

REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

DIMENSIONAMENTO DE UM REATOR UASB PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMESTICOS E RECUPERAÇÃO DO BIOGÁS PARA PRODUÇÃO ENERGÉTICA: UM ESTUDO DE CASO EM POUSO ALEGRE (MG)¹

AGNELO SEBASTIÃO LIMA SILVEIRA FILHO², JOHNSON HERLICH ROSLEE MENSAH², KALAHAN DE MELLO BATTISTON², MATHEUS SIQUEIRA BARROS² E IVAN FELIPE SILVA DOS SANTOS³

¹ Apresentado no XII Seminário de Meio Ambiente e Energias Renováveis

² Acadêmicos do Curso de Engenharia Hídrica. Instituto dos Recursos Naturais. Universidade Federal de Itajubá (MG).

Email: mjherlich@gmail.com

³ Engenheiro Hídrico, Mestre em Engenharia de Energia e Doutorando em Engenharia Mecânica. Instituto dos Recursos Naturais. Universidade Federal de Itajubá (MG).

Email: ivanfelipedeice@hotmail.com

RESUMO

A universalização do saneamento e a geração de energias renováveis de modo descentralizado são dois aspectos essenciais para o desenvolvimento sustentável. Unindo os dois temas, o presente artigo apresenta os resultados do dimensionamento de um reator UASB (No inglês: *Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors*) para uma estação de tratamento de esgoto seguido da análise da recuperação do biogás produzido neste reator para geração de energia elétrica na cidade de Pouso Alegre – MG. Inicialmente foi realizada uma projeção populacional da cidade para um período de projeto de 20 anos, seguida do cálculo das vazões de efluentes domésticos do projeto. De posse das vazões de projeto foi elaborado todo o dimensionamento do reator, sendo

propostos um total de 6 reatores trabalhando com uma vazão média de projeto de $0,33 \text{ m}^3/\text{s}$ e, também foi estimado a produção de biogás ($1,48 \text{ Mm}^3/\text{ano}$) e de energia ($1,92 \text{ GWh/ano}$) que poderiam ser gerados na estação de tratamento anualmente.

Palavras-chave: Reator UASB, Tratamento de Esgoto, Biogás, Geração de Energia.

DIMENSIONING OF A UASB REACTOR FOR TREATMENT OF DOMESTIC EFFLUENTS AND RECOVERY OF BIOGAS FOR ENERGY PRODUCTION: A CASE STUDY IN POUSO ALEGRE (MG)

ABSTRACT

The universalization of sanitation and renewable energy generation of decentralized mode are two essential aspects for sustainable development. Uniting the two topics, this article presents the results of the sizing of a UASB reactor (In English: *Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors*) for a sewage treatment plant followed by analysis of the recovery of biogas produced in this reactor for electric power generation in the city of Pouso Alegre-MG. Initially, a population projection of the city was carried out for a 20-year project period, followed by the calculation of flows of domestic effluent from the project. Of ownership of the project flows was prepared all the scaling of the reactor, being offered a total of 6 reactors working with an average flow of project of $0.33 \text{ m}^3/\text{s}$ and, has also been estimated biogas production ($1.48 \text{ Mm}^3/\text{year}$) and energy (1.92 GWh/year) that could be generated in the treatment plant annually.

Keyword: UASB Reactor; Sewage Treatment; Biogas; Power Generation.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o desenvolvimento industrial têm ocasionado efeitos negativos sobre o ambiente, tais como a poluição e a degradação dos recursos naturais. O controle ambiental é uma grande preocupação governamental e dos centros de pesquisa que estudam tecnologias adequadas para reverter a tendência à degradação, a fim de assegurar a não ocorrência de prejuízos irreparáveis e garantir a melhoria de qualidade de vida das gerações atuais e futuras. A consciência crescente de que o tratamento de águas residuárias é de vital importância para a saúde pública e para o combate à poluição das águas de superfície, levou à

necessidade de se desenvolver sistemas que combinam uma alta eficiência a custos baixos de construção e de operação. E ainda assim, o tratamento dos efluentes deve ser corrigido e aperfeiçoado de tal maneira que o seu uso ou a sua disposição final possam ocorrer de acordo com a legislação ambiental. Portanto, nas últimas décadas, desenvolveram-se vários sistemas que se baseiam na aplicação da digestão anaeróbia para a remoção do material orgânico de águas residuárias.

Entende-se que, atualmente, no Brasil, ainda há um déficit acentuado em tratamento do esgoto gerado pela população, com isto, temos recursos hídricos cada vez mais impactados. O Ranking do Saneamento Básico do Instituto Trata Brasil (2015) revelou que no Brasil, somente 42,67% dos esgotos do país são tratados. Sendo assim, a adoção de técnicas de tratamento de efluentes tem sido desenvolvida e aprimorada frente a esse cenário, dentre essas técnicas está o tratamento por reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo, denominado UASB (No inglês: *Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors*). Segundo Van Haandel e Catunda (1995), os reatores UASB além de apresentarem vantagens inerentes dos processos anaeróbios, podem se tornar uma opção viável pois podem ser aplicados em vários pontos da rede de esgoto, "pulverizando-se" assim o sistema de tratamento. Entre as vantagens, tem-se:

- Baixa produção de sólidos e baixa demanda de área;
- Baixo consumo de energia e de nutrientes;
- Baixos custos de implantação e produção do metano;
- Possibilidade de preservação da biomassa, sem alimentação do reator por vários meses;
- Tolerância a elevadas cargas orgânicas e aplicabilidade em pequena e grande escala.

Nesse processo, é produzido o biogás produzido pelo Reator UASB que é composto em sua maior parte por dois gases altamente inflamáveis e energéticos: metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). O CH_4 é considerado o mais importante gás de efeito estufa (GEE) emitido durante o tratamento de efluentes industriais e domésticos, por apresentar um potencial de aquecimento global (*Global Warming Potential – GWP*) 21 vezes maior, no horizonte de 100 anos, quando comparado ao CO_2 segundo a European Commission (2001, *apud* Lobato et al., 2011). Devido ao seu alto poder calorífico, a utilização desses gases pode ser alternativa, que além de produzir energia, fazem com que a emissão de gases contribuintes para o efeito estufa,

seja atenuada, uma vez que o metano, grande contribuinte para esse processo, é consumido e o produto liberado é o CO_2 .

Para a realização do presente trabalho, a área de estudo que foi escolhida encontra-se no município de Pouso Alegre (latitude 22°13'48" Sul e longitude 45°56'11" Oeste), localizado na região sul do estado de Minas Gerais sendo o segundo município mais populoso dessa região e o décimo sétimo do estado. No que diz respeito à hidrografia, o município é banhado pelos rios Sapucaí, Sapucaí-Mirim, Cervo, Mandu e Itanhim. Possui um clima tropical de altitude 832 metros, com chuvas mais abundantes no verão do que no inverno. Segundo a estimativa do IBGE (2010) a cidade chegou a aproximadamente 143.846 habitantes no ano de 2015. Dentro do contexto anteriormente descrito, das vantagens do reator UASB e da importância do tratamento de esgoto dentro do cenário nacional, o objetivo deste trabalho é, dimensionar um reator UASB para uma ETE (Estação de Tratamento de Efluentes) seguido da avaliação do potencial de produção energética do biogás gerado, na cidade de Pouso Alegre (MG).

MATERIAIS E MÉTODOS

Projeção Populacional

Visando uma estimativa adequada da vazão final de projeto é de grande importância realizar a projeção populacional tendo em vista os aspectos socioeconômicos da cidade. A cidade de Pouso Alegre encontra-se em uma fase de crescimento econômico o que tem influência direta no crescimento da população. Através dos censos demográficos realizados pelo IBGE no ano de 2000, 2007 e 2010 foram realizados 3 métodos de projeção populacional para um período de 20 anos a partir do ano de 2016: Projeção Aritmética, Projeção Geométrica e Taxa Decrescente de Crescimento.

a) Taxa decrescente de Crescimento

De acordo com Qasin (1999), a projeção populacional pelo método da taxa de crescimento decrescente é dada através da equação 1 a seguir:

$$P(t) = P_0 + \left(\frac{P_s - P_0}{P_s}\right) * [1 - e^{-K_d * (t - t_0)}] \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

- P_s é o coeficiente de saturação;

- P_0 é o tamanho da população no tempo $t = 0$.
- K_d é o coeficiente de regressão linear.

Utilizou-se as respetivas equações 2 e 3 para cálculo do coeficiente de saturação (P_s) e o coeficiente de regressão linear (K_d).

$$P_s = \frac{2 * P_0 * P_1 * P_2 - P_1^2 (P_0 + P_2)}{P_0 * P_1 - P_1^2} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

- P_1 é o tamanho da população no tempo $t = 1$;
- P_2 é o tamanho da população no tempo $t = 2$.

Para o cálculo do coeficiente de regressão linear (K_d), usou-se a equação 3.

$$K_d = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \ln \left[\frac{P_0 (P_s - P_1)}{P_1 (P_s - P_0)} \right] \quad \text{Equação 3}$$

b) Projeção Aritmética

A projeção aritmética é dada através da equação 4 a seguir:

$$P(t) = P_0 + K_a * (t - t_0) \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

- P_0 é o tamanho da população no tempo $t = 0$.
- K_a é a taxa de crescimento aritmética

Utilizou-se a equação 5 para cálculo da taxa de crescimento aritmética (K_a).

$$K_a = \ln \left[\frac{P_0 (P_s - P_1)}{P_1 (P_s - P_0)} \right] * \frac{1}{(t_2 - t_1)} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

- P_1 é o tamanho da população no tempo $t = 1$;
- P_s é o coeficiente de saturação (dado pela equação 2 citada acima).

c) Crescimento Logístico

O método de crescimento logístico é dado através da equação 6 a seguir:

$$P(t) = \frac{P_s}{1 - c * e^{-K_d * (t-t_0)}} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

- P_s é o coeficiente de saturação;
- c é o coeficiente;
- K_d é o coeficiente de regressão linear.

Utilizou-se a equação 2 acima para o cálculo da população de saturação (P_s) e as respectivas equações 7 e 8 para cálculo do coeficiente (c) e do coeficiente de regressão linear (K_d).

$$c = \frac{(P_s - P_0)}{P_0} \quad \text{Equação 7}$$

$$K_d = \frac{1}{(t_2 - t_1)} \ln \left[\frac{P_0 (P_s - P_1)}{P_1 (P_s - P_0)} \right] \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

- P_0 é o tamanho da população no tempo $t = 0$
- P_1 é o tamanho da população no tempo $t = 1$

Dimensionamento do Reator UASB

Para o dimensionamento do reator UASB são necessárias as seguintes determinações:

a) Vazões do projeto

O primeiro passo para o dimensionamento é a determinação das vazões médias, máxima diária e máxima horária de projeto. Segundo os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o índice de atendimento da rede de esgoto na cidade de Pouso Alegre no ano de 2014 é de 91,56%. Com base nesse valor foi adotado um índice de atendimento de 95% para o final de projeto, tal valor se justifica no fato de que um índice de 100% é improvável uma vez que existem casos nos quais a coleta de esgoto diretamente na rede é de extrema dificuldade sendo necessário nesses casos a adoção de métodos alternativos de manejo do efluente.

Com a população de projeto e consumo per capita de água 150 L/hab*dia, valor determinado pela norma da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2006) definidos, foi calculada a vazão média de esgoto considerando um coeficiente de retorno de 0,8 (NBR 9649, 1986), conforme a seguinte equação:

$$Q_{media} = Q_{per\ capta} * 0,8 * P_{total} * I_{at} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

- P_{total} = População total (hab);
- I_{at} = Índice de atendimento;
- Q_{media} = Vazão Média (L/dia);
- $Q_{per\ capta}$ = Consumo per capta de água (L/hab*dia)

No cálculo da vazão de projeto do reator deve-se considerar a infiltração, sendo essa na maioria das vezes causada pela má execução das obras na rede onde a junta sem a vedação adequada permite a infiltração e por ligações clandestinas na rede. Com a projeção populacional adotada foi determinado um crescimento populacional de 52,07 % do ano de 2012 a 2036, sendo assim foi possível fazer uma relação entre o crescimento populacional e o crescimento da rede de esgoto. A estimativa da extensão da rede no fim de projeto foi obtida aplicando o crescimento populacional sobre 50% da rede existente em 2012 (464 Km de acordo com relatórios técnicos da COPASA). Com a dimensão da rede final de projeto e a taxa de infiltração foi obtida a vazão de infiltração segundo a equação 10 a seguir:

$$Q_i = T_{xi} * L * 86400 \quad \text{Equação 10}$$

Sendo,

- Q_i = Vazão de infiltração (L/dia);
- T_{xi} = Taxa de infiltração (L/s*km);
- L = Comprimento da rede (km).

Para o cálculo da vazão máxima diária e a vazão máxima horária, foram adotados os coeficientes de máxima vazão diária e horária, com os respectivos valores de $K_1 = 1,2$ e $K_2 = 1,5$ (VON SPERLING, 2005). As vazões máximas foram, portanto, calculadas de acordo com as seguintes equações 11 e 12:

$$Q_{m\acute{a}x\ di\acute{a}ria} = (Q_{m\acute{e}dia} * K_1) + Q_i \quad \text{Equação 11}$$

$$Q_{m\acute{a}x\ hor\acute{a}ria} = (Q_{m\acute{e}dia} * K_1 * K_2) + Q_i \quad \text{Equação 12}$$

Onde,

- $Q_{m\acute{a}x\ di\acute{a}ria}$ = vazão máxima diária (L/dia);

- K_1 = coeficiente de máxima vazão diária;
- $Q_{\text{máx horária}}$ = vazão máxima horária (L/dia);
- K_2 = coeficiente de máxima vazão horária.

b) Volume e área do rotor

O primeiro passo para a obtenção do volume do reator é a determinação do tempo de detenção hidráulico médio, sendo ele dependente da temperatura. Após determinar a temperatura média anual da cidade de Pouso Alegre através do banco de dados do site CLIMATEMPO, foi feita uma estimativa do tempo de detenção hidráulico baseando-se na tabela de experiências realizadas por CAMPOS (1999). Com o tempo de detenção hidráulico e a vazão média de projeto é possível realizar o cálculo do volume total de reatores através da seguinte equação:

$$V_{\text{total}} = \left(\left(\frac{Q_{\text{media projeto}}}{24} \right) * t \right) / 1000 \quad \text{Equação 13}$$

Onde,

- V_{total} = Volume total de reatores (m³);
- $Q_{\text{media projeto}}$ = Vazão média de projeto (L/dia);
- t = Tempo de detenção hidráulico médio (h).

Com a geometria e dimensionamento do reator definidas foi possível realizar a verificação da velocidade superficial de acordo com a equação 14:

$$V_s = ((Q/24)/1000) / A_{\text{total}} \quad \text{Equação 14}$$

Sendo,

- V_s = Velocidade superficial (m/h);
- Q = Vazão (L/dia);
- A_{total} = Somatório da área da seção transversal de todos os reatores (m²).

Por fim, foi necessário definir a carga volumétrica hidráulica e orgânica, as quais são definidas pelas equações 15 e 16.

$$CHV = (Q / 1000) / V_{\text{total}} \quad \text{Equação 15}$$

$$COV = C_{DQO} / Q_i \quad \text{Equação 16}$$

Onde,

- CHV = Carga Volumétrica Hidráulica ($m^3/m^3 \cdot dia$);
- COV = Carga Volumétrica Orgânica ($kg/m^3 \cdot dia$);
- Q = Vazão (L/dia);
- V_{total} = Volume total dos reatores (m^3);

E tem-se:

$$C_{DQO} = DQO * (Q_{média\ projeto} / 1000) \quad \text{Equação 17}$$

Onde,

- C_{DQO} = Carga orgânica (kg de DQO/dia);
- DQO = Demanda Química de Oxigênio (Kg de DQO/ m^3);
- Q = Vazão (L/dia).

Avaliação da produção de Biogás

Para avaliar a produção de biogás no reator é preciso determinar previamente o fator de correção de volume $f(T)$. De acordo com Chernicharo (2007), a determinação deste fator é feita através da equação 18 a seguir:

$$f(T) = \frac{P * K}{R * T} \quad \text{Equação 18}$$

Onde,

- P = Pressão atmosférica (atm);
- K = Consumo de DQO em 1 mol de CH_4 produzido (gDQO/mol);
- R = Constante universal de gás (atm.L/mol.K);
- T = Temperatura (K)

Ainda segundo Chernicharo (2007), alguns parâmetros devem ser considerados no cálculo de biogás produzido no reator UASB. Esses são, a vazão do esgoto no reator por ano (Q_{esgoto}); a concentração do afluente em DBO (S_0); a concentração do efluente em DQO (S); a concentração do metano no biogás (C) e a produção de sólido (Y) e o índice de perda de gás (I_L) no efluente. Assim para calcular a quantidade de biogás produzido no reator, é necessário o uso da equação 19 a seguir:

$$Q_{gas} = Q_{esgoto} \frac{[S_0 (1-Y) - S]}{f(T) * C} (1 - I_L) \quad \text{Equação 19}$$

Cálculos energéticos e econômicos

A determinação da potência a ser instalada na usina e o tempo anual da operação constituem dois elementos fundamentais para os cálculos energéticos do presente trabalho, sendo que, a potência depende da eficiência da tecnologia de conversão de energia e do poder calorífico do biogás. De acordo com Chernicharo (2007), a determinação da potência a ser instalada e os cálculos da energia anual a ser produzida na usina podem ser feita através das respectivas equações 20 e 21 a seguirem:

$$Pot = Q_{gas} * \eta * LHV \quad \text{Equação 20}$$

$$E = Pot * \Delta t \quad \text{Equação 21}$$

Onde,

- Pot = Potência (MJ/ano);
- E = Energia (MJ.h/Ano);
- Δt = Tempo anual da operação;
- η = Eficiência da tecnologia de conversão de energia;
- Q_{gas} = Vazão do biogás produzido (m³/ano);
- LHV = Poder calorífico do biogás para um conteúdo de 60% de metano (MJ/m³).

É preciso ter uma noção do investimento a ser feito para que qualquer projeto planejado seja realizado. No presente caso, os componentes constituem elementos indispensáveis para implantação da usina. Eles são numerosos e entre eles, existem os mais importantes, ou seja, os mais necessários para que uma usina seja implantada. Além de avaliar os custos de cada componente, é necessário fazer uma análise da viabilidade econômica do empreendimento que, por sua vez, busca identificar quais são os benefícios esperados em dado investimento para colocá-los em comparação com os investimentos e custos associados ao mesmo, a fim de verificar a sua viabilidade de implementação. Em nosso trabalho, as equações 22 e 23 foram indispensáveis para determinar o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), parâmetros responsáveis para verificar a viabilidade do projeto.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1+i)^t} - I \quad \text{Equação 22}$$

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1+i^*)^t} - I \quad \text{Equação 23}$$

Onde,

- FC = Fluxo de caixa (USD);
- i = Taxa de desconto (%);
- i^* = Taxa de interesse (%);
- I = Investimento (USD);
- n = Número máximo de tempo;
- t = Número de tempo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Projeção Populacional

Após definido o senso, foi possível analisar o comportamento da população ao longo dos anos em cada projeção e notou-se que a projeção aritmética e a taxa decrescente de crescimento apresentaram curvas muito parecidas enquanto a projeção geométrica apresentou um acentuado crescimento da população. Sendo assim, foi realizada uma comparação gráfica com valores médios entre as três projeções obtendo uma nova projeção com valores mais coerentes e tangíveis para o crescimento populacional na cidade de Pouso Alegre. Foi então possível estimar a população da cidade de Pouso Alegre para um período de 20 anos a partir de 2016 num total de 206.170 habitantes.

Dimensionamento do UASB

Com base nos dados coletados e cálculos realizados usando as equações 9, 10, 11 e 12, foi possível estimar os valores das vazões do projeto tais como: a vazão média; a vazão de infiltração; a vazão média do projeto e por fim as vazões máximas diária e horária do projeto. Para determinação da vazão média de projeto, foi feito o somatório da vazão média com a vazão de infiltração e todos os resultados obtidos referente as vazões de projeto estão apresentadas na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Vazões de Projeto.

Vazões de Projeto		
Vazão média (Q_{media})	0,272	m^3/s
Vazão de infiltração (Q_i)	0,058	m^3/s
Vazão média de projeto ($Q_{media\ projeto}$)	0,330	m^3/s
Vazão máxima diária ($Q_{m\acute{a}x\ di\acute{a}ria}$)	0,385	m^3/s
Vazão máxima horária ($Q_{m\acute{a}x\ hor\acute{a}ria}$)	0,548	m^3/s

Fonte: Autores

Após determinação destes parâmetros tão importantes para o projeto, o passo seguinte foi a determinação do volume e da área do reator que também são de grande importância para o dimensionamento do reator UASB. Um dos parâmetros importantes para a obtenção do volume do reator é a determinação do tempo de detenção hidráulico médio, sendo dependente da temperatura. A Tabela 2 indica as faixas usuais segundo a experiência reportada na literatura (CAMPOS, 1999).

Tabela 2: Tempo de detenção hidráulico

Temperatura, °C	Tempo médio, h	Tempo mínimo, h (*)
16 – 19	>10 – 14	>7 – 9
20 – 26	>6 – 9	>4 – 6
>26	>6	>4
(*) durante 4 a 6 horas		

Tendo a temperatura média anual da cidade (19,75°C) e baseando-se na Tabela 2, foi estimado um tempo de retenção hidráulico de 9,5 horas. Com esse valor obtido juntamente com o da vazão média de projeto, foi possível calcular o volume total de reatores usando a equação 13 acima, ou seja, 11303,4 m^3 (valor teórico).

Para o dimensionamento do reator UASB, foi determinada uma área de seção transversal quadrada de lado igual a 18,5 m, o que resultou em uma área real da seção transversal de 342,3 m^2 sendo essa bem próxima da área teórica (342,53 m^2). O volume final determinado para cada reator (6 ao total) foi de 1882,4 m^3 , resultando em um volume total de reatores de 11.294,4 m^3 . A Tabela 3 a seguir apresenta todas as dimensões do reator.

Tabela 3: Dimensionamento do Reator UASB

Dimensionamento do Reator UASB		
Base	18,5	m
Largura	18,5	m
Altura Útil	5,5	m
Área da Seção Transversal	342,3	m ²
Volume final para cada reator	1882,4	m ³

Após essa etapa de dimensionamento, foram feitos cálculos das velocidades superficiais (média; máximas diária e horária) usando a equação 14 e depois uma comparação delas com as velocidades ascensionais para ver se elas estão dentro do limite permitido (JORDÃO & PESSOA, 2005) e, em seguida definiu-se a carga volumétrica hidráulica e orgânica, através das equações 15 e 16. Os resultados obtidos estão apresentados respectivamente nas Tabelas 4 e 5.

Segundo Oliveira e Von Sperling (2005), a DQO média em uma ETE brasileira é de 1,113 kg de DQO/m³, com esse parâmetro foi possível calcular a carga orgânica através da vazão média de projeto, de acordo com a equação 17. Foi então obtida para o presente projeto de dimensionamento uma carga orgânica de 31782,8 kg de DQO/dia.

Tabela 4: Velocidades Superficiais

Velocidades Superficiais		
Média	0,5794	m/h
Máxima Diária	0,6748	m/h
Máxima Horária	0,9609	m/h

Tabela 5: Carga Volumétrica

Carga Volumétrica		
Hidráulica Média	2,528	m ³ /m ³ .dia
Hidráulica Máx. Diária	2,945	m ³ /m ³ .dia
Hidráulica Máx. Horária	4,193	m ³ /m ³ .dia
Orgânica Média	2,814	kg/m ³ .dia

Para o presente trabalho, foi determinado também qual seria o custo de implantação de um sistema de reator UASB para a cidade de Pouso Alegre – MG. Segundo Nascimento e Ferreira

(2007) a implantação de um sistema de tratamento por reator UASB tem um custo per capita de implantação na faixa de 35 R\$/hab. Sendo assim, o sistema representaria um custo de implantação na faixa de 6.855.170,00 R\$.

Cálculos energéticos e econômicos

Conhecer a quantidade de biogás a ser produzido pelo reator é capital para poder se estimar a energia a ser gerada pelo mesmo ao longo do ano e seu benefício econômico. O primeiro passo para calcular a produção de biogás no reator é determinar antes o fator de correção de volume $f(T)$ usando a equação 18 acima. Segundo Chernicharo (2007), o fator de correção de volume pode ser calculado admitindo para cada parâmetro os respectivos valores: $P = 1 \text{ atm}$; $K = 64 \text{ gDQO/mol}$; $R = 0,08206 \text{ atm.L/mol.K}$ e $T = 298 \text{ K}$.

Após disso, foi possível calcular a quantidade de biogás produzido no reator usando a equação 19 e levando em consideração a taxa do índice de perda de gás (I_L) no efluente sugerida e igual a 40% ainda de acordo com Chernicharo (2007). A Tabela 6 apresenta todos os dados referente a determinação da quantidade de biogás produzido no reator.

Tabela 6: Vazão de Biogás produzido

Pressão atmosférica	1	atm
Consumo de DQO em 1 mol de CH₄ produzido	64	gDQO/mol
Constante universal de gás	0,08206	atm.L/mol.K
Temperatura	298	K
Fator de correção de volume	2,61717159	gDQO/L
Vazão de esgoto por ano	11,30	Mm ³ /ano
Concentração do afluente em DBO	0,715	kg/m ³
Concentração do efluente em DQO	0,251	kg/m ³
Produção de sólido	0,17	kgDQOlodo/kgDQOAfluente
Concentração do metano no biogás	0,6	-
Índice de perda de gás no efluente	0,4	-
Vazão de biogás produzido no reator por ano	1,48	Mm³/ano

Com a obtenção da vazão de biogás produzido no reator, foi possível determinar a potência a ser instalada na usina que, por sua vez depende da determinação da eficiência da tecnologia de conversão de energia e o poder calorífico do biogás para um conteúdo de 60% de metano. A tecnologia examinada neste trabalho foi a de motores a gás de ciclo otto. Após obtenção desses dois parâmetros, foi então possível estimar o valor da potência que pode ser instalada na usina através da equação 20. O resultado obtido esta apresentado na Tabela 7 abaixo.

Tabela 7: Valor da Potência a ser instalada na Usina.
Fonte: Chernicharo (2007)¹; CETESB (2006)²

Eficiência da tecnologia de conversão de energia¹	0,33	
Poder calorífico do biogás para um conteúdo de 60% de metano²	21,3	MJ/m ³
Potência a ser instalada na usina	263	kW

O tempo anual de operação (Δt) é um fator determinante para o cálculo da estimativa da energia anual a ser produzida numa usina. De acordo com a CETESB (2006), o tempo de operação de trabalho por dia é de 20h. Assim sendo, a equação 21 nomeada acima foi usada para calcular a quantidade da energia anual a ser produzida na usina. A Tabela 8 a seguir apresenta o resultado obtido após ter feito o cálculo.

Tabela 8: Energia Anual Produzida

Potência	263	kW
Tempo anual de operação	20	h/dia
Energia anual produzida	1,92	GWh/ano

Para a implantação da usina do nosso trabalho, foi feita uma avaliação dos custos dos componentes os mais necessários para poder ter uma visão sobre o investimento a fazer. A tabela 9 a seguir apresenta os custos unitários de cada componente de acordo com SANTOS (2016) e os custos de investimento que deve ser realizado em cada componente para que a implantação da usina fosse realizada.

Tabela 9: Custo unitário e total dos Componentes. Fonte: Santos, I.F.S (2016).

Componente	Dados	Unidade	Custo Unitário	Custo Total (USD)
Motor de combustão interna	526	kW	510 USD/kW	268260,00
Gasômetro	58,40	m ³	60 USD/m ³	3504,21
Queimador	1	-	100000 USD	100000,00
Compressor	1,19	m ³ /h	565 USD (m ³ /h)	674,67
Tubulação	500	m	215 USD/m	107500,00
Preço de venda de Kwh			-	86,3 USD/Mwh
Investimento				479938,88

Após ter feito a avaliação dos custos de cada componente necessário para a implantação da usina, foi feita uma análise da viabilidade econômica do empreendimento considerando a taxa de desconto como a taxa de interesse igual a 12%. Os cálculos de Valor Presente Líquido (VPL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR) realizados em planilha eletrônica conforme as equações 22 e 23 estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: VPL e TIR do Projeto

VPL (USD)	39270,33
TIR (%)	13,29

Para a viabilidade deste empreendimento, o VPL deve ser maior que zero, e a TIR maior que a taxa inicial, que foi de 12%. Através dos cálculos, comprova-se a viabilidade do sistema de geração de energia através do biogás, que ao decorrer dos anos de seu funcionamento, irá pagar seu investimento inicial, sem a necessidade de financiamento externo.

CONCLUSÕES

A cidade de Pouso Alegre representa o segundo município mais populoso do sul de Minas e encontra-se em uma fase de crescimento econômico, uma das consequências desse crescimento é o aumento na carga de efluentes, sejam eles domésticos ou industriais. O tratamento de toda essa geração de efluente é de extrema importância para que não haja depreciação nos recursos hídricos da região, o que implicaria em diversos problemas ambientais e de saúde pública, sendo assim, a manutenção da qualidade da água é fundamental para a população.

A adoção de um sistema de reatores UASB traz consigo um custo de implantação na faixa de 6.855.170,00 R\$, o que não representa um valor que esteja fora da realidade econômica da cidade. São inúmeros os fatores a se avaliar na implementação de uma ETE, como por exemplo a disponibilidade de área. No caso do reator UASB uma das vantagens é que a área necessária para a sua implantação é reduzida, ao menos que o tratamento seja complementado com lagoas facultativas.

Conclui-se também que mesmo o VPL sendo baixo já é um lucro que até então era custo, com descarte e logística. Além disso a empresa cobra uma taxa de esgoto da população, ou seja, o lucro dela iria aumentar mais ainda, uma vez que teria não gastaria com energia para o funcionamento da ETE. E mais importante ressaltar, é o papel socioambiental que este tipo de tecnologia traz, com a redução das emissões de CO₂, minimizando assim sérios problemas da população mundial.

REFERÊNCIAS

CAMPOS, J.R. (coordenador) - "Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbico e Disposição Controlada no Solo"; FINEP/PROSAB, 1999.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo (2006). *Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água*. Vol. 1,2 ed. São Paulo.

CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: reatores anaeróbios. Vol. 5. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2007.

CLIMATEMPO. Climatologia. Disponível em: <http://www.climatepo.com.br/climatologia/1100/pousoalegre-mg> Acesso: 31/05/2016.

ESTUDO TRATA BRASIL "Ranking do Saneamento – 2015". Disponível em <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil> Acesso: 22/02/2017.

IBGE. **CENSO 2010**. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/> . Acesso em: 01/09/2016.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. (2005). *Tratamento de esgotos domésticos*. Rio de Janeiro: ABES, 4. ed., 932p.

LOBATO, L.C.S. **Aproveitamento Energético de Biogás gerado em Reatores UASB tratando Esgoto Doméstico, 2011**. Tese de Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Universidade Federal de Minas Gerais. Orientador: Prof. Dr. Carlos Augusto de Lemos Chernicharo.

NASCIMENTO, Mônica de Souza Ferreira; FERREIRA, Osmar Mendes. **TRATAMENTO DE ESGOTO URBANO: COMPARAÇÃO DE CUSTOS E AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA**. 2007. 22 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Católica de Goiás, Goiania, 2007.

NBR 9649, "*Projeto de Redes Coletoras de Esgoto Sanitário*", ABNT, 1986.

NETO, J. S. L. P. Secretaria Adjunta de Obras e Regulação. Relatório Prestação Serviços da COPASA em Montes Claros. Montes Claros: PMMG, 2014.

Qasin SR. **Wastewater Treatment Plants – Planning design and operation**. 2.a ed. Lancaster, Pennsylvania, USA: Technomic Publishing Company; 1999. p. 1107.

SANTOS, I.F.S; BARROS, REGINA MAMBELI; TIAGO FILHO, GERALDO LUCIO. Electricity generation from biogas of anaerobic wastewater treatment plants in Brazil: an assessment of feasibility and potential. *Journal of Cleaner Production*^{JCR}, v. 126, p. 504-514, 2016.

Van Haandel e Catunda (1995). **Estudos desenvolvidos com um Reator UASB em escala real**. Disponível em <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/UASB02.html> Acesso: 22/02/2017.

VON SPERLING, M. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol. 1. 2.ed., Belo Horizonte: FMG, 1996.

VON SPERLING, M. Princípios do Tratamento de Esgotos: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol. 2. Belo Horizonte: UFMG, 1998

VON SPERLING, M. (2005). Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2. ed. revisada, Volume 1, p. 80.