

PRODUÇÃO DE METANO EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS E CO-GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA: UM ESTUDO DE CASO NA ETE EM PASSOS - MG

Alexandre de Oliveira Lopes (UNIS - MG)
lopesxande@yahoo.com.br

Nilton dos Santos Portugal (UNIS - MG)
nilton@unis.edu.br

Pedro dos Santos Portugal Junior (UNIS - MG)
pedrorotaract@hotmail.com

Luiz Carlos Vieira Guedes (UNIS - MG)
guedes@unis.edu.br



Gerenciando a questão ambiental e analisando os resíduos produzidos pelo homem em termos de volume e composição busca-se meios para mitigar os impactos causados pelas emissões de esgoto nas cidades e viabilizar o saneamento básico (Pnud-ODMM7-M10-I31). Sob esta ótica torna-se necessário discutir as questões das estações de tratamento de esgoto, ETE, que além das funções sanitárias e ambientais são potencialmente fontes produtoras de energia elétrica através do aproveitamento da produção de metano, que é 21 vezes mais poluidor que o gás carbônico, CO₂ (Protocolo de Kyoto, COP15-Copenhague). São apresentados neste estudo a viabilidade econômica da implantação de uma unidade de produção de Energia Elétrica nas ETE. O objetivo é desenvolver métodos de acompanhamento e quantificação volumétrica de metano por dia tendo como base os indicadores de eficiência da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), reduzindo assim os custos operacionais. Para tanto foi desenvolvido o modelamento matemático pertinente, visando operacionalização da ETE como co-geradora de energia elétrica. Primeiramente a pesquisa caracteriza os efluentes gerados nas cidades, sua destinação, os processos biológicos envolvidos, as etapas de degradação da matéria orgânica, os tipos e os fatores importantes para a digestão, os gases exalados nos reatores (biogás), a sua purificação, armazenamento e destinação. Foram acompanhados, através de coletas em campo, os indicadores de eficiência da ETE levando-se em conta os padrões normativos de lançamento de afluentes no corpo receptor. Neste trabalho serão apresentadas as etapas do tratamento e a descrição do sistema existente. E ainda, demonstram-se, na forma de tabelas, os indicadores levantados na ETE e os materiais e método necessário. Assim, parte-se para a apresentação do modelamento matemático e baseado nos dados históricos serão

determinados os volumes de metano produzidos. Por fim, de posse desses dados serão realizados os estudos do potencial elétrico e do retorno do investimento.

Palavras-chaves: Metano. Co-geração. Desenvolvimento sustentável.

1 – INTRODUÇÃO

A deficiência no tratamento dos efluentes líquidos residenciais, mais conhecidos como esgoto doméstico, é um problema que atinge todas as áreas do país. Mesmo nas grandes cidades o efluente que é coletado, na maioria dos casos, não recebe nenhum tipo de tratamento antes de ser despejado nos cursos de água. O tratamento é composto por uma série de processos que têm como objetivo diminuir o potencial tóxico do efluente antes de retorná-lo ao meio ambiente.

Tendo em vista a necessidade, cada vez maior, de novas fontes de energia, os estudos do aproveitamento do metano para fins energéticos nas ETE – Estações de Tratamento de Efluentes se tornaram uma nova saída para a viabilidade do intento, que apenas pela função ambiental já se justificaria.

O metano obtido como resultado do tratamento de efluentes residenciais nas ETE's, se devidamente filtrado, representa uma fonte renovável de energia, além de suas funções sanitárias e ambientais. Sendo assim, a produção de energia a partir do biogás vem ganhando importância e sua utilização para fins energéticos representa economia de recursos ambientais, bem como a redução dos poluentes de esgoto e eliminação do metano lançado na biosfera.

A Estação de Tratamento de Efluente tipo RAFA (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente com Manta de Lodo) do SAAE, localizada em Passos-MG, foi escolhida por ter uma regularidade no volume de efluente recebido diariamente. O processo de tratamento utilizado é a digestão anaeróbia, tendo como principais produtos resultantes do tratamento: o biogás (composto principalmente de metano) e o lodo. Uma alternativa altamente eficiente é a conversão do biogás, através da queima em motores, para gerar energia elétrica. O aproveitamento energético do resíduo do processo de tratamento, o metano, reduz a emissão de gases de efeito estufa, colabora para o aumento da eficiência energética global da estação de tratamento e conseqüentemente gera viabilidade do saneamento básico no país.

2 – REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Esgoto sanitário

O esgoto sanitário, segundo Gotaas (1957) compõe-se das águas servidas de uma comunidade, que podem ser de origem puramente doméstica, das indústrias ou de atividades agrícolas. Inicialmente, considerando-se apenas o esgoto sanitário, proveniente das residências, que conforme Tebbut (2005) são compostos por resíduos humanos (fezes e urina) e águas servidas, que são as águas resultantes do asseio pessoal como lavagem de roupas, de utensílios, bem como a preparação de comida. O esgoto sanitário recém-produzido apresenta-se com um líquido turvo, de coloração parda, com odor similar ao do solo. Contêm (i) sólidos de grandes dimensões em flutuação ou suspensão, tais como: fezes, trapos e recipientes de plástico; e (ii) sólidos de pequenas dimensões em flutuação ou suspensão, tais como: fezes parcialmente desintegradas, papeis e cascas.

2.1.1 Processos de conversão em sistemas anaeróbios

A digestão é um processo bioquímico complexo, compostos por várias reações seqüenciais, cada uma com sua população bacteriana específica.

Para digestão anaeróbia de material orgânico complexo, como proteínas, carboidratos e lipídios (a maior parte da composição do material orgânico em esgoto sanitário é formada por esses grupos), podem-se distinguir quatro etapas diferentes no processo global da conversão: hidrólise; acidogênese; acetogênese e metanogênese.

No processo da hidrólise, a matéria prima em forma sólida é fracionada pelo efeito de enzimas extracelulares que irão promover a hidrólise das partículas e transformar as moléculas maiores em moléculas menores e dissolvidas na água circundante de modo a ser utilizável pelas bactérias. (Chernicharo, 2007). Na acidogênese têm-se algumas moléculas que são degradadas diretamente nas células das bactérias fermentativas e, após a acidogênese, excretadas como substâncias orgânicas simples como ácidos graxos voláteis de cadeia curta (AGV), álcoois, ácido lático e compostos minerais como CO_2 , H_2 , NH_3 , H_2S etc. A fermentação acidogênica é realizada por um grupo diversificado de bactérias, das quais a maioria é anaeróbia obrigatória. Entretanto, algumas espécies são facultativas, e podem metabolizar material orgânico por via oxidativa. (Craveiro, 2006). Essas bactérias facultativas podem atuar tanto em meio aeróbio como anaeróbio. 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 digerida são convertidas em ácido acético, enquanto o restante da DQO é concentrado no hidrogênio formado. (Netto, 1961). No processo metanogênese, o metano é produzido pelas bactérias acetotróficas, a partir da redução de ácido acético, ou pelas hidrogenotróficas, a partir da redução do dióxido de carbono.

A última etapa na produção do biogás é a formação de metano. As bactérias metanogênicas, as que formam o metano, transformam o hidrogênio, o dióxido de carbono e o ácido acético em metano (CH_4 e CO_2); proteínas, aminoácidos, celulose, etc., são atacados (além de outros compostos nitrogenosos); produção de amônia, sais de ácidos orgânicos e grandes volumes de gás principalmente o metano; cheiro de alcatrão; pequena ou nenhuma quantidade de sólidos sobrenadantes; o pH passa para a zona alcalina: 6,9 a 7,4 e os lodos apresentam o efeito tampão, não se alterando o pH, mesmo com a adição de volumes apreciáveis de ácidos ou alcalis (lodo rico em flora e enzimas. O DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) é rapidamente reduzido. (Netto, 1961)

2.1.2 Fatores importantes na digestão anaeróbia

Segundo Chernicharo (2007), os fatores que influenciam o desempenho da digestão anaeróbia de água residuária são: (i) os fatores ambientais (temperatura, alcalinidade, pH e nutrientes) e (ii) outros fatores (impermeabilidade do ar, teor da água, capacidade de assimilação de carga tóxica, transferência de massa, sobre-carga hidráulica e atividade metanogênica):

✓ Temperatura é um dos fatores ambientais mais importantes na digestão anaeróbia, uma vez que afeta os processos biológicos de diferentes maneiras. As bactérias produtoras do biogás, em especial as que produzem metano, são muito sensíveis a alterações de temperatura. A faixa ideal para a produção de biogás é de 35°C a 45°C (bactérias mesofílicas), com a faixa de temperatura variando há a flutuação nos resultados do processo final de produção do gás.

✓ Alcalinidade e pH, a acidez ou basicidade do meio é indicada pelo pH. A alcalinidade é uma medida da quantidade de carbonato na solução (proveniente do CO_2 produzido durante a digestão anaeróbia). A alcalinidade é importante, pois, conforme as bactérias produzem ácidos, o que implica em uma diminuição do pH, o carbonato reage com esses ácidos, o que leva a um controle da acidez do meio (efeito tampão do carbonato). As bactérias que

produzem o metano sobrevivem numa faixa estreita de pH (6,5 a 8,0). Assim, enquanto as bactérias produtoras de ácido (estágio 1 e 2 da digestão anaeróbia) produzem ácidos, as bactérias produtoras de metano consomem esses ácidos, mantendo o meio neutro (PROSAB, 2003).

- ✓ Impermeabilidade ao ar, as bactérias metanogênicas são essencialmente anaeróbias, portanto, o biodigestor deve ser perfeitamente vedado. A decomposição de matéria orgânica na presença de ar (oxigênio) irá produzir apenas dióxido de carbono (CO_2).
- ✓ Capacidade de assimilação de cargas tóxicas, de modo geral, os compostos que podem exercer influência tóxica sobre as bactérias metanogênicas, normalmente, não se encontram no efluente sanitário. Somente a presença de oxigênio dissolvido pode constituir problema se o projeto do reator for inadequado, permitindo intensa aeração do efluente antes de sua entrada no sistema de tratamento.
- ✓ O teor de água dentro do biodigestor, para um bom funcionamento, deve variar de 60% a 90% do peso do conteúdo total. No caso de dejetos humanos o processo pode ser aplicado, no entanto haverá um elevado teor de água (99%). Porém, os reatores são desenvolvidos para trabalharem com esse teor de água.

2.1.3 Gases exalados em reatores anaeróbios (RAFA) e Microrganismos anaeróbios

Os reatores anaeróbios, mediante as várias rotas metabólicas dos microrganismos presentes, podem gerar diferentes gases, dependendo do substrato que é submetido ao tratamento. (PROSAB, 2003). Os principais gases (em termos de porcentagem na composição do biogás) gerados nesses reatores são: metano (CH_4); gás carbônico (CO_2); gás amoníaco (NH_3), gás sulfídrico (H_2S); hidrogênio (H_2) e nitrogênio (N_2).

A produção de biogás, por pessoa, atendida em uma ETE, pode variar predominantemente, na faixa de 5 a 20L/pessoa/dia, sendo que a participação de metano, em volume, pode variar na faixa de 50% a 70%, na maior parte dos casos.

Nos processos anaeróbios ou nos sistemas de biodigestão anaeróbia, a degradação da matéria orgânica envolve a atuação de microrganismos procarióticos anaeróbios facultativos e obrigatórios, cujas espécies pertencem ao grupo de bactérias hidrolíticas-fermentativas, acetogênicas produtoras de hidrogênio e metanogênicas. A bioconversão da matéria orgânica poluente com produção de metano requer a cooperação entre culturas bacterianas. Na atividade microbiana anaeróbia em biodigestores, como também em habitats naturais com formação de metano (sedimentos aquáticos, sistema gastrointestinal de animais superiores, pântanos, etc.), o que se observa é a ocorrência da oxidação de compostos complexos, resultando nos precursores do metano, acetato e hidrogênio.

Os organismos da biodigestão anaeróbia apresentam um elevado grau de especialização metabólica. A eficiência do processo anaeróbio depende, portanto, das interações positivas entre as diversas espécies bacterianas, com diferentes capacidades degradativas. Os intermediários metabólicos de um grupo de bactérias podem servir como nutrientes ao crescimento de outras espécies. Assim, observa-se a ocorrência de várias reações de degradação dos compostos orgânicos e a dependência das mesmas da presença do hidrogênio formado no sistema.

A remoção do hidrogênio nos sistemas anaeróbios é feita pela ação de bactérias anaeróbias hidrogenotróficas, representadas por espécies de metanobactérias e de redutoras do

ion sulfato. A cooperação entre as bactérias produtoras e consumidoras de hidrogênio, sob condições anaeróbias, é denominada intransferência de hidrogênio entre espécies.

2.2 – Purificação do biogás

Segundo estudos e documentos da Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR (2010), o biogás produzido em biodigestor é constituído por outros gases, além do metano (CH_4), que servirá como combustível para a produção de energia. Quanto mais purificado o biogás, melhor será sua eficiência de combustão, para isto é necessário aplicar formas de retirada dos gases que diminuem a sua eficácia. No trabalho efetuado, foram aplicados filtro de gás sulfídrico (H_2S) com a intenção de diminuir ou eliminar o poder de corrosão do gás nos equipamentos de compressão e armazenamento, bem como melhorar sua combustão. Nos processos de purificação ou de remoção do H_2S e do CO_2 para a obtenção do CH_4 deve-se levar em conta alguns fatores: (i) viabilidade técnica e econômica; (ii) mão de obra destinada à operação do processo e (iii) características físico-química do H_2S e do CO_2 (NIELSEN, 1983).

O gás de esgoto produzido nos digestores anaeróbios é acumulado na cúpula dos mesmos e daí é drenado para os queimadores de gás ou poderá ser destinado a uma planta de purificação com vistas à obtenção do metano. Obviamente surge a necessidade de se armazenar o gás de esgoto antes mesmo de ser processado e uma vez obtido o metano, este também deve ser armazenado. Quanto ao dimensionamento do reservatório, para Chernicharo (2007), deve-se levar em consideração: a demanda diária de gás; a curva de variação da demanda em função da hora do dia e a taxa de produção de gás pelo digestor. Recomenda-se que os reservatórios ou gasômetros, para biogás, tenham capacidade de armazenar no mínimo a produção de 4 a 8 horas do biodigestor. Assim, é usual dimensionar o gasômetro entre 1/3 e 1/6 da produção diária de biogás para biodigestores de grande capacidade de produção. No entanto, com biodigestores de pequena capacidade de produção aconselha-se a dimensionar o gasômetro com uma capacidade maior, da ordem de 50% da produção diária, ou até mais, conforme a equação (1) (Sunsuy, 2011) que modela de forma simples a produção e o consumo de biogás.

$$V_g = \frac{V_p - [T_c V_p]}{624} = \frac{V_p [24 - T_c]}{624} \quad (1)$$

Onde:

V_g = volume recomendado para gasômetro em m^3 ;

V_p = produção diária de biogás em m^3 ;

T_c = tempo de consumo do biogás em horas.

Com esta expressão, fica claro que menores tempos de consumo impõem gasômetros maiores. O armazenamento do biogás é feito essencialmente de três maneiras: à baixa pressão; à alta pressão e liquefeito.

Por baixa pressão entende-se valores entre 100 e 300 mm de coluna d' água, sendo 200 mm uma média muito comum. Nestes casos são adotados gasômetros com selo hidráulico. Por altas pressões só se justifica em grandes sistemas completos (purificação do biogás). Suas vantagens são: redução de volume do gasômetro e estabilidade da pressão de fornecimento.

O tratamento biológico ou biotratamento de esgoto sanitário e resíduos sólidos emprega a ação conjunta de espécies diferentes de microrganismos, em bioreatores, que operados sob determinadas condições resulta na estabilização da matéria orgânica poluente.

Os sistemas biológicos de tratamento de resíduos devem atender alguns importantes aspectos: (i) remoção da matéria orgânica, portanto redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio do resíduo a ser tratado; (ii) degradação de compostos químicos orgânicos de difícil degradação (recalcitrantes) e (iii) fornecimento de um efluente em condições que não afete o equilíbrio do sistema receptor final (rios, lagos, etc.).

A eficiência no tratamento é avaliada levando em consideração a característica do afluente e do efluente, avaliando assim a degradação da matéria orgânica ocorrida nos reatores, ou o quanto o tratamento reduz os contaminantes. O DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), SS (Sólidos Suspensos) e pH são indicadores da eficiência da ETE. A eficiência de cada item é calculada em termos de porcentagem, conforme equação abaixo:

$$[(V_{afluente} - V_{efluente}) / V_{afluente}] * 100 \quad (2)$$

3 – METODOLOGIA

Para a realização desta pesquisa o método de pesquisa escolhido foi o estudo de caso, tendo como elementos centrais os processos de geração de energia a partir do metano em uma ETE do Serviço Autônomo de Água e Esgoto localizado na cidade de Passos, sul de Minas Gerais.

Segundo Yin (2001), a recomendação pelo estudo de caso deve ser quando do estudo de eventos contemporâneos.

Nessa perspectiva, ressalta-se que o trabalho está focado em um estudo de natureza descritiva e dedutiva. Conforme Bervian e Cervo (1996), a pesquisa descritiva se caracteriza por observar, registrar e correlacionar fatos ou fenômenos sem manipulá-los. Para Gil (1991) o método dedutivo caracteriza-se por partir de concepções gerais e aplicá-las a nível específico em determinado estudo.

A questão de pesquisa abordada neste trabalho é do tipo: “como”. Seu objetivo foi avaliar as formas e implicações do processo de geração de energia acima explicado.

4 – AVALIAÇÕES DO AFLUENTE E CORPO RECEPTOR

Os valores de DBO, DQO e SS dos afluentes que chegam à estação de tratamento referem-se a períodos históricos de novembro de 2008 a dezembro de 2009.

A vazão mínima no ponto de lançamento no ribeirão Bocaina é de 2,13 m³/s e está enquadrado como Classe 2 conforme estabelecido na Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH nº. 01 de 05/05/2008. Cabe salientar que o enquadramento específico do ribeirão Bocaina ainda não foi realizado, portanto suas águas são consideradas Classe 2.

Para os efluentes a serem lançados nos Rios Tipo Classe 2, segundo a normativa supracitada artigo 29, § 4^o, são:

- a. DBO: < 60 mg/L de O₂;
- b. DQO: < 180 mg/L de O₂;
- c. pH: entre 6 e 9;

- d. Temperatura: Inferior a 40°C, sendo que a elevação de temperatura do Corpo receptor não deverá exceder a 3°C;
- e. Materiais Sedimentáveis: até 1,00 ml/L, em teste de uma hora em cone Imhoff;
- f. Regime de Lançamento: Vazão máxima de até 1,50 vezes a vazão média do período de atividade diária;
- g. Óleos e Graxas: Óleos minerais até 20 mg/L;
- h. Óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;
- i. Ausência de materiais flutuantes.

4.1 Etapas do tratamento

- *Tratamento preliminar ou primário (físico)*: tem como objetivo a remoção, por ação física, do material grosseiro e uma parcela das partículas maiores em suspensão.
- *Estação elevatória de esgoto*: tem com objetivo de bombear o efluente para a entrada de ETE.
- *Segundo gradeamento*: o segundo gradeamento é constituído por grades com espaçamento das barras de 25 mm e funcionamento automático.
- *Desarenador (caixa de areia)*: a unidade desarenadora é do tipo canal duplo, composto por controladores de fluxo, raspadores mecanizados e rosca transportadora, com limpeza automática e se localiza após o gradeamento.
- *Tratamento secundário - Reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (biológico)*: são compostos por um leito de lodo biológico, no interior do qual, os microorganismos anaeróbios efetuam o tratamento do efluente. O efluente é encaminhado para as caixas de distribuição (primárias, secundárias e terciárias) e conduzidos até o fundo dos reatores através dos tubos difusores, distribuídos simetricamente pelo fundo dos reatores.

Os reatores são compostos por leitos biológicos densos e de elevada atividade metabólica, no qual ocorre a digestão anaeróbia da matéria orgânica do efluente em fluxo ascendente. A biomassa pode apresentar-se em flocos ou grânulos maiores e menores. O perfil de sólidos no reator varia de muito denso e com partículas granulares de elevada capacidade de sedimentação próxima ao fundo (leito de lodo), até um lodo mais disperso e leve, próximo ao topo do reator (manta de lodo). O cultivo de um lodo anaeróbio de boa qualidade é conseguido através de um processo cuidadoso de partida, durante o qual a seleção da biomassa é imposta, permitindo que o lodo mais leve, de má qualidade, seja arrastado para fora do sistema, ao mesmo tempo em que o lodo de boa qualidade é retido. O tempo de detenção do efluente nos reatores anaeróbios é em torno de 10 horas. A figura abaixo representa esquematicamente o fluxo dentro do reator e os resíduos gerados (gases e lodo).

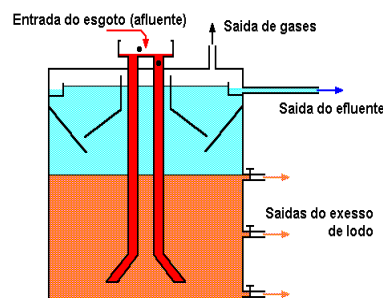


Figura 1 – Esquema do fluxo dentro do reator
Fonte: Chernicharo, 2007

Nos reatores ocorre a formação de um leito de lodo com alta concentração de matéria orgânica e microorganismos junto ao fundo do reator. O descarte ocorre através de uma unidade desaguadora, que conta com uma centrífuga para separação do lodo. O lodo centrifugado é descartado em uma caçamba e conduzido ao aterro sanitário. O descarte da espuma é realizado periodicamente ou em eventuais aumentos. Este procedimento é realizado fechando-se as válvulas de saída do reator e direcionando o fluxo para o leito de secagem de espuma. Este resíduo é armazenado em caçambas e destinado ao aterro sanitário devidamente licenciado para receber este tipo de material.

Um dos subprodutos da decomposição anaeróbia nos reatores é a formação de vários gases, entre os quais o mais importante é o gás metano, altamente energético, podendo ser utilizado como alternativa para geração de energia através de geradores ou como combustível para veículos automotores. Devido às características intrínsecas de cada gás, promove-se a queima controlada, através do queimador de gases, evitando assim a poluição da atmosfera. O gás metano contribui para o aumento do efeito estufa, que em desequilíbrio em nosso planeta, dá origem ao fenômeno conhecido como aquecimento global, sendo esse gás cerca de vinte vezes mais poluente que o gás carbônico (Protocolo de Kyoto).

4.2 Descrição do sistema existente

O efluente bruto chega até o sifão, onde passa pelo primeiro gradeamento (50 mm) e por um desarenador. Em seguida é conduzido através de um tubo de 800 mm até o reservatório da elevatória. Na elevatória, através de dois conjuntos moto-bombas recebe-se energia potencial, elevando à altura do efluente para 26 m. O fluido é conduzido 760 metros através de tubos, chega à área da ETE e é encaminhado ao canal de entrada, onde o efluente passa pelo gradeamento através de um sistema de barras. A finalidade do gradeamento é reter as partículas superiores a 25 mm e materiais sólidos. A grade é de limpeza manual e com frequência diária ou conforme a necessidade. O próximo gradeamento também é confeccionado com barras, porém espaçadas de 15 mm e com limpeza automática através de raspadores automáticos e esteira transportadora. Todo o material retirado do gradeamento é acondicionado em uma caçamba e posteriormente enviado ao aterro sanitário.

Após o sistema de gradeamento, o efluente passa pelo desarenador ciclônico, cuja função é a retirada de areia efetuada por um sistema de raspadores em conjunto com um transportador de parafuso e caçamba de armazenagem.

Com a remoção dos sólidos sedimentáveis, o efluente passa pela Calha Parshal, que tem a finalidade de medir a vazão do efluente, através da leitura do nível visual ou automática (eletrônica).

No RAFA, a partir do distribuidor central, é equitativamente conduzido ao fundo da estrutura através de tubos difusores. A partir deste ponto o efluente em fluxo ascendente entra em contato com a manta de lodo previamente formado possibilitando que as bactérias anaeróbias promovam a estabilização da matéria orgânica, produzindo água e o biogás entre outras substâncias. Na parte superior do reator a parede defletora existente funciona como interface da zona de digestão e de decantação. Os gases produzidos ficam concentrados na parte superior do reator e, a partir da tubulação específica, podem ser aproveitados ou descartados para a atmosfera. Após o desprendimento das bolhas de gás gerado, a parte sólida que se encontra agregada às mesmas, retorna ao manto de lodo, enquanto a parte líquida segue ao decantador periférico, sendo vertida em uma canaleta através de vertedores triangulares e é lançado no corpo receptor (Rio Bocaina) por um emissário. Já a parte sólida (lodo) é conduzida através de tubos ao decantador e em seguida a área de tratameto de lodo, e

desaguagem. A espuma, que também é um resíduo, é direcionada ao decantador e para o leito de secagem.

4.3 Projeto captação do biogás

Contextualizando o problema da geração de maus odores nas instalações de tratamento de esgoto sanitários, pode-se destacar a geração deste em função dos processos adotados e das condições operacionais empregadas. Por estas condições estas instalações podem se tornar indesejáveis às suas vizinhanças. Justificando assim a gestão destas emissões odorantes através de ações de prevenção, bem como a de tratamento destes gases.

Os maus odores são provenientes de uma mistura complexa de moléculas com enxofre (H_2S e mercaptanas), nitrogenadas (NH_3 e aminas), fenóis, aldeídos, álcoois, ácidos orgânicos (CHERNICHARO, 2007).

Nos processos anaeróbicos de tratamento de esgoto, os compostos odorantes, provenientes da atividade microbiana são: gás sulfídrico, mercaptanas, amônia, aminas com baixo peso molecular, indol, escatol, ácidos graxos voláteis, álcoois, aldeídos, cetonas e esterés. Conforme se pode depreender a partir da tabela 1, os compostos com enxofre possuem seus limites de detecção e percepção olfativas em concentrações bastante reduzidas, sendo, portanto, os principais compostos responsáveis pelos maus odores. Em segundo grau de importância apresentam-se os compostos com nitrogênio.

Tabela 1 – Características dos principais compostos odorantes em estações de tratamento de águas residuárias

Classe de composto	Composto	Peso molecular (g)	Fórmula química	Característica dos odores	Limite olfativo (mg/N m ³ ar)
Enxofre	Ácido sulfídrico	34,1	H_2S	Ovo podre	0,0001 a 0,03
	Metilmercaptana	48,1	CH_3SH	Repolho, alho	0,0005 a 0,08
	Etilmercaptana	62,1	C_2H_5SH	Repolho deteriorado	0,0001 a 0,03
	Dimetilsulfeto	62,13	$(CH_3)_2S$	Legumes deteriorados	0,0025 a 0,65
	Dietilsulfeto	90,2	$(C_2H_5)_2S$	Etéreo	0,0045 a 0,31
	Dimetildissulfeto	94,2	$(CH_3)_2S_2$	Pútrico	0,003 a 0,0014
Nitrogênio	Amônia	17	NH_3	Picante e irritante	0,5 a 37
	Metilamina	31,05	CH_3NH_2	Peixe em decomposição	0,0021
	Etilamina	45,08	$C_2H_5NH_2$	Picante, amoniacal	0,05 a 0,83
	Dimetilamina	45,08	$(CH_3)_2NH$	Peixe deteriorado	0,047 a 0,16
	Indol	117,5	C_8H_7NH	Fecal, nauseante	0,0006
	Escatol	131,5	C_9H_9NH	Fecal, nauseante	0,0008 a 0,10
	Cadaverina	102,16	$NH_2(CH_2)_5NH_2$	Carne em decomposição	-
Ácidos	Acético	60,05	CH_3COOH	Vinagre	0,025 a 6,5
	Butírico	88,1	C_3H_7COOH	Manteiga	0,0004 a 3
	Valérico	102,13	C_4H_9COOH	Suor	0,0008 a 1,3
Aldeídos e Cetonas	Formaldeído	30,03	$HCHO$	Ocre, sufocante	0,033 a 1,12
	Acetaldeído	44,05	CH_3CHO	maçã	0,04 a 1,8
	Butiraldeído	72,1	C_3H_7CHO	Ranço	0,013 a 15
	Isovaleraldeído	86,13	$(CH_3)_2CHCH_2C$	Fruta, maçã	0,072
	Acetona	58,08	$HOCH_2COCH_3$	Fruta doce	1,1 a 240
Álcoois e Fenóis	Etanol	46	CH_3CH_2OH	-	0,2
	Butanol	74	$C_3H_7CH_2OH$	-	0,006 a 0,13
	Fenol	94	C_6H_5OH	-	0,0002 a 0,004
	Cresol	108	$C_6H_4CH_3OH$	-	0,00001

Fonte: Belli Filho *et al.* (2001)

O quadro acima pode ser tomado com referência para verificações de vazamentos de gases e como condição de biosegurança para os operadores e técnicos da ETE, já que tem como referência o sentido de olfato.

Após uma detalhada verificação na estrutura de concreto do RAFA para detectar prováveis vazamentos ou pontos de fugas de biogás e também corrosões, concluiu-se que a estrutura estava em perfeitas condições de vedação e conservação. Esta verificação é realizada semestralmente ou em casos especiais onde é detectada uma perda de gás considerável. Após estes cuidados foi dado início às atividades na unidade.

Primeiramente foi definido um local apropriado para a montagem do ponto medição/coleta do biogás. O local definido foi antes do queimador tipo *flare*. A elaboração de um procedimento de coleta de gás, que abrangesse as condições de segurança, por se tratar de um gás inflamável, as condições operacionais, para que não houvesse interferência nas rotinas funcionais e condições de biosegurança, para que não houvesse risco aos técnicos quando eles manuseassem ou manipulassem o biogás.

A produção e avaliação do biogás podem ser feitas a partir da estimativa da carga de DQO afluyente ao reator, que é convertida em gás metano, conforme modelado matematicamente na equação (3) (CHERNICHARO, 2007) e descrita abaixo:

$$DQO_{CH_4} = Q \times (S_0 - S) - Y_{obs} \times Q \times S_0 \quad (3)$$

Onde:

DQO_{CH_4} : Carga de DQO convertido em metano (KgDQO_{CH₄}/d);

Q: Vazão de esgoto afluyente (m³/d);

S_0 : Concentração de DQO afluyente (KgDQO/m³);

S: concentração de DQO efluyente (kgDQO/m³);

Y_{obs} : Coeficiente de produção de sólidos no sistema, em termos de DQO (0,11 a 0,23 KgDQO_{lodo}/KgDQO_{apl}).

A conversão da massa de metano (KgDQO_{CH₄}/d) em produção volumétrica (m³CH₄/d) pode ser feita utilizando-se as equações seguintes:

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{f(T)} \quad (4)$$

Onde:

Q_{CH_4} : Produção volumétrica de metano (m³/d);

f (T): fator de correção para a temperatura operacional do reator (KgDQO/m³).

$$f(T) = \frac{P \times K_{DQO}}{R \times (273 + T)} \quad (5)$$

Onde:

P: Pressão atmosférica (1 atm);

K_{DQO} : DQO correspondente a um mol de CH₄ (64gDQO/mol);

R: Constante dos gases (0,08206 atm.L/mol.K);

T: temperatura operacional do reator (°C).

Uma vez obtida a produção teórica de metano, pode-se estimar a produção total de biogás, a partir do teor esperado de metano neste. Para os casos do tratamento de esgotos domésticos, os teores de metano são geralmente da ordem de 70 a 80%.

$$Q_{biogás} = \frac{Q_{CH_4}}{C_{CH_4}}$$

(6)

Onde:

$Q_{\text{biogás}}$: produção volumétrica de biogás (m^3/d);

Q_{CH_4} : Produção volumétrica de metano (m^3/d);

C_{CH_4} : Concentração de metano no biogás, usualmente da ordem de 70 a 80%.

Assim, de posse dessas equações e implementando-as em uma planilha de Excel pode-se estimar a produção volumétrica de metano por dia em função do DQO afluente e efluente e assim determinar o potencial energético da estação.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 – Avaliação de Eficiência da ETE

Os dados apresentados na tabela 2, a seguir, são referentes às análises de DQO, DBO e SS após o afluente ter percorrido as etapas de tratamento preliminar e após o tratamento biológico nos RAFA. A previsão apresentada no Estudo de Impactos Ambientais – EIA para o crescimento da cultura de bactérias, manta de lodo, era de quatro a seis meses, porém observa-se que a tal crescimento se deu entre quatro e cinco meses. A estabilização da manta de lodo ocorreu a partir de fevereiro de 2009.

Tabela 2 – Dados coletados na pesquisa

DATA	VAZÃO (m^3/h)	DBO			Atende LA	Eficiência Ideal [%]	DQO			Atende LA	Eficiência Ideal %	pH	SS/mL		Cálculo de Produção de biogás ($\text{m}^3/\text{mês}$)	Tempo médio de Detenção do Afluente [h]
		DBO Afluente	DBO Efluente	Eficiência DBO [%]			DQO Afluente	DQO Efluente	Eficiência DQO [%]				SS-Afluente (mL/L)	SS-Efluente (mL/L)		
nov-08	133	435	365	16	60	60	555	446	28	150	60	6,90	6,33	2,23	8.215	34
dez-08	147	464	191	53	60	60	713	217	64	150	60	6,84	6,00	1,27	61.880	31
jan-09	193	582	275	49	60	60	718	238	62	150	60	6,75	6,33	0,67	78.350	24
fev-09	255	330	99	69	60	60	442	142	65	150	60	6,85	4,50	0,90	64.767	18
mar-09	280	389	143	63	60	60	556	192	66	150	60	6,87	5,00	1,10	85.864	16
abr-09	300	361	113	69	60	60	510	202	60	150	60	7,01	8,00	1,20	76.931	15
mai-09	230	766	131	83	60	60	1188	266	78	150	60	7,04	5,00	1,00	182.553	20
jul-09	260	625	211	66	60	60	862	221	73	150	60	6,58	10,00	0,80	142.748	18
ago-09	270	659	238	64	60	60	948	168	82	150	60	6,62	7,00	1,00	182.481	17
set-09	270	437	157	64	60	60	807	149	82	150	60	7,09	5,50	0,60	153.798	17
out-09	232	532	148	72	60	60	627	119	81	150	60	6,94	3,00	0,60	101.949	20
nov-09	250	372	74	80	60	60	552	72	87	150	60	6,98	3,00	1,10	104.581	18
nov-09	250	597	102	83	60	60	578	165	71	150	60	6,90	4,00	0,70	88.001	18
nov-09	250	485	88	82	60	60	565	119	79	150	60	6,94	3,50	0,90	96.291	18
dez-09	292	484	100	79	60	60	566	266	53	150	60	6,82	2,00	0,70	71.379	16

Fonte: dos autores.

As eficiências nos processo de tratamento aumentaram consideravelmente a partir de meados de janeiro de 2009, atendendo ao DN COPAM 10/86.

Os resultados do estudo para final de plano apontam valores mínimos de OD iguais a 6,1 e 6,4 mg/L no corpo receptor, Ribeirão Bocaina, respectivamente para as hipóteses de eficiência de 70% e 90% atendendo às condições estabelecidas pela DN COPAM 10/86 para cursos d'água Classe 2 (OD não inferior a 5mg/L). Observam-se que os valores DBO encontram-se acima do permitido e que esta condição é prevista no artigo 9º da referida deliberação para a Classe 2, desde que os teores mínimos de OD não sejam desobedecidos em nenhum ponto, comprovado por estudo de autodepuração, nas condições críticas de vazão ($Q_{7,10}$).

De acordo com o “Plano Diretor Ambiental para a Sub-Bacia do Ribeirão Bocaina” apresentado pela EMATER em 2002 o OD do ribeirão Bocaina está entre 3 e 3,5 mg/L assim o efluente está entre 5,0 e 5,6 mg/L. O aumento no OD do efluente se deve a um leve efeito cascata no final da tubulação do emissário.

Depois de atendidas as condicionantes, inicia-se o estudo das vazões de biogás. Conforme as equações 3; 4; 5 e 6, onde é levado em consideração a redução do DQO, ou seja, o DQO que foi reduzido a biogás. Sendo o DQO uma condicionante do processo de tratamento da ETE, isto não representará custo adicional.

De acordo com a modelagem matemática apresentada acima e utilizando o aplicativo Excel, cria-se uma planilha para lançamento de dados, análise e cálculos, podendo os resultados serem apresentados dinamicamente em gráficos indicando as vazões diárias em função do $DQO_{Afluente}$, $DQO_{Efluente}$, $DBO_{Afluente}$, $DBO_{Efluente}$, $SS_{Afluente}$, $SS_{Efluente}$, $Vazões_{Afluentes}$.

A média de geração de metano por hora é de aproximadamente 122 m³/h e de acordo com a empresa RTP Energia, os grupos geradores que atenderiam ao projeto tem potência de 60KVA, para uma produção de energia durante 24h ou 120 KVA, para uma produção de energia de 12h. Utilizando motor-gerador de 120KVA será necessário um balão ou gasômetro para acumulação do biogás.

A tarifa homologada pela ANEEL para a concessionária CEMIG, entre os períodos de 07/02/2010 a 07/04/2011, expressas na unidade R\$/kWh (reais por quilowatt-hora) é de R\$ 0,37624/KWh, sendo este o valor considerado para o retorno de investimento.

O valor para compra do grupo gerador é de cerca de R\$1000,00/KVA, assim tem-se um investimento de aproximadamente R\$60.000,00 na primeira solução e R\$ 120.000,00 na segunda, mais custos do gasômetro R\$ 30.000,00 (Sansuy). Adotando a primeira alternativa o tempo de retorno do investimento é 3,69 meses e a segunda 11,37 meses.

6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tratamento de esgoto doméstico é necessário e crescente em nosso país, pois além das finalidades sanitárias e ambientais tem-se agora a finalidade energética.

Nesse trabalho apresentou-se o modelamento matemático para o cálculo da produção de biogás em função do $DQO_{afuente}$, $DQO_{efuente}$ e a $VAZÃO_{afuente}$. A proposta de aproveitamento e o potencial do biogás produzido na estação de tratamento de efluente, ETE, do SAAE--Passos. Destacou-se que estes estudos são preliminares e o relatório final almejado indicará a viabilidade em função do número de habitantes das cidades.

Hoje o biogás é queimado produzindo CO₂ e energia térmica, reduzindo 21 vezes o potencial poluidor do metano (Protocolo de Kyoto). A produção de energia elétrica através do biogás gerado em biodigestores torna-se viável ao longo do tempo e cabe mencionar aqui, que esta é uma fonte de energia renovável. O estudo de viabilidade mostrou-se interessante já que seu payback é de 4 e 11 meses, menos de um ano de retorno. A captação deste recurso poderá ser realizada junto ao BNDES que possui linha específica para este tipo de projeto com taxa de juros subsidiada.

Este trabalho demonstra o potencial energético que poderá ser aproveitado nas estações de tratamento de efluentes, ETE, da região. Também são apresentados os tempos de ativação dos reatores e as interferências na eficiência do tratamento de condições climáticas como temperatura e nível pluviométrico.

Uma saída para o aproveitamento deste potencial é a utilização de consórcios entre cidades potencialmente geradoras deste gás. A recente ampliação dos tratamentos de efluentes residenciais em Minas Gerais e Brasil poderão contribuir consideravelmente para a concretização da coogeração utilizando metano proveniente do tratamento de efluente.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BELLI FILHO P., COSTA R.H.R., GONÇALVES R.F., CORAUCCI FILHO B. & LISBOA H.M. Tratamento de odores em sistemas de esgotos sanitários. In: CHERNICHARO, C.A.L. (coordenador). **Pós-tratamento de efluente de reatores anaeróbicos**. Finep/Prosab, Belo Horizonte, 2001.

BERVIAN, P.A.; CERVO, A.L. **Metodologia científica**. São Paulo: Makron Books, 1996.

CHERNICHARO, A. L. **Reatores Anaeróbios**: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: DESA – UFMG, 2007.

COP 15- Denmark- Site oficial do Ministério das relações Exteriores da Dinamarca disponível em <http://www.denmark.dk/en/menu/Climate-Energy/COP15-Copenhagen-2009>.

CRAVEIRO, M. A. **Produção de biogás**. São Paulo: IPT, 2006.

DELIBERAÇÃO Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008.

GIL, A. C. **Técnicas de pesquisa em economia**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 1991.

GOTAAS, H. B. Anaerobic Digestion of Algae. **Appl Microbil**. 1957 jan:5 (1): 47-55.

NETTO, J.M.A. Aproveitamento do Gás de Esgoto. **Revista DAE**, Ano XXII, n 41, pg 15-44, jun. n.42 p. 11-40, set 1961.

NIELSEN, J. Utilização do gás metano proveniente da purificação do gás de esgoto. In: **Energia – Fontes Alternativas**. São Paulo: v. 29/30: p. 20-27, 1983.

PARCHEN, A. C. **Manual de biogás**. EMATER – PR. DEPRO/ CONER, 2008.

PROGRAMA das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD. **Objetivos para o desenvolvimento do Milênio** – Disponível em <http://www.onu-brasil.org.br> e <http://www.pnud.org.br/odm/index.php> acessado em 10 de fev. de 2011.

PROSAB. DIGESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS E APROVEITAMENTO DO BIOGÁS, **PROSAB**. Rio de Janeiro: ABES, RIMa – Brasil, 2003.

PROTOCOLO de Kyoto-UNFCC. Disponível em <http://unicrio.org.br/onubrasil/unfccc/> acessado em 18/03/2011

SANEPAR – CIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ – Paraná, 2010. Disponível em:
<http://www.sanepar.com.br/sanepar/agencia>. Acesso em 17 de mar. de 2011.

SANSUY. **Armazenamento de biogás.** Disponível em
<http://www.sansuy.com.br/modules/product.php?recid=2>. Acesso em 19 de abr. de 2011.

SILVA, A. S; MARA, D. D. **Tratamentos Biológicos de águas residuárias.** 1979.

TEBBUT. T. **Principles of water quality control.** (four ted.) Pergamon Press, New York, USA 2005.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** Porto Alegre: Bookman, 2001.