgânica, minerais e outras substâncias inorgânicas, voláteis ou não, por unidade de volume.

Os processos de tratamento têm o objetivo de diminuir o potencial poluidor do esgoto antes que ele retorne ao meio ambiente, geralmente, pela separação dos materiais sólidos por meio de processos físicos, químicos e biológicos existindo vários processos que se diferenciam. De um modo geral, consiste em separar as partes líquidas e sólidas do esgoto, para tratá-las separadamente, reduzindo ao máximo a carga poluidora, sem que o meio ambiente seja prejudicado.

Biodigestão ou digestão anaeróbia é um processo fermentativo microbiano de flora mista onde a matéria orgânica, na ausência de oxigênio livre, é convertida a gases compostos predominantemente de metano e dióxido de carbono (MASSEY & POHLAND, 1978).

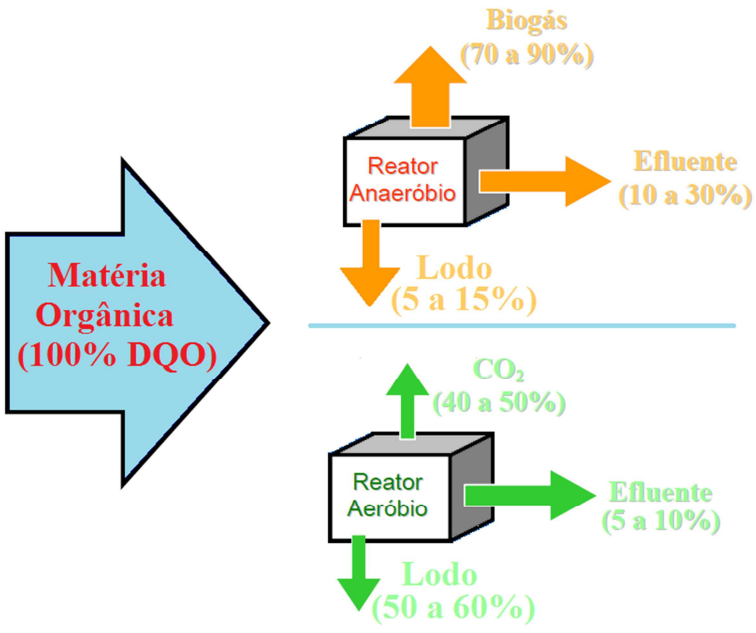
Ocorre naturalmente em diversos ecossistemas, como, por exemplo, nos pântanos, sedimentos de lagos e rios, aparelho digestivo dos animais, inclusive do homem, e em regiões profundas do subsolo, onde leva a formação de grandes quantidades de biogás (RUIZ, 1992).

A digestão anaeróbia é utilizada no tratamento de efluentes para estabilização de grande parte da matéria orgânica. São vários os benefícios deste processo, como os higiênicos (eliminação de parasitas, bactérias e vírus), energéticos (produção de energia renovável e limpa), redução de poluição (tratamento parcial de resíduos) e produção de biofertilizantes estabilizados (TENTSCHER, 1995; BORJA & BANKS, 1996).

Segundo Andrade Neto & Campos (1999), em locais de clima quente, os processos anaeróbios são eficientes na remoção de matéria orgânica e sólidos em suspensão com grandes vantagens: ocupam pequenas áreas, produzem pouco lodo estabilizado, não consomem energia, não necessitam de equipamentos eletromecânicos e requerem construção simples e de fácil operação. Como limitação, não removem completamente os microrganismos patogênicos e nutrientes eutrofizantes, havendo necessidade de um pós-tratamento do resíduo.

A Figura 1 possibilita a visualização de algumas das vantagens da digestão anaeróbia em relação ao tratamento aeróbio, no que se refere à produção de gás metano e à menor produção de sólidos.

Figura 1-Sistemas anaeróbios X Sistemas Aeróbios



Fonte: Adaptado de CHERNICHARO, 2007.

A digestão anaeróbia gera dois produtos principais, sendo a maior parte composta pelo biogás (70 a 90%) e, em menor proporção, pelo lodo excedente do sistema (5 a 15%) (SPERLING,1997).

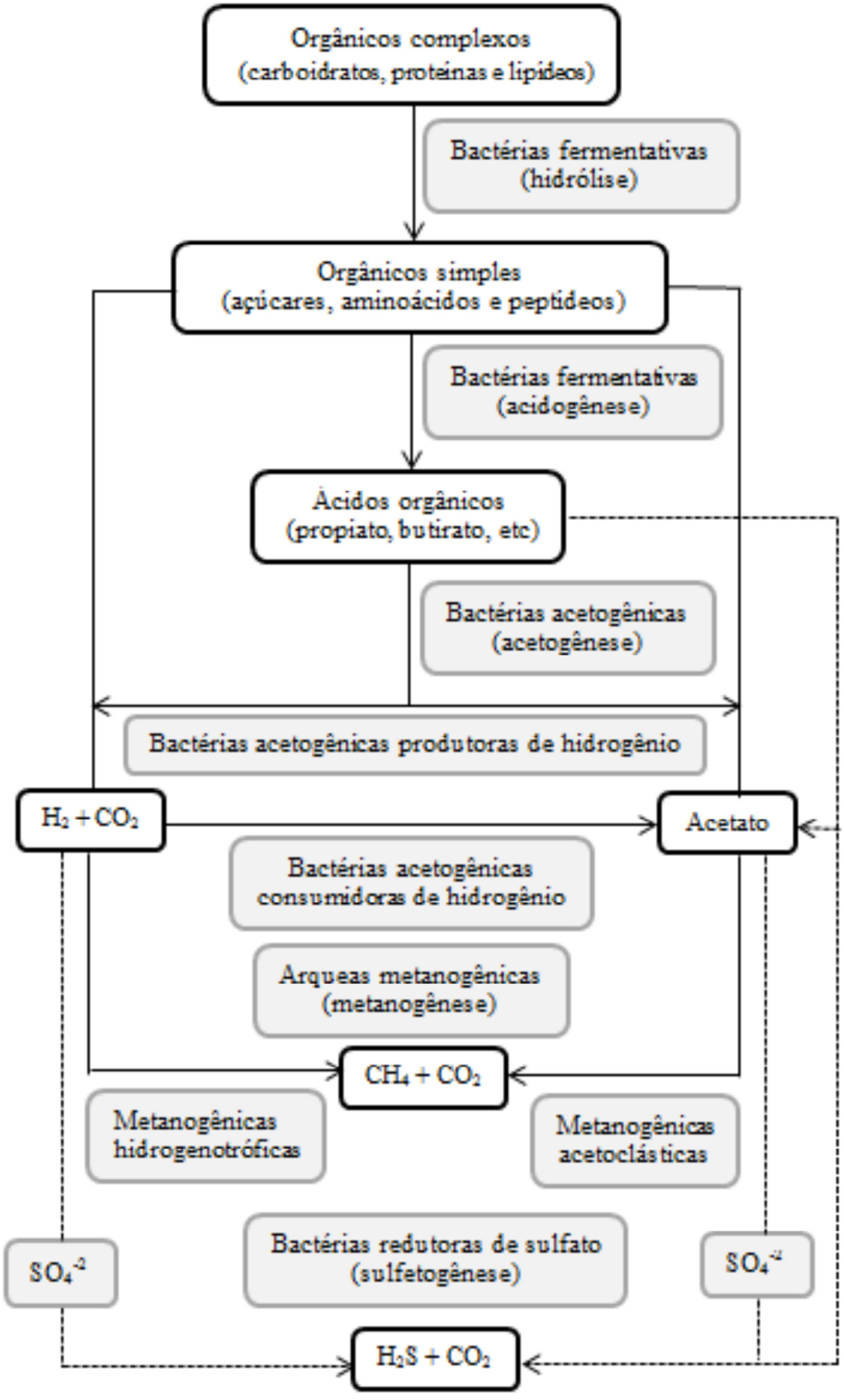
Nos sistemas aeróbios, ocorre somente cerca de 40 a 50% de degradação biológica, com a consequente conversão em CO_2. Verifica-se uma grande incorporação de matéria orgânica como biomassa microbiana (cerca de 50 a 60%), que vem a constituir o lodo excedente do sistema. O material orgânico não convertido em gás carbônico ou em biomassa deixa o reator como material não degradado (5 a 10%)(SPERLING,1997).

3.2.2 Produção de biogás no tratamento anaeróbio de esgoto

3.2.2.1 Microbiologia dos processos anaeróbios

A digestão anaeróbia é um processo biológico complexo que envolve uma série de microrganismos e reações em ausência de oxigênio molecular. Como resultado, a matéria orgânica presente no esgoto é convertida em produtos como metano, gás carbônico, sulfeto de hidrogênio, amônia, água e também utilizada no crescimento bacteriano (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994). A Figura 2 ilustra as principais conversões que ocorrem no processo de tratamento anaeróbio.

Figura 2-Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia com redução de sulfato.



Fonte: Adaptado de Chernicharo, 2007.

Como observado na Figura 2, na hidrólise, através da ação de enzimas hidrolíticas, as bactérias fermentativas transformam os polímeros (carboidratos, proteínas e lipídeos), que são compostos particulados mais complexos, em monômeros solúveis (açúcares, aminoácidos e peptídeos). Esses subprodutos são assimilados pelos microrganismos e metabolizados no interior das células (METCALF e EDDY, 2003; CHERNICHARO, 2007).

Na etapa denominada acidogênese, os compostos hidrolisados são fermentados em ácidos orgânicos (acético, propiônico, butírico), álcoois (etanol, metanol), amônia, hidrogênio e dióxido de carbono, além de novas células bacterianas. O acúmulo de ácidos voláteis pode ter um efeito extremamente desfavorável sobre a digestão anaeróbia se a capacidade de tamponamento for extrapolada e o pH descer para níveis desvantajosos (SAWYER e McCARTY, 1978). A fermentação acidogênica é realizada por um grupo diversificado de bactérias, sendo a maioria facultativa, o que é importante nos sistemas de tratamento anaeróbio de esgoto já que o oxigênio dissolvido eventualmente presente poderia se tornar uma substância tóxica.

A acetogênese é a conversão dos produtos da acidogênese em compostos que formam os substratos para a produção de metano: acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. Aproximadamente 70% da DQO originalmente presente converte-se em ácido acético, enquanto que o restante da capacidade de doação de elétrons é concentrado no hidrogênio formado (McCARTY, 1971). Logo, a remoção de DQO da fase líquida depende, sobretudo, da conversão de acetato em metano, o que é realizado pelos organismos metanogênicos acetoclásticos (CHERNICHARO, 2007).

A metanogênese consiste na etapa final do processo global de degradação anaeróbia dos compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono. As *archeas* metanogênicas são divididas em dois grupos principais de acordo com o substrato que utilizam:

Metanogênicas acetoclásticas, que utilizam acetato (CH_4COOH) como fonte de carbono e energia, produzindo gás carbônico (CO_2) e metano (CH_4).

$$CH_4COOH \rightarrow CH_4 + CO_2 \qquad \text{(Equação 1)}$$

Metanogênicas hidrogenotróficas, que utilizam o gás carbônico (CO_2) como fonte de carbono e aceptor final de elétrons, e o hidrogênio (H_2) como fonte de energia (agente redutor). Parte do CO_2 reage com o H_2 para produzir CH_4.

$$CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O \qquad \text{(Equação 2)}$$

De um modo geral, a digestão anaeróbia pode ser sintetizada na seguinte equação:

$$\text{MO} \rightarrow CH_4 + CO_2 + \text{biomassa bacteriana} + \text{efluente digerido} \qquad \text{(Equação 3)}$$

Onde:

MO = matéria orgânica.

3.2.2.2 Balanço de massa de DQO

O balanço de massa é baseado no princípio da conservação da massa para a análise de sistemas físicos, que consiste no fato de que a matéria não pode desaparecer ou ser criada espontaneamente, apenas transformada, ou seja, consiste na descrição quantitativa de todos os materiais que entram, saem e se acumulam em um sistema com limites físicos definidos (VON SPERLING, 1996).

Segundo van Haandel e Lettinga (1994), o mecanismo mais importante para a remoção de material orgânico em sistemas de tratamento biológico é o metabolismo bacteriano, em que a utilização pelas bactérias do material orgânico serve como fonte de energia (catabolismo) ou como fonte material para síntese de material celular (anabolismo). O anabolismo é um processo que consome energia e somente é viável se o catabolismo está ocorrendo simultaneamente e fornecendo a energia necessária para a síntese do material celular. Por outro lado, o catabolismo somente é possível se estiver presente uma população de bactérias vivas. Conclui-se que os processos de catabolismo e anabolismo são interdependentes e que sempre ocorrem simultaneamente. Assim, seriam quatro as opções para degradação do material orgânico em sistemas de tratamento: (i) conversão em lodo (anabolismo); (ii) conversão em metano (catabolismo fermentativo); (iii) conversão por oxidação (catabolismo oxidativo) e (iv) permanência na fase líquida (descarga no efluente). De acordo com esses autores, a massa diária de DQO no afluente tem que ser igual à soma das massas diárias de DQO convertida em metano, lodo ou presente no efluente, mais a massa

diária de material orgânico oxidado conforme a Equação 4, considerando regime estacionário, sem acúmulo de lodo no reator.

$$DQO_{aft} = DQO_{eft} + DQO_{lodo} + DQO_{CH_4} + DQO_{oxi} \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde:

DQO_{afl} = massa diária de material orgânico afluente.

DQO_{efl} = massa diária de material orgânico no efluente.

DQO_{lodo} = massa diária de material orgânico convertida em lodo.

DQO_{CH4} = massa diária de material orgânico convertida em metano.

DQO_{oxi} = massa diária de material orgânico oxidada.

A Equação 4 é muito utilizada para desenvolver o balanço de massa da DQO em reatores UASB, como observado nas pesquisas de Rissoli e Bernardes (2005) e Ramos (2008). Porém, parcela devido à redução de sulfato a sulfeto (sulfetogênese), a qual também oxida DQO, pode ser muito importante, sobretudo, em esgoto com concentrações razoavelmente elevadas de sulfato.

3.3 Tecnologia de Aproveitamento Energético do Biogás

O aproveitamento energético do biogás pode ser apresentado como uma solução para o grande volume de resíduos produzidos nas atividades agrícolas e pecuárias, aterros sanitários, tratamento de esgoto doméstico e efluentes industriais, já que reduz as emissões de metano ao mesmo tempo em que produz energia, agregando, desta forma, ganho ambiental e redução de custos. Além de contribuir para a preservação do meio ambiente, o aproveitamento energético do biogás também traz benefícios para a sociedade, pois promove a utilização de um recurso que na maioria das vezes é desperdiçado; possibilita a geração descentralizada de energia; aumenta a oferta de energia; possibilita a geração local de empregos; diminui a emissão de poluentes pela substituição de combustíveis fósseis; colabora para a viabilidade econômica dos aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto doméstico e efluentes industriais (CENBIO, 2008).

Segundo Salomon e Lora (2009), o uso do biogás gerado na degradação anaeróbia não pode ser avaliado como a solução para os problemas de energia de um país, entretanto, pode contribuir para a melhoria das condições ambientais, gerenciamento de resíduos, preservação

da qualidade das águas, geração de empregos, redução da pobreza e desenvolvimento tecnológico.

Sabe-se que o aproveitamento energético do biogás no Brasil, apesar de se ter grande domínio do processo anaeróbio, a maioria das estações de tratamento de esgoto doméstico, efluentes industriais e dos aterros sanitários apenas coleta e queima o biogás gerado, desperdiçando seu potencial energético. Uma das vantagens da produção de energia em ETE relaciona-se ao fato de que toda a eletricidade gerada pode ser consumida no próprio local, sem a interferência de uma rede de distribuição.

Algumas possibilidades de recuperação do conteúdo energético do biogás incluem (USEPA, 1996; 2008b; HOLM-NIELSEN *et al*., 2009):

Uso direto: esse é o método mais simples e usualmente de melhor relação benefício/custo para se utilizar o biogás. Trata-se do seu uso como um combustível de potencial energético médio, em aquecedores ou processos industriais, em substituição a outros combustíveis (gás natural, carvão ou óleo combustível). Alguns usos potenciais incluem aquecedores, secadores, fornos e estufas, sendo mais recentemente também utilizado para a queima em fornos para fabricação de peças cerâmicas e de vidro, o aquecimento de água para fins de piscicultura e a evaporação de lixiviado (chorume). Para esses usos, o tratamento do biogás é simples, usualmente consistindo da remoção parcial de condensado e filtração para remoção de impurezas particuladas.

Geração de eletricidade: para uso local (ex.: iluminação, equipamentos eletromecânicos) ou venda para a rede da concessionária de energia pode ser feita utilizando-se uma variedade de tecnologias, incluindo motores de combustão interna, turbinas e microturbinas.

Cogeração: possibilita a geração conjunta de eletricidade e de energia térmica, esta última usualmente na forma de vapor ou água quente. O ganho de eficiência conseguido com o aproveitamento da energia térmica, em complementação à geração de eletricidade, pode tornar esses projetos mais atrativos.

Combustíveis alternativos: o biogás também pode ser utilizado para a geração de outras formas de energia, notadamente visando à injeção na linha de gás natural ou o aproveitamento como combustível veicular. Todavia, para esses fins, o nível e o custo do tratamento do biogás são bem mais elevados.

Além das possibilidades de uso apresentadas anteriormente, originadas da experiência com o aproveitamento de biogás gerado em aterros sanitários, pode-se elencar outros possíveis usos, a exemplo da geração de vapor para uso em pequenas indústrias (ex. agroindústrias) e da cocção de alimentos, iluminação e aquecimento de água no meio rural (ex.: biogás suprido diretamente para a população no entorno). Ademais, o biogás gerado em estações de tratamento de esgoto doméstico e efluentes industriais pode ser utilizado para a secagem e higienização do lodo excedente na própria estação.

Com o grande incremento que vem se verificando na implantação de reatores anaeróbios para o tratamento de esgoto doméstico no Brasil, é possível antever que a recuperação e o uso do biogás poderão ser bastante incrementados no futuro. Todavia, há que se considerar que as atuais alternativas para recuperação e utilização de biogás foram estabelecidas para o caso da digestão anaeróbia de resíduos com elevada concentração de matéria orgânica (biomassa agrícola, dejetos animais, aterros sanitários e efluentes líquidos industriais), quando se consegue uma elevada produção de biogás por volume unitário de reator. Existe, portanto, a necessidade de se avaliar a aplicabilidade de tais alternativas para o caso de reatores anaeróbios tratando efluentes com baixa concentração de matéria orgânica, a exemplo do esgoto doméstico, nos quais a produção volumétrica de biogás, por volume de esgoto tratado, é muito baixa, usualmente da ordem de 60 a 100 NL.m³ esgoto, fazendo com que o aproveitamento energético nem sempre seja viável (CHERNICHARO *et. al*., 2011a).

3.3.1 Geração combinada de eletricidade e/ou calor

Algumas das principais tecnologias disponíveis comercialmente para a geração de eletricidade e/ou calor são apresentadas a seguir, quais sejam: motores de combustão interna e turbinas a gás.

3.3.1.1 Motores de combustão interna

Em alguns sistemas de geração no setor terciário e em pequenas indústrias/empresas podem ser usados motores alternativos, também denominados como motores de combustão interna (MCI), para cumprir os objetivos propostos. Por outro lado, esses motores têm também aplicações em sistemas de produção de energia de emergência e em locais isolados. De forma geral, o seu uso é mais recomendado em situações nas quais as necessidades térmicas sejam pouco significativas, ou quando os consumos de energia sofrem variações ao longo do tempo.

Os MCI são máquinas que transformam a energia térmica de um combustível líquido ou gasoso em energia mecânica através do acionamento de pistões confinados em cilindros. O aproveitamento do calor ocorre com a utilização da energia contida nos gases de exaustão e/ou nos fluidos de refrigeração e lubrificação. A quantidade de calor recuperada depende do tipo e porte do motor e de seu regime operacional. O calor que precisa ser rejeitado dos óleos lubrificantes e do fluido de refrigeração é limitado à produção de água quente (FRANÇA JUNIOR, 2009).

Já os gases de escape podem ser aproveitados diretamente ou serem conduzidos à caldeira de recuperação para gerar vapor. Esses motores são divididos em dois tipos de ciclos: Otto e Diesel.

Os MCI podem utilizar combustíveis gasosos (gás natural, propano, butano, biogás, gás de síntese, nafta química, entre outros), líquidos (álcool, gasolina, Diesel, Biodiesel, entre outros) e ainda misturas de combustíveis gasosos com líquidos em proporções que permitam a auto-ignição.

Esses equipamentos encontram-se disponíveis no mercado em potências variando entre 5 kW e 5 MW, todavia apresentam maior viabilidade de aplicação em projetos de recuperação de energia acima de 800 kW. Esses equipamentos apresentam partida rápida, operação estável, elevado potencial de recuperação de calor e são usualmente bastante confiáveis. Ademais, tendem a ter um custo mais baixo e encontram-se disponíveis em tamanhos menores, mas estão mais sujeitos à corrosão causada pelas espécies ácidas presentes no biogás (USEPA, 2003b).

Existem quatro fontes de liberação de calor em motores de combustão interna que podem ser utilizadas: i) gás de exaustão; ii) água/ar do sistema de arrefecimento do motor; iii) água/ar do sistema de arrefecimento do óleo de lubrificação e iv) resfriamento do ar de sobrealimentação. A recuperação do calor emitido pelo escapamento e pelo sistema de arrefecimento do motor pode produzir água quente ou vapor à baixa pressão, que são apropriados para processos que demandam baixas temperaturas, para o aquecimento de ambientes, para o aquecimento de água e para a movimentação de refrigeradores de absorção (que utilizam calor para movimentar o sistema de resfriamento, ao invés de eletricidade para movimentar um compressor). O gás do sistema de exaustão pode ser utilizado diretamente em processos de secagem. Motores alimentados com gás natural normalmente atingem eficiências globais de 70 a 80% nas aplicações de cogeração de calor e eletricidade. A eficiência de recuperação de energia térmica emitida pelo escapamento e pelo sistema de arrefecimento

usualmente representa 60 a 70% da energia disponível no combustível de alimentação (USEPA, 2003b).

Esses equipamentos são divididos em motores de ignição por centelha ou Otto e de ignição por compressão ou Diesel, podendo ser de dois ou quatro tempos. A diferença principal entre os dois tipos de motores está na forma em que ocorre a combustão. Nos motores de ignição por centelha, a mistura ar/combustível é admitida na câmara de combustão e inflamada por meio de uma vela de ignição. Já nos motores de ignição por compressão, o ar é admitido na câmara de combustão e comprimido até uma pressão suficiente para que ocorra a combustão espontânea quando o combustível for injetado (PECORA, 2006).

Para a utilização de gases como combustível, o ciclo Otto é o mais recomendável. Nestes casos, misturando o gás com o ar em determinadas proporções e a uma pressão e temperatura pré-estabelecidas. No entanto, pode-se utilizar o gás em equipamentos de ciclo Diesel desde que o combustível inserido na câmara de combustão seja uma mistura de gás com 3 a 5 % de diesel (FRANÇA JUNIOR, 2009). Estes equipamentos são conhecidos como *bi-fuel* ou *dual-fuel*, em função do modo em que são executadas as misturas de combustíveis. Nestes sistemas, é necessário recorrer ao uso de compressores de elevada potência, de modo a criar as elevadas pressões de gás necessárias à injeção deste nas câmaras/cilindros de combustão.

Na Figura 3 são mostradas motores a gás integrado a um gerador de eletricidade e um sistema de coleta de gases de escape para geração de vapor.

Figura 3 - Motores a gás operando num sistema de cogeração

Fonte: França Junior, 2008.

As principais vantagens da cogeração de energia por meio de motores a gás são:

- ✓ Arranque rápido;
- ✓ Fácil adaptação a variações das necessidades térmicas;
- ✓ Elevada eficiência mecânica;
- ✓ Não necessita de vigilância constante.

As principais desvantagens da cogeração de energia por meio de motores a gás são:

- ✓ Tempo de vida útil curto;
- ✓ Baixo rendimento térmico;
- ✓ Custos de manutenção elevados devido à necessidade de paradas frequentes.

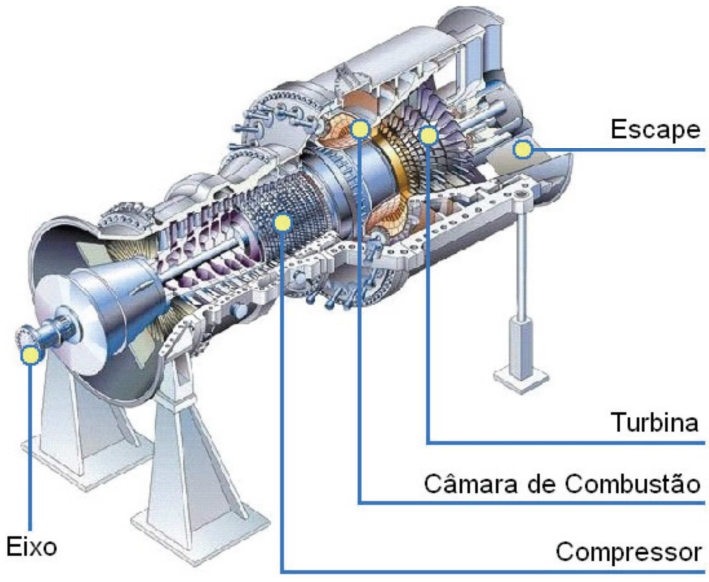
3.3.1.2 Turbinas a gás

As turbinas a gás são equipamentos térmicos que realizam a conversão de energia de um combustível em potência. A característica principal deste equipamento é a produção de gases de exaustão em grandes volumes e a temperaturas elevadas, o que o torna muito adequado aos aproveitamentos energéticos complementares de interesse, melhorando-se desta forma o rendimento térmico do conjunto (FRANÇA JUNIOR, 2009).

Geralmente as turbinas a gás são a denominação do seu conjunto completo formado por três componentes principais: o compressor de ar, uma câmara de combustão e a turbina propriamente dita.

Para compreender o funcionamento de uma turbina a gás, considere a Figura 4 e o texto que se segue.

Figura 4-Detalhes construtivos de uma turbina a gás.



Fonte: França Junior, 2008.

O compressor é acionado pela própria turbina. Inicialmente o ar é comprimido pelo compressor elevando a pressão, em seguida é misturado ao combustível na câmara de combustão. Essa mistura é então queimada sob uma condição de pressão constante, em regime contínuo, aumentando a temperatura dos gases e introduzindo, desta forma, a energia primária no sistema. Os gases de combustão resultante da queima são expandidos na turbina transformando sua energia térmica em energia mecânica, parte dessa energia é utilizada para acionar o compressor.

As turbinas a gás são acionadas pelos próprios gases quentes produzidos na combustão, o que dispensa a utilização de um fluido de trabalho intermediário, como o vapor ou outro fluído. Isto leva à unidades mais compactas, para os mesmos níveis de produção de potência, as quais têm ainda a vantagem de funcionar com vários tipos de combustíveis, tais como gás natural, querosene e gases oriundos de processo de gaseificação do carvão e da biomassa.

As principais características que os combustíveis gasosos devem ter são:

-Não formar cinzas na combustão, que se depositam nas palhetas das turbinas e interferem na operação;

-Não conter materiais erosivos;

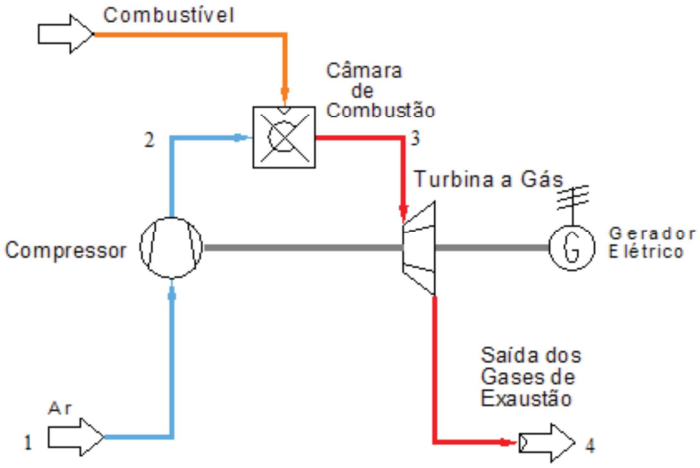
-Não conter compostos que provocam corrosão das palhetas das turbinas.

Trata-se de um equipamento com alta disponibilidade, ou seja, necessita de pouco tempo de parada. Sistemas de cogeração baseados em turbinas a gás de vários tipos e porte estudados por Lautman (1993) apresentaram um fator de disponibilidade na faixa entre 90 a 96 %;

As plantas baseadas em turbinas a gás se caracterizam pela rapidez de entrada em funcionamento. O tempo necessário para a turbina atingir novamente o regime em plena carga é de 6 a 8 minutos em regime de emergência e de 15 minutos em condições normais de operação conforme a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL (1998).

A Figura 5 mostra um ciclo da turbina a gás, também conhecido como Ciclo de Brayton básico.

Figura 5-Ciclo de Brayton básico.



Fonte: França Junior, 2008.

Neste ciclo, o ar é aspirado pelo compressor e enviado à câmara de combustão, onde é misturado com o combustível. Como produtos do processo de combustão surgem gases a altas temperaturas, que são encaminhados à turbina, onde são expandidos, gerando trabalho mecânico. O eixo da turbina é conectado ao compressor e ao gerador elétrico, de maneira que trabalho mecânico gerado pela expansão dos gases de combustão aciona tanto a compressão do ciclo quanto à geração de trabalho (VAN WYLEN *et al.*, 1995).

O rendimento do ciclo Brayton é de aproximadamente 35 % Lobato (2011), mas, atualmente existem turbinas, como a LM6000 de 46.000 kW da G.E. (*General Electric*), por exemplo, que possuem um rendimento de 41,9 % segundo Pecora (2006).

Esses equipamentos encontram-se disponíveis no mercado com potências entre 500 kW e 250 MW e com maior viabilidade de aplicação em projetos de recuperação de energia acima de 3.000 kW. As turbinas a gás apresentam menos problemas de corrosão, todavia são mais caras que os motores de combustão interna e necessitam de gás com qualidade consistente. O fato de demandarem pressões muito maiores de gás na entrada resulta na necessidade de compressores de gás, com maiores custos de instalação e de operação (USEPA, 2003a).

A turbina a gás tem várias características atraentes, como tamanho compacto, alta flexibilidade, confiabilidade, partida rápida, menor necessidade de mão de obra operacional e melhor desempenho ambiental, em comparação com turbina a vapor e com os motores de combustão interna. No entanto, apresenta baixa eficiência, principalmente em carga parcial, lacuna esta que pode ser superada pela cogeração (GUPTA *et al.*, 2010).

3.4 Características do Biogás

De acordo com Costa (2006), a presença do metano influencia o potencial energético do biogás: quanto mais metano, melhor é o biogás. Quando é gerada em reatores anaeróbios de efluentes a concentração média é cerca de 70%.

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

Segundo Lima (2005), com o poder calorífico inferior (PCI) em torno de 19.500 kJ/kg, o biogás constitui-se como uma boa fonte de energia. Pode ser transportado e armazenado. Porém, deve-se ter uma precaução, pois, uma mistura de 5% - 14% de metano e ar podem explodir com a ignição, se o volume total for grande. Deste modo, esse armazenamento deve ser feito em um reservatório adequado quando for necessário.

A Tabela 1 apresenta o poder calorífico inferior do biogás e algumas de suas propriedades.

Tabela 1- Poder calorífico do biogás comparado a outros combustíveis

Combustível	Biogás	Metano	Álcool
Quantidade	1 m³	1 m³	1 litro
Calor liberado kJ	23.400	36.000	19.812
Peso específico kg.m³	1,2	0,72	809
Poder Cal. Inf. kJ.kg-1	19.500	50.000	24.490

Fonte: Lima, 2005.

3.5 Necessidade Energética do Empreendimento

Conforme a NTD-00.001/2013 - ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE REDES AÉREAS DE DISTRIBUIÇÃO URBANAS, os projetos de regularização fundiária de ocupações inseridas em parcelamentos informais ou irregulares, localizadas em áreas urbanas públicas ou privadas, utilizadas predominantemente para fins de moradia por população de baixa renda, com autorização do poder Público Municipal, inserida no Programa de Ligações Clandestinas da CEEE-D, na forma da legislação em vigor. Considerando uma demanda mínima diversificada de 2,5 kVA por lote vazio ou unidade consumidora, independentemente do local da medição.

3.5.1 Classificação do loteamento

Segundo a NTD-00.001/2013, em função da classe econômica existe as seguintes divisões:

Loteamento Classe AA - aquele localizado em zonas nobres, cujos terrenos são de altíssima valorização, tendo área superior a 300 m² e que possuirão todos os serviços de infraestrutura, tais como: calçamento, rede de água e esgoto, iluminação pública, praças, etc.

Loteamento Classe A - aquele localizado em zonas nobres, cujos terrenos são de alta valorização, tendo área igual ou superior a 300 m² e que possuirão todos os serviços de infraestrutura, tais como: calçamento, rede de água e esgoto, iluminação pública, praças, etc.

Loteamento Classe M - aquele localizado em zonas nobres, cujos terrenos são de média valorização, tendo área igual ou superior a 300 m² e que possuirão todos os serviços de infraestrutura, tais como: calçamento, rede de água e esgoto, iluminação pública, praças, etc.

Loteamento Classe B - aquele localizado em zonas de classe média cujos terrenos são de média valorização, tendo área igual ou superior a 300 m², podendo ter serviços de infraestrutura.

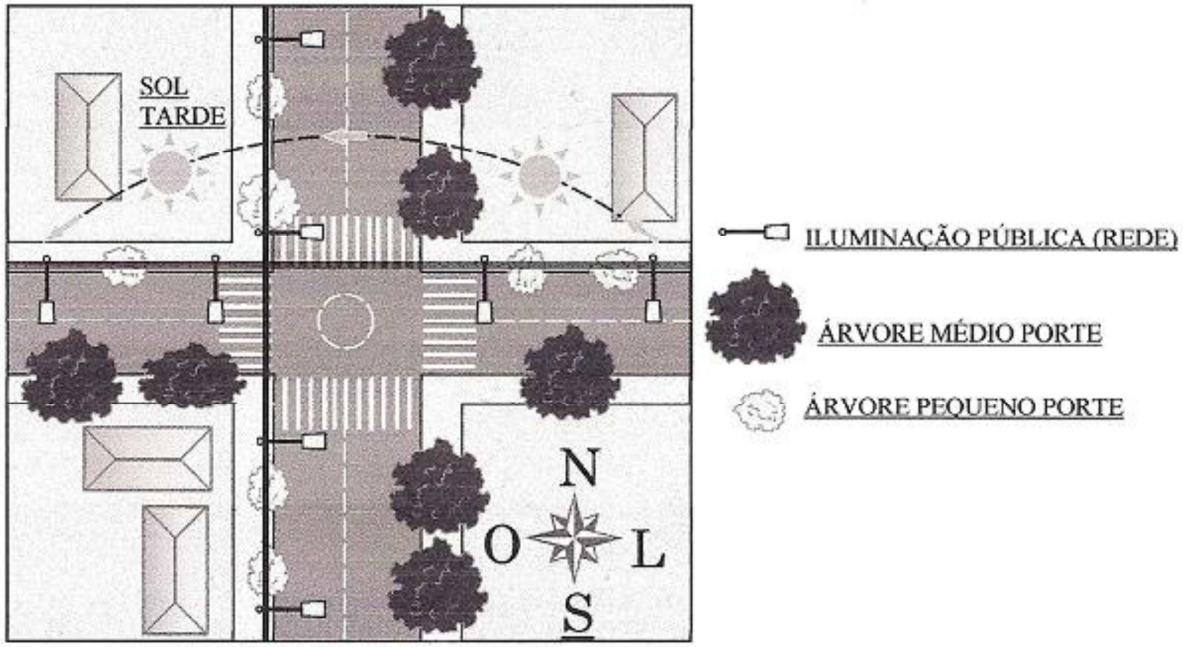
Loteamento Classe C - aquele localizado em zonas pobres, cujos terrenos são de baixa valorização, tendo área não superior a 300 m², podendo não ter serviços de infraestrutura.

3.5.2 Locação de postes

Segundo UMCTEC, a locação dos postes ao longo das ruas e avenidas deve ser iniciada pelos pontos forçados (por ex: futuras derivações, esquinas, etc.), conforme figura 6 e levando em conta os seguintes aspectos:

- Evitar supressão de árvores e demais formas de vegetação, em áreas de preservação;
- Procurar locar, sempre que possível, na divisa dos lotes;
- Quando o eixo da rua estiver no sentido Norte-Sul, locar a rede no lado Oeste;
- Quando o eixo da rua estiver no sentido Leste-Oeste, locar a rede no lado Norte;

Figura 6-Posicionamento da Rede em Áreas Novas



Fonte: UMCTEC, 2015.

Tipos de lâmpada adotados no sistema de iluminação pública conforme UMCTEC estão apresentados na tabela 2.

Tabela 2- Tipos de lâmpadas e sua demanda para iluminação pública.

Tipo de lâmpada	Demanda (kVA)
VM – 80 (vapor de mercúrio 80 W)	0,10
VM – 125 (vapor de mercúrio 125 W)	0,15
VM – 250 (vapor de mercúrio 250 W)	0,29

Fonte: UMCTEC, 2015.

3.6 Resolução ANEEL 687/15

Na Resolução Normativa 687 da Aneel de 24 de novembro de 2015 (ANEEL, 2015) são definidas duas categorias em que se enquadram os pequenos produtores de energia elétrica: a primeira, de microgeração distribuída contempla os produtores que possuem potência instalada de até 75 kW para cogeração qualificada e a segunda categoria, da minigeração distribuida que contempla os produtores que possuem potência instalada entre 75 kW a 3 MW para fontes hídricas ou até 5 MW para cogeração qualificada. Em ambos os

casos, as fontes de energia devem ser provenientes de energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras, conforme regulamentação em questão (REN ANEEL 687, 2015)

O sistema de compensação de energia elétrica é o sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa. A unidade consumidora passa a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 60 (sessenta) meses

Os custos de eventuais melhorias ou reforços no sistema de distribuição em função exclusivamente da conexão de microgeração distribuída não devem fazer parte do cálculo da participação financeira do consumidor, sendo integralmente arcados pela distribuidora, exceto para o caso de geração compartilhada. (ANEEL, 2015)

Para o caso de unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída o faturamento deve considerar a energia consumida, deduzidos o percentual de energia excedente alocado a essa unidade consumidora e eventual crédito de energia acumulado em ciclos de faturamentos anteriores, por posto tarifário, quando for o caso, sobre os quais deverão incidir todas as componentes da tarifa em R$/MWh;

O excedente de energia é a diferença positiva entre a energia injetada e a consumida, exceto para o caso de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras, em que o excedente é igual à energia injetada;

Os créditos de energia ativa expiram em 60 meses após a data do faturamento e serão revertidos em prol da modicidade tarifária sem que o consumidor faça jus a qualquer forma de compensação após esse prazo;

A distribuidora é responsável técnica e financeiramente pelo sistema de medição para microgeração distribuída, de acordo com as especificações técnicas do PRODIST. Após a adequação do sistema de medição, a distribuidora será responsável pela sua operação e manutenção, incluindo os custos de eventual substituição ou adequação.

3.7 Avaliação Econômica

A análise econômica do empreendimento consiste em fazer estimativas dos gastos envolvendo o investimento inicial, a operação e manutenção e as receitas geradas durante um determinado período de tempo, para assim montar-se o fluxo de caixa relativo a esses

investimentos, custos e receitas e determinar quais serão os indicadores econômicos conseguidos com esse empreendimento. Comparando-se esses indicadores econômicos com o que se espera obter com outras alternativas de investimento de capital, pode-se concluir sobre a viabilidade do empreendimento (SOUZA, 2008).

Os critérios de tomada de decisão baseados em análise de viabilidade econômica geralmente são: a Taxa Interna de Retorno (TIR); o Valor Presente Líquido (VPL); o Período de Recuperação do Capital (PRK).

O valor presente líquido (VPL) de um projeto de investimento é igual ao valor presente de suas entradas de caixa menos o valor presente de suas saídas de caixa. Para cálculo do valor presente das entradas e saídas de caixa é utilizada a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) como taxa de desconto. O valor presente líquido calculado para um projeto significa o somatório do valor presente das parcelas periódicas de lucro econômico gerado ao longo da vida útil desse projeto. O lucro econômico pode ser definido como a diferença entre a receita periódica e o custo operacional periódico acrescido do custo de oportunidade periódico do investimento (COSTA, 2009).

Podem-se ter as seguintes possibilidades para o Valor Presente Líquido de um projeto de investimento:

i) Maior do que zero: significa que o investimento é economicamente atrativo, pois o valor presente das entradas de caixa é maior do que o valor presente das saídas de caixa;

ii) Igual a zero: o investimento é indiferente pois o valor presente das entradas de caixa é igual ao valor presente das saídas de caixa;

iii) Menor do que zero: indica que o investimento não é economicamente atrativo porque o valor presente das entradas de caixa é menor do que o valor presente das saídas de caixa.

O Método da Taxa Interna de Retorno é aquele que permite encontrar a remuneração do investimento em termos percentuais. Encontrar a TIR de um investimento é o mesmo que encontrar sua potência máxima, o percentual exato de remuneração que o investimento oferece (Pilão, 2003).

O período de recuperação do capital (PRK) é o prazo de tempo necessário para que os desembolsos sejam integralmente recuperados. (Lapponi, 2000).

4 METODOLOGIA

Neste tópico são apresentados de forma breve o local de estudo os cálculos das estimativas de produção de biogás, da conversão energética do biogás, da demanda de energia de um loteamento e da avaliação econômica.

4.1 Caracterização do Local do Estudo

Maceió, cidade a qual está implantada o objeto de estudo, situa-se no litoral oriental do Nordeste brasileiro (Figura 7), encontra-se entre a latitude 9º33’18” Sul e longitude 35º45'33” Oeste Datum SAD 69, às margens do Oceano Atlântico, e do complexo lagunar Mundaú – Manguaba.

Figura 7- Local onde está inserido o objeto de estudo.

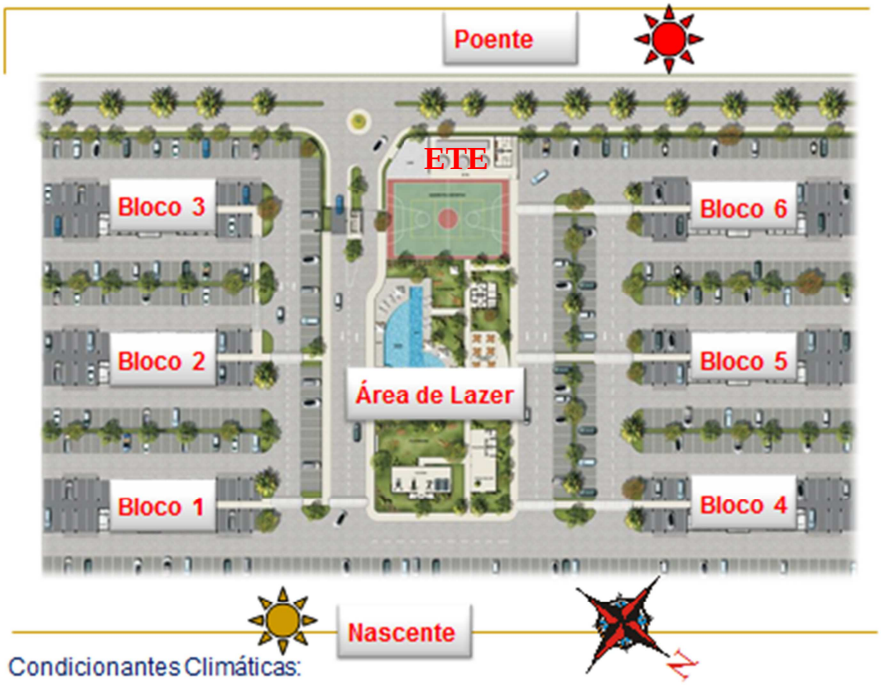
Legenda: a) Cidade de Maceió – capital de Alagoas; b) Bairro Cidade Universitária com seus bairros adjacentes dentro da cidade de Maceió.
Fonte: Menezes, 2016.

O Park Shopping Condomínio Clube I (Figura 8) está localizado na Avenida Menino Marcelo, no bairro da Cidade Universitária, próximo ao Shopping Pátio Maceió, no município de Maceió/AL (Figura 7), o empreendimento possui um total de 528 unidades dividido em 6 torres (Figura 9) e a área de lazer que será o objeto de estudo (Figuras 10 e 11).

Figura 8 – Park Shopping Condomínio Clube I

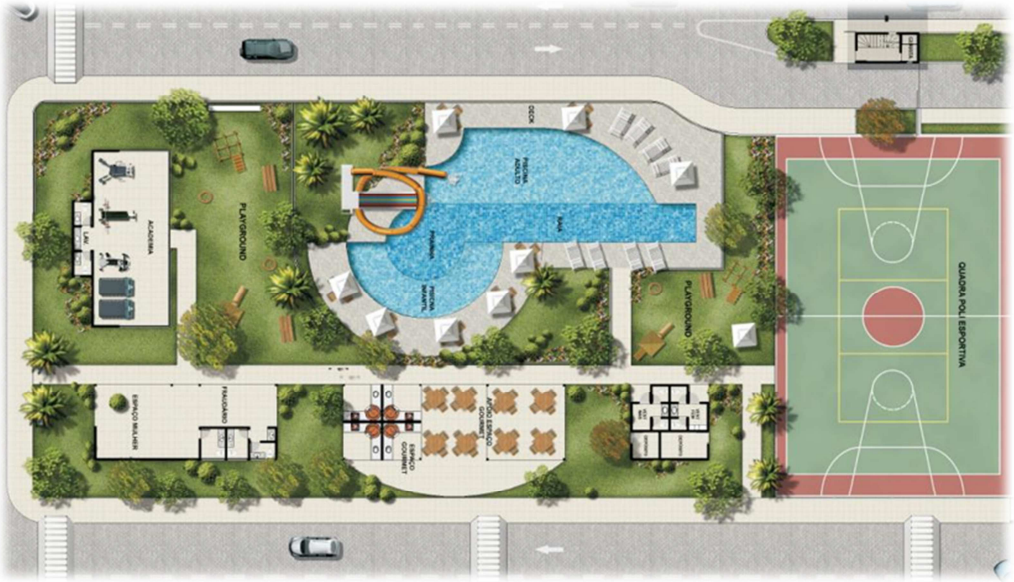
Fonte: Cerutti, 2015.

Figura 9 - Implantação do empreendimento



Fonte: Cerutti, 2015.

Figura 10 - Área de Lazer



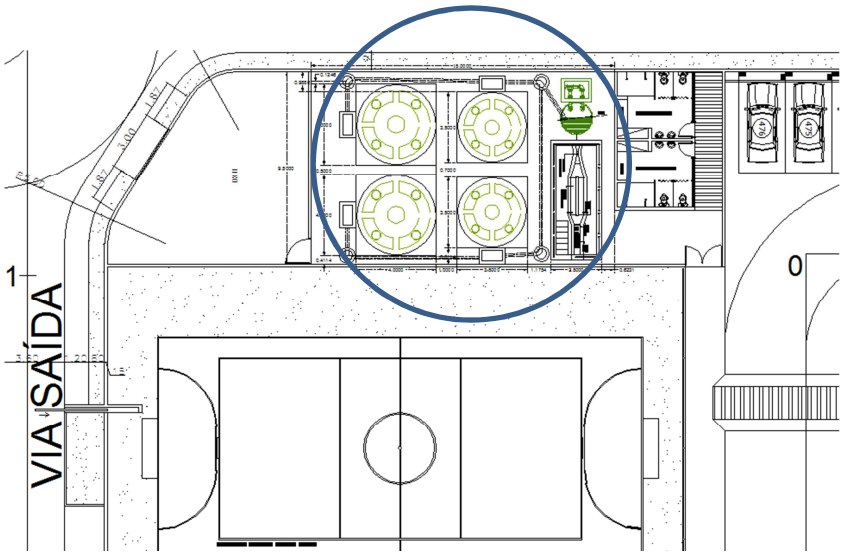
Fonte: Cerutti, 2015

Figura 11 - Área do objeto de estudo

Fonte: Cerutti, 2015

A ETE, foi projetada para atender uma população de 2.544 habitantes com 2 Reatores UASB, 2 Filtros Anaeróbio e 1 Tanque de Contato (Figura 12).

Figura 12 - Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)



Fonte: Macário,2011.

4.2 Estimativa de Produção de Biogás

A vazão per capita média de esgotos conforme Sperling (1997) é dada pela equação 5.

$$Q_{méd} = \frac{Q_{pc} \text{ x } r \text{ x } Pop}{1000} \qquad \text{(Equação 5)}$$

Onde:

$Q_{méd}$ = vazão média de esgoto em [$m^3\ d^{-1}$];

r = coeficiente de retorno (esgoto /água)– recomenda r= 0,80;

Q_{pc} = Consumo de água per capita [$l\ hab^{-1} d^{-1}$];

Pop= Nº de habitantes.

Nos cálculos de produção de metano foram adotadas as metodologias descritas por Lobato (2011), Zilotti (2012) e Bilotta (2014) conforme equações abaixo:

A estimativa da massa diária de DQO removida no sistema é dada pela equação 6.

$$R_{DQO}^{rem} = Pop \text{ x } QPC_{DQO} \text{ x } \frac{E_{DQO}}{100} \qquad \text{(Equação 6)}$$

Onde:

R_{DQO}^{rem} = Carga diária de DQO removida no sistema [kgDQO dia^{-1}];

QPC_{DQO} = contribuição per capita de DQO [kg $hab^{-1}dia^{-1}$];

E_{DQO} = eficiência de remoção de DQO [%];

Pop= Nº de habitantes.

A estimativa da massa diária de DQO utilizada pela biomassa é dada pela equação 7.

$$R_{DQO}^{lodo} = R_{DQO}^{rem} \text{ x } Y \text{ x } K_{sólidos} \qquad \text{(Equação 7)}$$

Onde:

R_{DQO}^{lodo} = carga diária de DQO convertida em biomassa [$kgDQO_{lodo}$ dia^{-1}];

R_{DQO}^{rem} = Carga diária de DQO removida no sistema [kgDQO dia^{-1}];

Y= coeficiente de produção de sólidos no sistema [$kgSTV/kgDQO_{rem}$];

$K_{sólidos}$ = fator de conversão de STV em DQO [kgDQOlodo/kgSTV];

A estimativa da carga de sulfato convertida em sulfeto é dada pela equação 8.

$$R_{SO_4}^{con} = Q_{méd} \text{ x } C_{SO_4} \text{ x } \frac{E_{SO_4}}{100} \qquad \text{(Equação 8)}$$

Onde:

$R_{SO_4}^{con}$ =Carga de SO_4 convertida em sulfeto [$kgSO_4$ dia^{-1}];

Qméd = vazão média de esgoto [m^3 d^{-1}];

C_{SO_4}= concentração média de SO_4 no afluente [$kgSO_4$ dia^{-1}];

E_{SO_4} = eficiência de redução de sulfato [%].

A estimativa da massa diária de DQO utilizada na redução de sulfato é dada pela equação 9.

$$R_{DQO}^{SO_4} = R_{SO_4}^{con} \text{ x } K_{DQO}^{SO_4} \quad \text{(Equação 9)}$$

Onde:

$R_{DQO}^{SO_4}$= DQO utilizada pelas bactérias redutoras de sulfato [$kgDQO_{SO4}$ dia^{-1}];

$K_{DQO}^{SO_4}$= DQO consumida na redução de sulfato [0,667 $kgDQO/kg_{SO4convertido}$] LOBATO (2011);

$R_{SO_4}^{con}$ =Carga de SO_4 convertida em sulfeto [$kgSO_4$ dia^{-1}].

Por fim a estimativa da massa diária de DQO convertida em metano é dada pela equação 10.

$$R_{DQO}^{CH_4} = R_{DQO}^{rem} - R_{DQO}^{lodo} - R_{DQO}^{SO_4} \quad \text{(Equação 10)}$$

Onde:

$R_{DQO}^{CH_4}$ =Carga diária de DQO convertida em metano [$kgDQO_{CH4}$ dia^{-1}];

R_{DQO}^{rem} = Carga diária de DQO removida no sistema [kgDQO dia^{-1}];

R_{DQO}^{lodo} = Carga diária de DQO convertida em biomassa [$kgDQO_{lodo}$ dia^{-1}];

$K_{DQO}^{SO_4}$= DQO consumida na redução de sulfato [0,667 $kgDQO/kg_{SO4convertido}$].

A estimativa da quantidade diária de metano produzida é dada pela equação 11 e será utilizada para obtenção da estimativa real de metano mostrado a seguir.

$$Q_{CH_4} = \frac{R_{DQO}^{CH_4} \text{ x R x } (273 + T)}{P \text{ x } K_{DQO} \text{x } 1000} \quad \text{(Equação 11)}$$

Onde:

QCH_4= produção volumétrica teórica de metano [$kgDQOCH_4$ dia^{-1}];

$R_{DQO}^{CH_4}$ =Carga diária de DQO convertida em metano [$kgDQO_{CH4}$ dia^{-1}];

R= constante dos gases [0,08206 atm. L. $mol^{-1}K^{-1}$];

T= temperatura operacional da ETE [°C];

P= pressão atmosférica [1atm= 101325 Pa];

K_{DQO}= DQO correspondente a um mol de CH_4 [0,064 $kgDQOmol^{-1}$].

Para o cálculo da estimativa real de metano é necessário calcular as possíveis perdas na fase gasosa como: gás residual e como outras perdas e na fase líquida, conforme equações 12, 13 e 14.

$$Q^{w}_{CH_4} = Q_{CH_4} x\, p_w \qquad \text{(Equação 12)}$$

$$Q^{O}_{CH_4} = Q_{CH_4} x\, p_O \qquad \text{(Equação 13)}$$

$$Q^{L}_{CH_4} = Q_{méd} x\, p_L x\, f_{CH_4} x\, \frac{R \times (273 + T)}{P \times K_{DQO} x\, 1000} \qquad \text{(Equação 14)}$$

Onde:

QCH_4= produção volumétrica teórica de metano [$kgDQOCH_4\ dia^{-1}$];

$Q^{w}_{CH_4}$= perda de metano na fase gasosa, com o gás residual [$m^3\ dia^{-1}$];

$Q^{O}_{CH_4}$= outras perdas de metano na fase gasosa [$m^3\ dia^{-1}$];

$Q^{L}_{CH_4}$= perda de metano na fase líquida, dissolvido no efluente [$m^3\ dia^{-1}$];

p_w= percentual de perda de metano na fase gasosa, com o gás residual [%];

p_O= percentual de outras perdas de metano na fase gasosa [%];

p_L= perda de metano na fase líquida, dissolvido no efluente [$kg\ m^{-3}$];

f_{CH_4}= fator de conversão de massa de metano em massa de DQO – coeficiente estequiométrico [$4kgDQO/kgCH_4$];

R= constante dos gases [0,08206 atm. L. $mol^{-1}K^{-1}$];

T= temperatura operacional da ETE [°C];

P= pressão atmosférica [1atm= 101325 Pa];

K_{DQO}= DQO correspondente a um mol de CH_4 [0,064 $kgDQOmol^{-1}$].

Agora, para obter a produção real de metano disponível para recuperação de energia basta retirar as perdas obtidas nas equações 12, 13 e 14 da estimativa de produção diária obtida na equação 11.

Finalmente pode-se realizar o cálculo da produção de biogás capturado através da equação 15.

$$Q_{biogás} = \frac{Q_{CH_4}^{real}}{C_{CH_4}} \text{ x } 100 \qquad \text{(Equação 15)}$$

Onde:

$Q_{biogás}$= produção de biogás capturado [m^3 dia^{-1}];

$Q_{CH_4}^{real}$ = produção real de metano disponível para recuperação de energia [m^3 dia^{-1}];

C_{CH_4}= concentração de metano no biogás [%].

Conversão Energética do biogás

Segundo Zilotti (2012), para transformar a energia do biogás em kWh/m³ foi empregado a equação 16, a qual o transforma diretamente em energia por metro cúbico de biogás.

$$PCId = PE \text{ x } PCI \text{ x } K \qquad \text{(Equação 16)}$$

Onde:

PCI_d = Potencial Calorífico Inferior disponível [kWh m^{-3}];

PE = Peso Específico [kg $N^{-1}m^{-3}$];

PCI = Potencial calorífico inferior [kcal kg^{-1}];

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

Para cálculo da potência elétrica efetiva foi utilizado o valor de eficiência global de 35% para a conversão nas máquinas térmicas, com grupos geradores (motores ciclo Otto). Então, pela equação 17, determinou-se a potência elétrica final a ser disponibilizada pelos geradores.

$$P = Q_{CH_4}^{real} \text{ x } PCI_d \text{ x } n \qquad \text{(Equação 17)}$$

Onde:

P = Potência Elétrica Disponibilizada pelo metano [kWh d^{-1}];

$Q_{CH_4}^{real}$ = produção real de metano disponível para recuperação de energia [m^3 dia^{-1}];

PCI_d = Potencial Calorífico Inferior disponível em [kWh m^{-3}];

n = Eficiência de conversão de máquinas.

4.3 Necessidade Energética do Empreendimento

Como os critérios adotados pela ELETROBRÁS com relação ao tipo de vias públicas, classificam as ruas do Residencial em ruas simples, com classe econômica considerada de classe C.

Para a iluminação das ruas e da praça, foi considerada a potência de 0,15 kVA, por luminária, correspondente a 01 (uma) lâmpada de vapor de mercúrio de 125 W, inclusa a perda no reator.

Para a iluminação da quadra de esportes, foi considerada a potência de 0,29 kVA, por projetor, correspondente a 01(uma) lâmpada de vapor de mercúrio de 250 W, inclusa a perda do reator.

Para o cálculo de queda de tensão na rede secundária, foi utilizada a tensão nominal 220/380 V, e o limite máximo aceitável de queda de tensão de 5%.

Conforme NBR 5410/2005, na determinação das cargas de iluminação em cômodos ou dependências deve ser prevista uma carga mínima de 100 VA para os primeiros 6 m^2, acrescida de 60 VA para cada aumento de 4 m^2 inteiros.

A demanda de energia da iluminação é obtida através das equações 18 (NTD - 001/2008) e 19

$$Nº\ de\ postes = \frac{Comprimento\ da\ rua\ em\ metros}{35\ m} \qquad \text{(Equação 18)}$$

Demanda de iluminação = Nº de postes x P da luminária em kVA (Equação 19)

4.4 Avaliação Econômica

Os cálculos foram realizados com uma taxa de desconto da poupança, que possui taxa de juros 8,5% ao ano em média.

Considerando condições ideais de operação e manutenção, a estação de tratamento pode injetar biogás no gerador durante todo o ano. Foi adotado um funcionamento em média de 10 horas por dia para o gerador, este valor foi adotado para os cálculos que consideram o tempo de operação.

Para implementar o sistema de geração de energia é necessário um investimento inicial para compra e instalação dos equipamentos. A equação 20 fornece a estimativa do investimento inicial.

$$II = CM + MO \qquad \text{(Equação 20)}$$

Onde,

II - Investimento inicial, [R$];

CM - custos com materiais e equipamentos, [R$];

MO - Custos com mão de obra, [R$].

O método de depreciação utilizado foi o da depreciação linear, descrito por Bauer (2008), pelo qual a depreciação dos custos fixos ou variáveis é avaliada conforme mostra a equação 21:

$$D = \frac{Ci+Cf}{Vu} \qquad \text{(Equação 21)}$$

Em que,

D - Depreciação anual, [R$ ano^{-1}];

Ci – custos com materiais depreciáveis, [R$];

Cf – valor final do ativo, [R$], e;

Vu – vida útil, [ano].

Os juros sobre o capital investido foram determinados em relação ao capital médio durante a vida útil dos bens, a uma taxa de juros de 17,876% ao ano (adotado a taxa de

fevereiro de 2016 do BNDES), e segundo o método descrito por Bauer (2008) dado pela equação 22 os juros podem ser obtidos por:

$$J = \frac{Vi+Vf}{2}\, r \qquad \text{(Equação 22)}$$

Para a qual;

J - Juros sobre capital investido, [R$ ano^{-1}];

Vi - valor total do investimento, [R$];

Vf - valor final do ativo, [R$];

r - taxa de juros, [% ano^{-1}].

Os custos com a manutenção dos equipamentos consideram o intervalo de manutenção dos componentes e os valores cobrados pelos técnicos responsáveis. Portanto, o gasto anual pode ser obtido utilizando-se a equação 23:

$$G_M = \frac{T}{Im}\, At \qquad \text{(Equação 23)}$$

Para qual,

GM - Gastos com a manutenção, [R$ ano^{-1}];

T - Tempo de operação, [h ano^{-1}];

IM - Intervalo de manutenção dos componentes, [h], e

AT - Assistência técnica, [R$].

Os custos anuais do sistema foram determinados considerando-se os custos fixos referentes à depreciação, aos juros sobre o capital investido; e os custos variáveis referentes à manutenção e à operação.

A produção anual de biogás pode ser dada pela equação 24:

$$P_{AB} = P_{DB} * T_D \qquad \text{(Equação 24)}$$

Onde:

P_{AB} - produção anual de biogás, [m^3 ano^{-1}];

P_{DB} - produção diária de biogás, [m^3 dia^{-1}];

T_D - Disponibilidade anual da planta, [dias ano^{-1}].

De acordo com o fornecedor do grupo gerador, o consumo específico de biogás é de 2m³/h, este valor representa o volume de biogás que deve ser consumido para gerar energia através do conjunto motor-gerador. Considerando o funcionamento do gerador durante 10 horas diariamente, o consumo anual de biogás pelo gerador pode ser dado pela equação 25:

$$C_{AB} = C_{EB} * T_D \qquad \text{(Equação 25)}$$

Onde:

C_{AB} - consumo anual de biogás, [m^3 ano^{-1}];

C_{EB} - consumo específico de biogás pelo motor-gerador, [m^3 h^{-1}], e

T_D - Disponibilidade anual da planta, [h ano^{-1}].

Considerando a quantidade de energia produzida de acordo com o consumo anual do grupo gerador e a tarifa de energia elétrica obtém-se o benefício que é interpretado como a redução do valor que é passado para distribuidora, e pode ser obtido pela equação 26:

$$B_{GEE} = EE_P * T_{EE} \qquad \text{(Equação 26)}$$

B_{GEE} - benefício com a geração de energia elétrica, [R$ ano^{-1}];

EE_P - energia elétrica produzida, [kWh ano^{-1}];

T_{EE} - tarifa de energia elétrica, [R$ kWh^{-1}].

Os cálculos foram realizados com uma taxa de desconto da poupança, que possui taxa de juros 8,5% ao ano em média.

Com os custos e benefícios calculados foi possível determinar o fluxo de caixa do projeto e realizar a análise de viabilidade econômica por meio do Valor Presente Líquido (VPL), da Taxa Interna de Retorno (TIR) e pelo Período de Retorno do Capital (Payback).

O Valor Presente Líquido (*VPL*), é o retorno líquido atualizado gerado pelo projeto, que permite analisar a viabilidade econômica do projeto a longo prazo. (Lapponi, 2000)

$$VPL = -II + \sum_{i=1}^{n} \frac{Bi - Ci}{(1+r)^i} \quad \text{(Equação 27)}$$

A TIR pode ser calculada, utilizando a equação abaixo:

$$TIR = \sum_{i=1}^{n} \frac{Bi - Ci}{(1+\propto)^i} = 0 \quad \text{(Equação 28)}$$

Onde:

II –Investimento inicial [R$];

Bi - benefício do projeto, em unidades monetárias, no [ano i];

Ci - custo do projeto, em unidades monetárias, no [ano i];

r - taxa de desconto, [%a.a];

i - contador de tempo, em [ano], e

n - período de vida útil do investimento, em [ano].

$\propto$: taxa interna de retorno (TIR)

O objetivo do método do Período de Retorno do Capital é obter tempo de retorno do valor investido, utilizando a equação a baixo:

$$PRC = \frac{II}{lu} \quad \text{(Equação 29)}$$

Onde:

II –Investimento inicial [R$];

lu – Lucro anual previsto [R$ ano^{-1}];

4.5 Premissas Adotadas

As principais variáveis necessárias para se estimar a produção de metano e o potencial energético obtidos estão descritas na tabela 3:

Tabela 3-Premissas adotadas para estimativa de produção de biogás e potencial energético

Parâmetro	Valor	Unidades	Referências
Consumo de água	120	l $hab^{-1}dia^{-1}$	-
Contribuição média de esgoto	244,22	m^3 dia^{-1}	-
População contribuinte (Pop)	2.544	hab	-
Contribuição per capita de DQO (QPC_{DQO})	0,10	kg DQO $hab^{-1}dia^{-1}$	Von Sperling e Chernicharo (2005)
Eficiência de remoção de DQO (E_{DQO})	70	%	Von Sperling e Chernicharo (2005)
Coeficiente de produção de sólidos (Y)	0,15	-	Lobato, Chernicharo e Souza(2011)
Fator de conversão de STV em DQO ($k_{sólidos}$)	1,42	-	Lobato, Chernicharo e Souza(2011)
Concentração de SO_4 no afluente (C_{SO4})	0,06	kg SO_4 m^{-3}	Metcalf & Eddy (20013)
Eficiência de redução de sulfato (E_{SO4})	75	%	Souza (2010)
DQO consumida na redução de sulfato (K_{DQO})	0,6670	kgDQO/kgSO4	Eller (2013)
Temperatura operacional do reator (T)	25	°C	Von Sperling e Chernicharo (2005)
Perda de CH_4 na fase gasosa (p_w)	5	%	Lobato, Chernicharo e Souza(2011)
Outras perdas de CH_4 na fase gasosa (p_O)	5	%	Lobato, Chernicharo e Souza(2011)
Perda de CH_4 dissolvido no efluente (p_L)	0,02	kg m^{-3}	Lobato, Chernicharo e Souza(2011)
Percentual de CH_4 no biogás (C_{CH4})	65	%	Lobato, Chernicharo e Souza(2011)
Energia calorífica decorrente da combustão do CH_4	35,9	MJ/Nm3	Lobato (2011) e Eller (2013)
Peso específico do CH_4 (PE)	1,15	kg/Nm^3	Lobato (2011) e Eller (2013)
Poder calorífico inferior do CH_4 (PCI)	4.831,1	Kcal/Kg	-
Valor de eficiência (n)	35	%	-
m - número de dias no ano mês	30,42	dias	-

Fonte: Menezes, 2016.

5 RESULTADO E DISCUSSÕES

O presente tópico está dividido em quatro sessões. A primeira seção tem foco na estimativa de produção de biogás, a segunda na conversão energética do biogás a terceira a necessidade energética das áreas de aproveitamento do loteamento e por último três avaliações econômicas.

5.1 Estimativa de Produção de Biogás

Utilizando as premissas do item 4.6 e as equações do item 4.2 obteve-se os resultados conforme tabela 4:

Tabela 4 – Resultados calculados - Estimativa de Produção de Biogás

Variável	Valor obtido	Unidades
Estimativa da massa diária de DQO removida no sistema	178,08	kgDQO dia^{-1}
Estimativa da massa diária de DQO utilizada pela biomassa	37,93	kgDQO lodo dia^{-1}
Estimativa da carga de sulfato convertida em sulfeto	10,99	kg SO_4 dia^{-1}
Estimativa da massa diária de DQO utilizada na redução de sulfato	7,33	kgDQO SO_4 dia^{-1}
Estimativa da massa diária de DQO convertida em metano	132,82	kgDQO CH_4 dia^{-1}
Estimativa da quantidade diária de metano produzida	50,75	m^3 dia^{-1}
Estimativa das perdas de metano na fase gasosa, como gás residual.	2,54	m^3 dia^{-1}
Estimativa de outras perdas de metano na fase gasosa (vazamentos, purgas de condensado, etc)	2,54	m^3 dia^{-1}
Estimativa das perdas de metano na fase líquida, dissolvido no efluente.	7,47	m^3 dia^{-1}
Estimativa da produção real de metano	38,21	m^3 dia^{-1}
Estimativa da produção de biogás capturado	58,78	m^3 dia^{-1}

Fonte: Menezes, 2016.

A estimativa da produção real de metano foi de 38,21 m^3 dia^{-1} (0,16 Nm^3/m^3de esgoto) e (0,215 Nm^3 kg_{DQOrem}^{-1}) valor pouco abaixo encontrado na literatura, 0,18 Nm^3 kg_{DQOrem}^{-1} Noyola, Capdeville e Roques (1988) e 0,24 Nm^3 kg_{DQOrem}^{-1} Eller (2013) e a estimativa do biogás capturado 58,78 m^3 dia^{-1} 2,45 m^3 h^{-1} (0,246 Nm^3/m^3de esgoto) está coerente com os valores encontrados por ELLER (2013)

5.2 Conversão Energética do biogás

Utilizando os dados calculados na estimativa de produção do biogás capturado e produção real do metano obteve-se os resultados conforme tabela 5:

Tabela 5 – Resultados calculados- Energética do biogás

Variável	Valor obtido	Unidades
Poder calorífico inferior disponível do CH_4	6,48	kWh m^{-3}
Potencia elétrica efetiva com n=0,35	86,61	kWh dia^{-1}

Fonte: Menezes, 2016.

Para o cálculo do poder calorífico inferior disponibilizado pelo CH_4 (PCI_D) foi adotado 65% de metano no biogás (Zilotti, 2012). Todavia, quanto maior a parcela de metano, maior será a capacidade calorífica do biogás, e essa proporção dependerá sobretudo das condições operacionais da estação de tratamento e das características físico-químicas do esgoto afluente (COELHO et al., 2004; COSTA, 2006).

A queima da produção real de metano forneceria uma potência elétrica de 247,46 kWh/d. No caso de motores de combustão interna, a eficiência de geração de energia elétrica varia numa faixa entre 33 e 36% (de acordo com levantamento realizado por Lobato, 2011), utilizando 35% o que geraria uma potência elétrica efetiva de 86,61 kWh/d com potencial de geração de energia elétrica de 2.634,37 kwh/ mês ou 31.612,45 kwh/ ano.

5.3 Necessidade Energética do Empreendimento

5.3.1 Demanda de iluminação dos postes

Comprimento das ruas do condomínio: 1.090 m

$$Nº\ de\ postes = \frac{Comprimento\ da\ rua\ em\ metros}{35} = \frac{1090}{35} = 32\ postes$$

Cálculo de demanda de iluminação, considerando potência de 0,15 kVA referente a lâmpada de 125 W

Demanda de iluminação = Nº de postes x P da luminária em kVA = 32 x 0,15 = 4,8 kVA

5.3.2 Demanda de iluminação na área de lazer

- Espaço gourmet – área do ambiente de 9 m² (são 4 ambientes) - 400 VA
- Apoio para espaço gourmet – área de 37 m² - 520 VA
- Quadra poliesportiva - 4 refletores de 250 W = 1,16 kVA

Demanda total de iluminação do espaço gourmet e quadra poliesportiva: 0,40+0,52+1,16 = 2,06 kVA

5.3.3 Resumo da demanda:

O resultado da necessidade energética calculada para o condomínio encontra-se na tabela 6

Tabela 6- Resultado da demanda energética

Ambiente	Potência demandada
Iluminação dos Postes (ruas internas)	4,80 kVA
Área de lazer (iluminação)	2,06 kVA

Fonte: Menezes, 2016.

5.4 Avaliação Econômica.

Foram testados três cenários, o primeiro e o segundo, com gerador pronto para utilizar biogás de fábrica produzindo energia para o empreendimento e o terceiro cenário utilizando toda a energia produzida no primeiro cenário para devolver a rede de energia elétrica.

5.4.1 Cenário 01

O investimento inicial e os custos anuais de operação foram estabelecidos de acordo com informações fornecidas pela empresa de instalação e manutenção do gerador.

Os materiais e equipamentos (conjunto motor-gerador de 11cv com geração de 4 kVA com consumo de biogás de 2 m³/h) foram avaliados em R$ 7.500,00(AGROSHOP,2015).. Ainda como investimento foi considerado 3% para mão de obra, e para as instalações elétricas 7%, todos estimados em relação ao valor do grupo gerador. A Tabela 7 apresenta os valores obtidos.

Tabela 7 - Valores obtidos para os investimentos.

Investimento	Valor (R$)
Aquisição do grupo gerador	R$ 7.500,00
Instalações elétricas	R$ 525,00
Mão de obra para implantação	R$ 225,00
Total	R$ 8.250,00

Fonte: Menezes, 2016.

A avaliação dos custos do sistema foi realizada de forma anual e consideraram-se os custos de depreciação, os juros sobre o capital, e os custos de operação e manutenção.

A depreciação representa a desvalorização dos bens da propriedade, que perdem valor com o passar do tempo, os quais são denominados de bens depreciáveis. Os bens depreciáveis avaliados foram: equipamentos e máquinas. A Tabela 8 apresenta os dados obtidos.

Tabela 8 - Depreciação dos bens depreciáveis.

Equipamento / material	Valor inicial (R$)	Vida útil (ano)	Depreciação (R$/ano)
Abrigo do conjunto motor-gerador[1]	R$ 0,00	20	R$ 0,00
Instalações elétricas	R$ 525,00	20	R$ 26,25
Grupo gerador	R$ 7.500,00	10	R$ 750,00
Total	R$ 8.025,00		R$ 776,25

(1) Não foi considerado o valor para o abrigo, pois o mesmo ficará na casa de máquinas da estação de tratamento existente.
(2) Não foi considerado o valor final, pois os valores de revenda não foram obtidos.

Fonte: Menezes, 2016.

Os juros obtidos para o capital investido estão representados na Tabela 9.

Tabela 9 - Juros sobre o capital de investimento.

Equipamento / material	Valor inicial (R$)	Taxa de juros (%/ano)	Juros (R$ / ano)
Abrigo do conjunto motor-gerador[1]	R$ 0,00	17,88%	R$ 0,00
Instalações elétricas	R$ 525,00	17,88%	R$ 46,94
Grupo gerador	R$ 7.500,00	17,88%	R$ 670,50
Total	R$ 8.025,00		R$ 717,44

(1) Não foi considerado o valor para o abrigo, pois o mesmo ficará na casa de máquinas da estação de tratamento existente.
(2) Não foi considerado o valor final, pois os valores de revenda não foram obtidos.

Fonte: Menezes, 2016.

Os custos já inclusos o valor da assistência técnica provenientes da manutenção do grupo gerador estão descritos na Tabela 10.

A tabela 11 resume os valores de custo de depreciação, juros, manutenção preventiva em relação ao tempo de funcionamento do gerador por dia.

Tabela 10 - Operação e manutenção do conjunto motor-gerador.

Nº de horas de funcionamento do gerador por dia			1	2	4	6	10	12	16	18	22	24
Componente	Inter-valo (h)	Custo de O & M (R$)	Custo anual de Operação e Manutenção (O & M) (R$)									
Troca de óleo	100	200,00	730,00	1460,00	2920,00	4380,00	7300,00	8760,00	11680,00	13140,00	16060,00	17520,00
Troca de filtro	400	50,00	45,63	91,25	182,50	273,75	456,25	547,50	730,00	821,25	1003,75	1095,00
Limpeza dos filtros	100	50,00	182,50	365,00	730,00	1095,00	1825,00	2190,00	2920,00	3285,00	4015,00	4380,00
Limpeza das válvulas	2000	250,00	45,63	91,25	182,50	273,75	456,25	547,50	730,00	821,25	1003,75	1095,00
Troca do filtro de ar	500	150,00	109,50	219,00	438,00	657,00	1095,00	1314,00	1752,00	1971,00	2409,00	2628,00
Rolamento	12000	370,00	11,25	22,51	45,02	67,53	112,54	135,05	180,07	202,58	247,59	270,10
Total (R$)			1124,50	2249,01	4498,02	6747,03	11245,04	13494,05	17992,07	20241,08	24739,09	26988,10

Fonte: Estimativas do fornecedor, 2015.

Tabela 11 - Custos totais de operação do sistema de cogeração.

Nº de horas de funcionamento do gerador por dia	1	2	4	6	10	12	16	18	22	24
Itens de custo	(R$/ano)	(R$/ano)	(R$/ano)	(R$/ano)	(R$/ano)	(R$/ano)	(R$/ano)	(R$/ano)	(R$/ano)	(R$/ano)
Depreciação	776,25	776,25	776,25	776,25	776,25	776,25	776,25	776,25	776,25	776,25
Juros	717,44	717,44	717,44	717,44	717,44	717,44	717,44	717,44	717,44	717,44
Manutenção preventiva	1.124,50	2.249,01	4.498,02	6.747,03	11.245,04	13.494,05	17.992,07	20.241,08	24.739,09	26.988,10
Mão de obra para operação do sistema	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	2.618,19	3.742,69	5.991,70	8.240,71	12.738,73	14.987,74	19.485,75	21.734,76	26.232,78	28.481,79

Fonte: Menezes, 2016.

O custo para manutenção e operação do sistema, ao desconsiderar a mão-de-obra, por se tratar de um sistema simples que precisa apenas da ignição e desligamento do motor, e que pode ser realizada por um funcionário que já trabalha no condomínio varia em função da quantidade de horas trabalhadas pelo gerado onde o gerador funcionando 1 hora o custo chegou a R$2.618,19 e o mesmo gerador trabalhando 24 horas por dia chegou a R$ 28.481,79.

O grupo gerador é o bem adquirido de maior valor econômico, sendo assim, a sua vida útil que corresponde à 10 anos foi utilizada para elaborar o fluxo de caixa do projeto, com taxa de desconto de 17,876% ao ano (BNDES, 2016).

A tabela 12 resume a produção de energia, o benefício, o custo com manutenção o VLP com as variações de tempo de operação. Nos custos para o fluxo de caixa não é considerado os juros sobre o capital, pois o fluxo de caixa já é descontado por uma taxa de desconto e para o benefício foi considerada a taxa de energia elétrica de R$ 0,66 kwh (ELETROBRAS, jan/2016).

Tabela 12 - Simulação da produção de energia com variação do tempo de operação.

Produção de energia (Kwh/ano)	Tempo de Operação (h)	Benefício (R$)	Custo (R$)	Vlp	Tir	Payback
1.186,25	1	787,55	1.900,75	-14335,60	-	-7,41
2.372,50	2	1.575,10	3.025,26	-16373,28	-	-5,69
3.558,75	3	2.362,65	4.149,76	-18410,96	-	-4,62
4.745,00	4	3.150,20	5.274,27	-20448,63	-	-3,88
7.117,50	6	4.725,29	7.523,28	-24523,99	-	-2,95
9.490,00	8	6.300,39	9.772,28	-28599,34	-	-2,38
11.862,50	10	7.875,49	12.021,29	-32674,70	-	-1,99
14.235,00	12	9.450,59	14.270,30	-36750,05	-	-1,71
16.607,50	14	11.025,69	16.519,31	-40825,41	-	-1,50
18.980,00	16	12.600,78	18.768,32	-44900,76	-	-1,34
21.352,50	18	14.175,88	21.017,33	-48976,12	-	-1,21
23.725,00	20	15.750,98	23.266,33	-53051,47	-	-1,10
26.097,50	22	17.326,08	25.515,34	-57126,83	-	-1,01
28.470,00	24	18.901,18	27.764,35	-61202,18	-	-0,93

Fonte: Menezes, 2016.

Com a operação de 24 horas por dia, os benefícios anuais obtidos foram de R$ 18.901,18 e custos anuais de R$ 27.764,35. A data zero corresponde ao valor do investimento inicial de R$ 8.250,00. De acordo com estes dados, os indicadores de viabilidade econômica apresentam resultados economicamente inviáveis (Tabela 12), e, portanto, nas condições adotadas o sistema de cogeração não deverá ser implantado.

Neste contexto, foi simulado outro cenário para produção de energia elétrica

5.4.2 Cenário 02

Foi escolhido um gerador mais potente de 18 cv, que consome 4 m³ de biogás por hora e gera 9,5 kVA com as mesmas condições de manutenção do cenário 01

O investimento inicial e os custos anuais de operação foram estabelecidos de acordo com informações fornecidas pela empresa de instalação e manutenção do gerador.

Os materiais e equipamentos (conjunto motor-gerador) foram avaliados em R$ 16.500,00 (AGROSHOP,2015. Ainda como investimento foi considerado 3% para mão de obra, e para as instalações elétricas 7%, todos estimados em relação ao valor do grupo gerador. A Tabela 13 apresenta os valores obtidos.

Tabela 13 - Valores obtidos para os investimentos.

Investimento	Valor (R$)
Aquisição do grupo gerador	R$ 16.500,00
Instalações elétricas	R$ 1.155,00
Mão de obra para implantação	R$ 495,00
Total	R$ 18.150,00

Fonte: Menezes, 2016.

A avaliação dos custos do sistema foi realizada de forma anual e considerou os custos de depreciação, os juros sobre o capital, e os custos de operação e manutenção.

A depreciação representa a desvalorização dos bens da propriedade, que perdem valor com o passar do tempo, os quais são denominados de bens depreciáveis. Os bens depreciáveis avaliados foram: equipamentos e máquinas. A Tabela 14 apresenta os dados obtidos.

Tabela 14 - Depreciação dos bens depreciáveis.

Equipamento / material	Valor inicial (R$)	Vida útil (Ano)	Depreciação (R$/ano)
Abrigo do conjunto motor-gerador[1]	R$ 0,00	20	R$ 0,00
Instalações elétricas	R$ 1.155,00	20	R$ 57,75
Grupo gerador	R$ 16.500,00	10	R$ 1.650,00
Total	R$ 17.655,00		R$ 1.707,75

(1)Não foi considerado o valor para o abrigo, pois o mesmo ficará na casa de máquinas da estação de tratamento existente.

(2)Não foi considerado o valor final, pois os valores de revenda não foram obtidos.

Fonte: Menezes, 2016.

Os juros obtidos para o capital investido estão representados na Tabela 15.

Tabela 15 - Juros sobre o capital de investimento.

Equipamento / material	Valor inicial (R$)	Taxa de juros (%/ano)	Juros (R$ / ano)
Abrigo do conjunto motor-gerador[1]	R$ 0,00	17,88%	R$ 0,00
Instalações elétricas	R$ 1.155,00	17,88%	R$ 103,23
Grupo gerador	R$ 16.500,00	17,88%	R$ 1.474,77
Total	R$ 17.655,00		R$ 1.578,00

(1) Não foi considerado o valor para o abrigo, pois o mesmo ficará na casa de máquinas da estação de tratamento existente.
(2) Não foi considerado o valor final, pois os valores de revenda não foram obtidos.

Fonte: Menezes, 2016.

Os custos de manutenção são os mesmo do gerador anterior descritos na Tabela 10, a Tabela 16 resume o valor dos custos totais para operar o sistema em diversas situações de operação por dia.

Tabela 16 - Custos totais de operação do sistema de cogeração.

Nº de horas de funcionamento do gerador por dia	1	2	4	6	10	12	14
Itens de custo	(R$/ano)	(R$/ano)	(R$/ano)	(R$/ano)	(R$/ano)	(R$/ano)	(R$/ano)
Depreciação	1707,75	1707,75	1707,75	1707,75	1707,75	1707,75	1707,75
Juros	1578,00	1578,00	1578,00	1578,00	1578,00	1578,00	1578,00
Manutenção preventiva	1124,50	2249,01	4498,02	6747,03	11245,04	13494,05	15743,06
Mão de obra para operação do sistema	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	R$ 0,00
Total	4410,26	5534,76	7783,77	10032,78	14530,80	16779,80	19028,81

Fonte: Menezes, 2016.

A tabela 17 resume a produção de energia, o benefício, o custo com manutenção o VLP com as variações de tempo de operação. Nos custos para o fluxo de caixa não é considerado os juros sobre o capital, pois o fluxo de caixa já é descontado por uma taxa de desconto e para o benefício foi considerada a taxa de energia elétrica de R$ 0,66 kwh (ELETROBRAS, jan/2016).

Tabela 17 - Simulação da produção de energia com variação do tempo de operação.

Produção de energia (kwh/ano)	Tempo de Operação (h)	Benefício (R$)	Custo (R$)	Vlp	Tir	Payback
2.372,50	1	1.575,10	2.832,25	-24330,54	-	-14,44
4.745,00	2	3.150,20	3.956,76	-21605,66	-	-22,50
7.117,50	3	4.725,29	5.081,26	-18880,77	-	-50,99
9.490,00	4	6.300,39	6.205,77	-16155,88	-34,31%	191,81
14.235,00	6	9.450,59	8.454,78	-10706,11	-9,65%	18,23
18.980,00	8	12.600,78	10.703,78	-5256,33	0,81%	9,57
23.725,00	**10**	**15.750,98**	**12.952,79**	**193,45**	**8,76%**	**6,49**
28.470,00	12	18.901,18	15.201,80	5643,22	15,60%	4,91
33.215,00	14	22.051,37	17.450,81	11093,00	21,83%	3,95
37.960,00	16	25.201,57	19.699,82	16542,77	27,68%	3,30
42.705,00	18	28.351,76	21.948,83	21992,55	33,28%	2,83
47.450,00	20	31.501,96	24.197,83	27442,32	38,72%	2,48
52.195,00	22	34.652,16	26.446,84	32892,10	44,03%	2,21
56.940,00	24	37.802,35	28.695,85	38341,87	49,26%	1,99

Fonte: Menezes, 2016.

Com a operação de 10 horas por dia, os benefícios anuais obtidos foram de R$ 15.750,98 e custos anuais de R$ 12.952,79. A data zero corresponde ao valor do investimento inicial de R$ 18.150,00. De acordo com estes dados, os resultados mostraram que o investimento é viável economicamente, quando o período de utilização da for de 10 horas por dia, quando a produção atinge 23.725,00 KWh/ano com valor de VLP de R$ 193,45, TIR 8,76% e PRC de 6,49 anos.

O condomínio produz 2,5 m^3 de biogás por hora com população de 2.544 hab. para o condomínio gerar pelo menos 4 m^3 por hora seria necessária uma população de pelo menos 4.150 habitantes para uma estação com as mesmas características. Para melhorar essa produção pode-se melhorar a eficiência da remoção do DQO da estação de tratamento, considerando que a estação atinja 75% de eficiência de remoção é produzido 2,83 m^3 de biogás por hora, portanto quanto maior a eficiência de remoção melhor é o aproveitamento do biogás para produção de energia.

5.4.3 Cenário 03

Converter toda a energia produzida no cenário 01 conforme tabela 17 para rede de distribuição conforme resolução da ANEEL, durante as 24 horas por dia, onde o empreendimento pode chegar a produzir 56.940 kwh por ano ou 4,7 MWh por mês se enquadrando na segunda categoria de pequenos produtores de energia elétrica, a da

minigeração distribuída gerando retorno de investimento em 2 anos, com benefício de até R$ 7.800,00 e custo de operação e manutenção do gerador + filtros R$ 28.700,00.

O Benefício gerado é decorrente da energia retornada para rede que entra como compensação de crédito da próxima fatura, ou seja, não é um valor que o empreendimento vai receber, mas um valor que o empreendimento vai deixar de pagar.

6 CONCLUSÃO

A utilização do biogás não deve ser tratada apenas como um interesse econômico, ao utilizá-lo como fonte de energia elétrica nos motores de combustão, ou ainda, apenas queimá-lo evita a emissão de gás metano para a atmosfera que possui maior potencial de poluição comparado ao dióxido de carbono.

Baseado na população atendida, conclui-se que o potencial elétrico gerado por habitante pode chegar a 0,03 kWh/d em função da tecnologia de geração utilizada. Onde possui capacidade anual de até 12,43 kwh/ ano;

Em função dos três cenários observa-se que:

No primeiro cenário os 4 kva produzidos pelo gerador de 11 cv é suficiente para abastecer a iluminação da área de lazer e o excedente de energia produzida pode ser devolvida para rede da concessionária de forma análoga ao cenário 03, sem que haja necessidade de armazenar o biogás produzido desta forma evitando desperdício no horário que não esteja sendo utilizada pelo condomínio.

No segundo cenário, a geração de energia promovida pelo gerador de 18 cv é suficiente para atender as iluminações da área de lazer e das ruas internas através dos postes.

A simulação mostrou que a partir de 10 horas de operação o investimento é viável economicamente no cenário 02, no entanto, a população do condomínio não é suficiente para gerar 4 m^3 de biogás por hora para dar partida ao gerador, portanto seria necessário outro equipamento com melhor eficiência.

Já no cenário 3, observa-se que a implementação do empreendimento a Resolução da ANEEL 687/15 mostrou-se bastante viável, visto que toda energia gerada pode ir para rede de distribuição, sem gastos a mais, como baterias acumuladoras de energia ou reservatórios para acúmulo de biogás, onde o sistema apresentou grande vantagem para o empreendimento, visto que necessita apenas de 2 anos para retorno do capital investido.

Apesar das vantagens da microgeração ao nível de eficiência energética e preservação do ambiente, o elevado custo do sistema, a falta de incentivo público e a baixa eficiência de geração dificulta a sua implementação.

É essencial a continuação de pesquisas nessa área e incentivo às empresas para que seja implantados projetos desse tipo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Guia do cogerador de energia elétrica.** Brasília: Distrito Federal, 1998.

AGROSHOP- disponível em http://www.agroshop.com.br/geradorbiogas. Acessado em 19 de novembro de 2015

ANDRADE NETO, C. O.; CAMPOS, J. R.Capítulo 1: Introdução. In: CAMPOS, J. R. (coordenador). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** 1. ed. Rio de Janeiro: PROSAB/FINEP, 1999. p. 1-28.

ANEEL. Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015, referências disponíveis na Internet, http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf, 2015.

ARANTES, P.; FIX, M. Como o governo Lula pretende resolver o problema da habitação (Parte 1,2 e 3). Website.

ARAÚJO, F. S.; CARDOSO, A. L.; JAENISCH, S. T. Morando no Limite: Sobre Padrões de Localização E Acessibilidade Do Programa Minha Casa Minha Vida Na Região Metropolitana Do Rio De Janeiro. **Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional,** 15. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 2013.

ARCADIS TETRAPLAN. Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável. São Paulo. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 14724: **Informação e documentação -trabalhos acadêmicos- apresentação,** 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5410: **Instalações elétricas de baixa tensão,** 2005.

BALBIM, R. N.; KRAUSE, L. H.; NETO, V. C. L. Minha Casa, Minha Vida, nosso crescimento: como a política habitacional?. **Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional,** 15. Pernambuco. Anais... Pernambuco, 2013.

BAUER, U. R. **Matemática Financeira Fundamental.** São Paulo: Atlas, 2008.

BILOTTA. P. **Determinação da Capacidade de Geração de Energia da Estação de Tratamento de Esgotos Santa Quitéria em Curitiba/PR a Partir do Biogás.** Especialização em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Gestão Corporativa de Carbono do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná. 21p. 2014

BNDES – Banco Nacional do Desenvolvimento – **taxa de juros,** 2016. Disponível em https://www.cartaobndes.gov.br/cartaobndes/PaginasCartao/Taxa.asp?Acao=L Acesso em 15 de fevereiro de 2016

BONDUKI, N. Do Projeto Moradia ao Programa Minha Casa Minha Vida. **Teoria e Debate,v.** 82, p. 8-14, maio/jun. 2009.

BORJA. R: BANKS. C. J. Evaluation of instability and performance of an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor treating high-strength ice-cream wastewater Biotechnol. **Appl. Biochem.** v.23. p.55-61, 1996.

CARDOSO, A. (Org.). **O Programa Minha Casa Minha Vida e seus efeitos territoriais.** Rio de Janeiro: Letra Capital, 2013. 322p.

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

CENBIO (Centro Nacional de Referência em Biomassa). **Biogás e o mercado de crédito de carbono.** Nota Técnica VIII. São Paulo, 2008.

CERUTTI – disponível em: <http://www.ceruttiengenharia.com.br/empreendimento.php?emp=1508>. Acessado 15 de julho de 2015

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios**. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 5), 380 p., 2007.

CHERNICHARO, C.A.L.; SOUZA, C.L.; LOBATO, L. C. S. Estimativa de perdas metano e de potencial de recuperação de energia em reatores UASB tratando esgoto doméstico. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2011a.

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

COSTA, Rodrigo. **Guto: Análise Financeira.** Universidade federal de Pernambuco. Disponível em: www.cin.ufpe.br/~rac2/empreendimentos/AnaliseFinanceira.doc Acesso em: 22/02/2015

1º SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE REÚSO DE ÁGUA, ABES-PR. **Applications, risks, and public acceptance of water reuse,** Curitiba, 2012. CROOK, J.

ELETROBRAS - **Plano Nacional de Energia Elétrica 1993-2015.** Estudos Básicos Volume III Projeto 4. A oferta de Energia Elétrica. Biomassa Floresta, 1994

ELLER, C. M.; **Caracterização dos Compostos Traços Influentes no Aproveitamento Energético do Biogás Gerado em Reator UASB no Tratamento de Esgoto Doméstico.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo – Vitória. 81p. 2013

FLORENCIO, L.; BASTOS, R.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários.** 1.ed. Rio de Janeiro.RJ: RiMa/ABES - Projeto PROSAB, 2006. Fn Spon, 1997. 526 p.

FRANÇA JUNIOR, A. T. **Análise do Aproveitamento Energético do BiogásProduzido numa Estação de Tratamento de Esgoto.** 155 p. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, 2008.

GUPTA, K.K.; REHMAN, A.; SARVIYA, R.M. Bio-fuels for the gas turbine: **A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews,** v. 14, p. 2946-2955. 2010.

HELMER, R.; HESPANHOL, I. Water pollution control - a guide to the use of HOLM-NIELSEN, J.B.; AL SEADI, T.; OLESKOWICZ-POPIEL, P. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. **Bioresource Technology,** v. 100, p. 5478-5484. 2009.

JIMÉNEZ, B. ASANO, T. **Water reuse:** an international survey of current practice, issues and needs. 1.ed. Londres: IWA Publishing, 2008.

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

LAPPONI, J. C., "**Projetos de Investimento:** Construção e Avaliação de Fluxo de Caixa: Modelos em Excel" Lapponi Treinamento e Editora, São Paulo, 2000.

LAUTMAN, L. **Reliability of natural gas cogeneration systems.** New York: Gas Research Institute, 1993. 186 p.

1º SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE REÚSO DE ÁGUA SIMPÓSIO, ABES-PR, **Experiência de reúso de água em Israel,** Curitiba, 2012. LIBHABER, M.

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

LOBATO, L. C. S. **Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico.** 187 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2011.

METCALF & EDDY Inc. **Wastewater Engineering:** Treatment and Reuse. 4th edition,McGraw Hill, New York. 1818 p.,2003.

MASSEY, M.L. POHLAND, F.G. "phase Separation of Anaerobic Stabilization by Kinetic Controls," **J. Water Pollut. Contr. Fed.**, v.50, n.2, p.2204,1978.

SECOND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANAEROBIC DIGESTION. **History and overview of anaerobic digestion,** Barcelona, 1971. MCCARTY, P. L.

MELLO, J.C.O.; ANDRADE CANELLAS CONSULTORIA E ENGENHARIA LTDA. **Geração de eletricidade a partir de biomassa e biogás.** Minuta do Termo de Referência TR8. São Paulo: Comissão Especial de Bioenergia de Estado de São Paulo - CEBE, 2007. 75 p.

NOYOLA, A.; CAPDEVILLE, B.; ROQUES, H. Anaerobic treatment of domestic sewage with a rotating stationary fixed-film reactor. **Water Research,** v. 22, n. 12, p. 1585-1592. 1988.

NORMA TÉCNICA - NTD - 001/2008: Projeto de Loteamentos Departamento de Projeto e Construção

NORMA TÉCNICA - NTD – 00.001/2013: Elaboração de projetos de redes aéreas de distribuição urbanas

ONU (Organização das Nações Unidas). **World population projected to reach 9.6 billion by 2050– UN report.** 2013. Disponível em: http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=45165&Cr=population&Cr1=#.U1bBZvk7uSr. Acesso em 22 abr. 2014.

OSÓRIO, R. C. F, **Estudo do potencial reúso industrial de água não potável a partir de efluentes domésticos tratados.** 2013. Dissertação (Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

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. 153 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Inter-unidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PEQUENO, L. Minha Casa, Minha Vida em Fortaleza: novas periferias? **Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional,** 15. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 2013.

PILÃO, N. E.; HUMMEL, P. R. V.. **Matemática financeira e engenharia econômica**: a teoria e a prática da análise de projetos de investimentos. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. 273 p

POLONIO, J. C. et al. Potencial biorremediador de microrganismos: Levantamento de resíduos industriais e urbanos tratáveis no município de Maringá-PR. **BBR - BIOCHEMISTRY AND BIOTECHNOLOGY REPORTS,** Londrina, v.3, n.2, p.31-45, 2014. E-ISSN: 2316-5200

PORTAL BRASIL disponível em: < http://www.brasil.gov.br/governo/2016/02/governo-lanca-3a-fase-do-minha-casa-minha-vida-em-marco>. Acessado em 14 de abril de 2016.

RAMOS, R.A. **Avaliação da influência da operação de descarte de lodo no desempenho de reatores UASB em estações de tratamento de Esgotos no Distrito Federal.** 133 p. Dissertação (Mestrado em engenharia civil e ambiental) - Escola de Engenharia, Universidade de Brasília, 2008.

RISSOLI, C. A.; BERNARDES, R. S. Estudo de parâmetros cinéticos do reator UASB tratando esgoto doméstico e avaliação da biodegradabilidade de seu efluente. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 23. Anais ... Campo Grande, 2005.

RODRIGUES, L.; MARQUES, E, O Programa Minha Casa Minha Vida na metrópole paulistana: atendimento habitacional e padrões de segregação, **R. B. ESTUDOS URBANOS E REGIONAIS,** V.15**,** N.2, novembro, 2013.

ROLNIK, R.; NAKANO, A. As armadilhas do pacote habitacional. **Le Monde Diplomatique, São Paulo, n. 2 p. 4-5, 2009.**

SALOMON, K.R.; LORA, E.E.S. Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. **Biomass and Bioenergy,** v.33, p.1101-1107. 2009.

SAWYER, C. N.; MCCARTY, P. L. **Chemistry for environmental engineering.**3. ed. McGraw-Hill. New York. 1978.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisões financeiras e análise de investimentos:** fundamentos, técnicas e aplicações. 6ª edição. São Paulo: Atlas, 2008. 186 p.

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

TENTSCHER, W. K.. Biogas technology as a component of food processing systems. **Food Technol.** jan. p.80-85, 1995.

UMCTEC - **Redes Aéreas de Distribuição** Prof. Abelardo. Disponível em: < http://edsonjosen.dominiotemporario.com/doc/Apostila%20Distribuicao%20de%20Energia%20-%20UMCTEC.pdf>.acesso em: 10/06/2015

USEPA. **A brief characterization of gas turbines in combined heat and power applications.** Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency. 2003a. Disponível em: <http://www.epa.gov/lmop/res/pdf/chp_gasturbines.pdf>. Acesso em: 19/11/2015.

USEPA. **A brief characterization of reciprocating engines in combined heat and power applications.** Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency. 2003b. Disponível em: <http://www.epa.gov/landfill/res/pdf/chp_recipengines.pdf>. Acesso em: 16/11/2015.

USEPA. **Turning a Liability into an Asset:** A Landfill Gas-to-Energy Project Development Handbook. Landfill Methane Outreach Program. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency. 1996. Disponível em: <http://www.epa.gov/landfill/res/pdf/handbook.pdf.>. Acesso em: 16/04/2009

VAN HAANDEL, A.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgoto.** Um manual para regiões de clima quente. Campina Grande: EPGRAF, 240 p. 1994.

VAN WYLEN, G.; SONNTAG, R.; BORGNAKKE, C. **Fundamentos da termodinâmica clássica.** São Paulo: Edgard Blücher, 1995. 594 p.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgoto.** 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 211 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.2).

WORLD POPULATION; United Nations Department of Economic and Social Affairs Population Division. 15-15398—Dezembro 2015

ZILOTTI, H. A. R. **Potencial de Produção de Biogás em uma Estação de Tratamento de Esgoto de Cascavel para a Geração de Energia Elétrica.** Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Energia na Agricultura. Universidade Estadual do Oeste do Paraná-UNIOESTE, Paraná. 52p. 2012.

APÊNDICE

MEMÓRIA DE CÁLCULO - ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS:

Vazão per capita média de esgoto:

$$Q_{méd} = \frac{Q_{pc} \text{ x } r \text{ x } Pop}{1000} =$$

$$\frac{120 \frac{l}{hab}. dia \text{ x } 0{,}80 \text{ x } 2.544 \text{ hab}}{1000} =$$

$$244{,}22 \frac{m^3}{dia}$$

A estimativa da massa diária de DQO removida no sistema:

$$R_{DQO}^{rem} = Pop \text{ x } QPC_{DQO} \text{ x } \frac{E_{DQO}}{100} =$$

$$2.544 \text{ x } 0{,}10 \frac{kg\ DQO}{hab. dia} \text{ x } \frac{70}{100} =$$

$$178{,}08 \frac{kg\ DQO}{dia}$$

A estimativa da massa diária de DQO utilizada pela biomassa:

$$R_{DQO}^{lodo} = R_{DQO}^{rem} \text{ x } Y \text{ x } K_{sólidos} =$$

$$178{,}08 \frac{kg\ DQO}{dia} \text{ x } 0{,}15 \text{ x } 1{,}42 =$$

$$37{,}93 \frac{kg\ DQO\ lodo}{dia}$$

A estimativa da carga de sulfato convertida em sulfeto:

$$R_{SO_4}^{con} = Q_{méd} \text{ x } C_{SO_4} \text{ x } \frac{E_{SO_4}}{100} =$$

$$244{,}22 \frac{m^3}{dia} \text{ x } 0{,}06 \frac{kg\ SO4}{m^3} \text{x} \frac{75}{100} =$$

$$10{,}99 \frac{kg\ SO4}{dia}$$

A estimativa da massa diária de DQO utilizada na redução de sulfato:

$$R_{DQO}^{SO_4} = R_{SO_4}^{con} \text{ x } K_{DQO}^{SO_4} =$$

$$10{,}99 \frac{\text{kg SO4}}{\text{dia}} \text{ x } 0{,}667 \frac{\text{kg DQO}}{\text{kg SO4}} =$$

$$7{,}33 \frac{\text{kg DQO SO4}}{\text{dia}}$$

A estimativa da massa diária de DQO convertida em metano:

$$R_{DQO}^{CH_4} = R_{DQO}^{rem} - R_{DQO}^{lodo} - R_{DQO}^{SO_4}$$

$$178{,}08 \frac{\text{kg DQO}}{\text{dia}} - 37{,}93 \frac{\text{kg DQO lodo}}{\text{dia}} - 7{,}33 \frac{\text{kg DQO SO4}}{\text{dia}} =$$

$$132{,}82 \frac{\text{kg DQO CH4}}{\text{dia}}$$

A estimativa da quantidade diária de metano produzida:

$$Q_{CH_4} = \frac{R_{DQO}^{CH_4} \text{ x R x } (273 + T)}{P \text{ x } K_{DQO} \text{ x } 1000} =$$

$$\frac{132{,}82 \frac{\text{kg DQO CH4}}{\text{dia}} \text{x } 0{,}08206 \frac{\text{atm l}}{\text{mol.} K} \text{ x } (273 + 25°C)}{1 \text{ atm x } 0{,}064 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \text{ x } 1000} =$$

$$50{,}75 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

Perdas na fase gasosa com gás residual:

$$Q_{CH_4}^{w} = Q_{CH_4} \text{x } p_w =$$

$$50{,}75 \frac{m^3}{\text{dia}} \text{ x } 0{,}05 =$$

$$2{,}54 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

Outras perdas de metano na fase gasosa:

$$Q_{CH_4}^{O} = Q_{CH_4} \text{ x } p_O$$

$$50{,}75 \ \frac{m^3}{dia} \text{ x } 0{,}05 =$$

$$2{,}54 \ \frac{m^3}{dia}$$

Perda de metano na fase liquida, dissolvida no efluente:

$$Q_{CH_4}^{L} = Q_{méd} \text{x } p_L \text{x } f_{CH_4} \text{x } \frac{R \text{ x } (273 + T)}{P \text{ x } K_{DQO} \text{ x } 1000} =$$

$$244{,}22 \frac{m^3}{dia} \text{ x } 0{,}02 \frac{kg}{m^3} \text{x } 4{,}0 \text{ x } \frac{0{,}08206 \frac{atm \ l}{mol.\ K} \text{ x } (273 + 25°C)}{1 \text{ atm x } 0{,}064 \ \frac{kg}{mol} \text{ x } 1000} =$$

$$7{,}47 \ \frac{m^3}{dia}$$

Produção real de metano disponível para recuperação de energia:

$$Q_{CH_4}^{real} = Q_{CH_4} - \left(Q_{CH_4}^{w} + Q_{CH_4}^{O} + Q_{CH_4}^{L}\right) =$$

$$50{,}75 \ \frac{m^3}{dia} - \left(2{,}54 \ \frac{m^3}{dia} + \ 2{,}54 \ \frac{m^3}{dia} + 7{,}47 \ \frac{m^3}{dia}\right) =$$

$$38{,}21 \ \frac{m^3}{dia}$$

Produção de biogás capturado

$$Q_{biogás} = \frac{Q_{CH_4}^{real}}{C_{CH_4}} \text{x } 100 =$$

$$Q_{biogás} = \frac{38{,}21 \ \frac{m^3}{dia}}{65} \text{x } 100 =$$

$$58{,}78 \ \frac{m^3}{dia}$$