

## APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS PRODUZIDO PELO TRATAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS URBANOS UTILIZANDO REATORES UASB: UM ESTUDO DE CASO PARAPOÇOS DE CALDAS-MG<sup>1</sup>

Paulo Antonio de Souza Junior<sup>2</sup>, Matheus Martins Lopes<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Aceito para Publicação no 2º Trimestre de 2016.

<sup>2</sup>Mestrandos em Ciências em Engenharia de Energia na Universidade Federal de Itajubá- UNIFEI, paulo.souza@unifei.edu.br, matheusmlopes1@gmail.com.

### RESUMO

Atualmente é fato a busca por fontes alternativas de energia em muitos países, destacando, por exemplo, a substituição do uso dos combustíveis fósseis para obtenção da independência energética. No caso deste trabalho, mostra-se o potencial de aproveitamento do biogás produzido pelo tratamento de efluentes líquidos municipais, utilizando a tecnologia UASB no município de Poços de Caldas-MG, considerando-se o período de 2015-2035. A produção média de metano, o componente de interesse para processos de conversão energética, durante todo o período citado, foi calculado como sendo de 2092,6 m<sup>3</sup>/dia e a produção de energia elétrica durante esses anos alcançaria, em média 5946,7 kWh/dia. O investimento necessário totalizaria R\$2.759.360,92, considerando os custos com tecnologias para purificação, queimador, gasômetro, equipamentos de compressão e motor Otto nacional.

**Palavras-chave:** Tratamento de efluentes líquidos; Biogás; Aproveitamento Energético.

## ENERGETIC EXPLOITATION OF BIOGAS PRODUCED BY MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PROCESS USING UASB REACTORS: A CASE STUDY FOR POÇOS DE CALDAS-MG

### ABSTRACT

Currently it is a fact the search for alternative energy sources in many countries, highlighting, for example, replacing the use of fossil fuels to obtain the long-sought energy independence. In the case of this paper, it is shown the biogas exploitation potential produced by the treatment of municipal wastewater using the UASB technology in the city of Poços de Caldas, considering the period 2015-2035. The average methane production, the component of interest to energy conversion processes, throughout the period mentioned, was estimated to be 2092.6 m<sup>3</sup>/day and the production of electricity during those years would reach an average of 5946.7 kWh/day. The required investment would total R\$ 2,759,360.92, considering the cost of technologies for purification, burner, compression equipment and national Otto engine.

**Key-words:** Wastewater treatment; Biogas; Energetic exploitation.

### 1. INTRODUÇÃO

Após o desenvolvimento dos sistemas de segunda geração, o digestor anaeróbio de fluxo ascendente, UASB, tem se destacado por ser muito mais aplicado que os outros. Inicialmente, a técnica foi desenvolvida para resíduos industriais, mas aos poucos, este estudo foi sendo também desenvolvido, principalmente para condições tropicais, com o pioneirismo da sua aplicação em escala real, sob supervisão dos seus criadores, os holandeses (FERNANDES, 2009).

Apesar de possuir diversas denominações no Brasil, os Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo, ou cientificamente conhecidos como UASB (*UpflowAnaerobicSludgeBlanket*), constituem a principal tendência de tratamento de esgoto no Brasil, como unidades únicas, ou seguidas de alguma forma de pós-tratamento, desenvolvidos desde a década de 70 (PROSAB-CAMPOS, J. R, 1999).

O reator UASB, em sua coluna ascendente consiste de um leito de lodo, *sludgebed*, uma zona de sedimentação, *sludgeblanket*, e o separador de fase, *gas-solidseparator* – GSS (FERNANDES, 2009).

Este separador de fases, um dispositivo característico do reator, tem a finalidade de separar a zona de digestão (parte inferior), onde se localiza a manta de lodo responsável pela digestão anaeróbia, e a zona de sedimentação (parte superior), para evitar os possíveis problemas de mau contato biomassa-esgoto (FERNANDES, 2009).

A concepção desse separador permite que os sólidos retidos retornem ao leito de lodo, após deslizamento sobre as placas ou superfícies defletoras (SANT'ANNA JUNIOR, Geraldo Lippel, 2013).

A digestão anaeróbia é um processo de degradação biológica para converter compostos orgânicos, tais como hidratos de carbono, proteínas, e gorduras, em metano e dióxido de carbono, conhecida como biogás, na ausência de oxigênio dissolvido. É largamente utilizada para estabilizar o excesso de lama a partir de sistemas de tratamento aeróbio e é atualmente aplicado para o tratamento de águas residuais de elevada resistência à produção de biogás, bem como para reduzir os custos de pós-tratamento (Patcharee Intanoo a, Patcharaporn Chaimongkol b, Sumaeth Chavadej, 2015).

A água residuária, simples ou complexa, de baixa e/ou alta complexidade, que segue uma trajetória ascendente dentro do reator, desde a sua parte mais baixa, atravessa a zona de digestão, escoando a seguir, pelas passagens do separador de fases e alcançando a zona de sedimentação (PROSAB - CAMPOS, J. R, 1999).

Os reatores UASB foram inicialmente criados para tratamento de efluentes industriais, nos quais as áreas dos compartimentos de digestão e de decantação eram iguais, portanto, reatores de paredes verticais (PROSAB - CAMPOS, J. R, 1999).

O UASB é um reator, e como tal, realiza a separação da parte sólida, constituindo o lodo dos esgotos, necessitando esse somente de secagem. A grosso modo, um reator UASB compõe-se de um decantador primário, um reator biológico, um decantador secundário e um digestor de lodo (PROSAB - CAMPOS, J. R, 1999).

A obrigatoriedade de criar o reator anaeróbio em condições físicas que sejam favoráveis à fixação em flocos, ou grânulos da biomassa, ao mesmo tempo que ative a sua acumulação dentro dele, constitui-se no principal fator de estabelecimento adequado, visto que a decomposição ou perda de lodo já imobilizado, em maior ou menor quantidade, terá muito a ver com a sua paralela eficiência. Dessa forma, a própria

biomassa, cresce e cria pequenos grânulos, proporcional à associação de diversas espécies microbianas (PROSAB - CAMPOS, J. R 1999).

O acúmulo de biomassa no reator é muito grande, comprovando a denominação de manta de lodo (VON SPERLING, 2014). Nos reatores UASB, o controle do fluxo ascendente é de extrema relevância, pois a mistura e retenção da biomassa permitem que o lodo permaneça em descanso com uma mobilidade limitada em um espaço na vertical do interior do reator (PROSAB - CAMPOS, J. R, 1999), conforme Figura 1 e 2.



Figura 1 - Reator UASB vazio.  
*Figure 1 - Empty UASB reactor.*

Figura 2 - Reator UASB cheio.  
*Figure 2 - Filled UASB reactor.*

A evolução recente do tratamento anaeróbio conduziu a que os esgotos, possam ser tratados em unidades dimensionadas para determinado fim, sabe-se também que o esgoto, ao ser submetido ao processo de decantação, se separa e adquire características físicas diferentes, sendo um processo biológico, no qual um conjunto de diferentes microrganismos, com a ausência de oxigênio, promove a transformação de compostos orgânicos em metano e gás carbônico (PROSAB - CAMPOS, J. R, 1999).

Os sólidos ficam retidos no reator, garantindo que o lodo permaneça com alta concentração e, dessa forma, elevada capacidade de retenção de biomassa de elevada atividade. O gás é coletado na parte superior do reator, podendo ser utilizado para reaproveitamento do metano ou encaminhado para queima. O efluente sai do reator com cor marrom amarelada, média a alta turbidez e ainda contendo gás sulfídrico, não devendo ser agitada com risco de liberação de maus odores. A eficiência fica em torno de 60% de remoção de DBO e 70% de remoção de sólidos suspensos (JORDÃO; VOLSCHAN JUNIOR, 2009).

No UASB a formação de metano é muito alta, uma vez que a matéria orgânica, normalmente medida como demanda química de oxigênio (DQO), é deslocada da fase

líquida, pois o metano apresenta baixa solubilidade na água (PROSAB - CAMPOS, J. R., 1999).

Como no processo anaeróbio ocorre intensa formação de gás e como grânulos ou flocos não tem dimensões uniformes, o separador interno permite a fuga de gás, a saída de líquido clarificado e a retenção dos sólidos arrastados (SANT'ANNA JUNIOR, Geraldo Lippel, 2013).

Após o processo de separação, os efluentes líquidos com baixa concentração de sólidos, são lançados para pós-tratamento, ou em corpos d'água receptores. O material sedimentado e com grande acúmulo de lodo, deverá ser tratado, pois possui elevada concentração de matéria orgânica (JORDÃO & PESSOA, 1995). Este artigo tem como objetivo, mostrar a estimativa de biogás produzido a partir do tratamento de efluentes em reatores UASB no município de Poços de Caldas-MG, localizado no sul de Minas Gerais, ocupando uma área de 547 km<sup>2</sup> e com uma população estimada em 162.379 habitantes em 2014 (IBGE, 2015) e a sua possibilidade de aproveitamento energético.

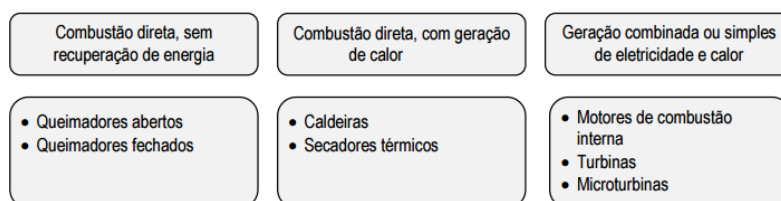
### **1.1 O aproveitamento do biogás**

Em uma Estação de Tratamento de Esgoto a produção de biogás por pessoa atendida pode variar, predominantemente, entre 5 a 20 L/pessoa/dia (Lopes et al, 2011). Mas para a constituição de uma usina para aproveitamento energético do biogás torna-se necessário o uso de equipamentos como compressores (para bombeamento do gás), tubulações (transporte do gás), queimadores (para queima do biogás que não será utilizado para geração energética) e motores para combustão do biogás com geração de energia elétrica (Santos e Vieira, 2015). Sistemas para purificação do biogás podem também ser instalados, uma vez que na composição do biogás existem componentes que podem diminuir a eficiência do mesmo, como é o caso de substâncias não combustíveis como água e gás carbônico (CO<sub>2</sub>), que entram no lugar do combustível no processo de combustão e absorvem parte da energia gerada. Pode ocorrer combustão incompleta, falha de alimentação e perda de potência. Além disso, pode haver corrosão precoce devido à presença de ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S), diminuindo tanto o rendimento quanto a vida útil do motor utilizado (Costa, 2006).

Siloxanos podem também, em alguns casos, estar presentes no biogás. São formados a partir da degradação anaeróbia de materiais comumente encontrados em

cosméticos, desodorantes, aditivos de alimentos e alguns sabões. Durante a combustão do biogás contendo siloxanos, pode ocorrer a formação de depósitos contendo sílica ( $\text{SiO}_2$ ) ou silicatos ( $\text{Si}_x\text{O}_y$ ), e ainda cálcio, zinco, enxofre e fósforo. Esses depósitos minerais provocam incrustações com vários milímetros de espessura e devem ser removidos por meio de métodos químicos ou mecânicos (Chernicharo e Stuetz, 2008 citados por Lobato, 2011).

Dentre as alternativas para uso do biogás, como pode ser visto na Figura 1, qualquer que seja o uso, haverá sempre a necessidade de algum tipo de tratamento. Esse requisito poderá ser mínimo, como a simples remoção de condensado, no caso de usos menos nobres como a combustão direta; como bastante completo, quando se almeja a injeção do gás na linha de gás natural ou utilização como combustível veicular (Chernicharo e Stuetz, 2008 citados por Lobato, 2011). Quanto à geração de eletricidade a partir de motores de combustão interna Lobato (2011) identificou em sua tese a necessidade de tratamento parcial a completo na remoção de água; tratamento parcial a completo na remoção de  $\text{H}_2\text{S}$ ; e nenhum a tratamento completo na remoção de  $\text{CO}_2$ . Conforme Costa (2006), há diferentes alternativas de purificação aplicáveis ao biogás, devendo ser definida a mais adequada para a aplicação energética que pretende. De uma maneira geral, diferentes técnicas de absorção e adsorção podem ser utilizadas para purificação do biogás, como compilado por Costa (2006).



**Figura 4-12:** Classificação de algumas das principais alternativas para gerenciamento do biogás.

Figura 1. Classificação de algumas das principais alternativas para gerenciamento do biogás.

Fonte: Lobato, 2011.

É interessante levar em conta nestes tipos de usinas a possibilidade de venda dos chamados créditos de carbono, que surgiu a partir do Protocolo de Kyoto (PORTAL BRASIL, 2012). No artigo de MAGNABOSCO (2014) consta o fato de o Brasil almejar mercado de crédito de carbono.

O aparecimento de um comércio local voluntário ganha força, à medida que o país avança na direção de ingressar no grupo de nações com metas de redução de

emissões de gases de efeito estufa. Esse mercado voluntário brasileiro, segundo gerente de sustentabilidade Keyvan Macedo, da Natura (que desembolsa cerca de 4 milhões de reais na compra de créditos), embora quase incipiente, movimentava valores que podem oscilar entre R\$ 5,00 a R\$ 40,00 por crédito; valor definido pelo perfil do projeto. Os preços acabam sendo mais atrativos que valores praticados no mercado internacional, onde os créditos são vendidos a menos de um euro. A China e o estado da Califórnia também dão sinais efetivos do incentivo ao fortalecimento de mercados de crédito de carbono (MAGNABOSCO, 2014).

Um caso interessante a ser citado seria que em 2012 a Prefeitura da Cidade de São Paulo realizou um leilão de créditos de carbono, arrecadando € 1.749.000, ou aproximadamente R\$ 4.477.000,00, à época. A empresa Mercuria Energy Trading, sediada em Genebra (Suíça), arrematou o lote a € 3,30 por crédito de carbono, sendo o preço mínimo estabelecido em € 2,70. Foram leiloadas, em um único lote, 530 mil Reduções Certificadas de Emissões (RCEs), ou créditos de carbono. (BMF&BOVESPA, 2012). Neste caso, as reduções certificadas foram geradas pelo Projeto Bandeirantes de Gás de Aterro e Geração de Energia, de aproveitamento de gases produzidos por aterros sanitários (JÚNIOR, 2012).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Estimativa populacional

Para estimar a população do município, utilizou-se do método da taxa decrescente de crescimento, através das seguintes equações (VON SPERLING, 2014):

$$P_t = P_0 + (P_s - P_0) \cdot [1 - e^{-K_d \cdot (t-t_0)}],$$

(1)

Onde:

$P_t$ : população para o ano de interesse ( $t$ );

$P_0$ : população no ano  $t_0$ ;

$P_s$ : população de saturação; e

$K_d$ : coeficiente.

A população de saturação é dada pela seguinte equação:

$$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2},$$

(2)

Sendo  $P_1$  = população no ano  $t_1$  e  $P_2$  = população no ano  $t_2$ .

O coeficiente  $K_d$  é encontrado usando a Equação (3):

$$K_d = \frac{-\ln[(P_s - P_2)/(P_s - P_0)]}{t_2 - t_0}.$$

(3)

Os dados populacionais foram baseados em informações fornecidas pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

## 2.2 Dimensionamento do reator anaeróbio de manta de lodo

O dimensionamento do reator foi calculado pela metodologia de Chernicharo (2007). Inicialmente foi realizado o cálculo da carga média de afluente de DQO ( $L_{0,DQO}$ , em kgDQO/dia):

$$L_{0,DQO} = S_{0,DQO} \cdot Q_{méd},$$

(4)

sendo:

$S_{0,DQO}$ : concentração média de DQO afluente ao reator (mg/L); e

$Q_{méd}$ : vazão média de afluente (m<sup>3</sup>/dia), sendo este valor encontrado pela multiplicação do número de habitantes por um valor da contribuição *per capita* de esgotos, que no caso de residências de padrão médio é de 130 litros por habitante/dia (CHERNICHARO, 2007).

O tempo de detenção hidráulica (TDH) considerado foi de 8 horas. Para temperaturas de esgotos domésticos tratados na faixa de 20°C tem-se adotado tempos de detenção hidráulica da ordem de 8 a 10 horas, para vazão média (CHERNICHARO, 2007). Com este valor o volume total de reatores (m<sup>3</sup>) é dado por:

$$V = Q_{méd} \cdot TDH.$$

(5)

As eficiências de remoção de DQO e DBO serão adotadas como sendo de 65% e 70%, respectivamente, como preconizado por Chernicharo (2007). Com estes valores, é possível estimar as concentrações de DQO e DBO no efluente final:



$$S = S_0 - (E \cdot S_0)/100,$$

(6)

onde,

$S_0$ : concentração média inicial de DBO ou DQO afluente; e

$E$ : eficiência de remoção do processo.

### 2.3 Produção de metano, aproveitamento energético e créditos de carbono

A produção de metano foi calculada segundo Chernicharo (2007):

$$DQO_{CH_4} = Q_{méd.} \cdot (S_{0;DQO} - S_{DQO}) - Y_{obs.} \cdot Q_{méd.} \cdot S_{0;DQO}$$

(7)

Em que:

$DQO_{CH_4}$ : carga de DQO convertida em metano (kg/ $DQO_{CH_4}$ );

$Q_{méd.}$ : vazão média de afluente;

$S_{0;DQO}$ : concentração de DQO afluente;

$S_{DQO}$ : concentração de DQO efluente; e

$Y_{obs.}$ : coeficiente de produção de sólidos no sistema, em termos de DQO (0,11 a 0,23 kgDQO<sub>lodo</sub>/kgDQO<sub>aplicado</sub>).

E a vazão de metano será dada pela seguinte equação:

$$Q_{CH_4} = DQO_{CH_4} / f(T).$$

(8)

Sendo  $f(T)$ , o fator de correção para a temperatura operacional do reator (kgDQO/m<sup>3</sup>) dado por:

$$f(T) = P \cdot \frac{K_{DQO}}{R} \cdot (273 + T),$$

(9)

Sendo  $P = 1$  atm,  $K_{DQO} = 64$ gDQO/mol,  $R = 0,08206$  atm.L/mol.K, e  $T$  se trata da temperatura em graus Celsius.

A partir deste valor, é possível estimar também a vazão de biogás, dividindo-se pela concentração de metano, que segundo Chernicharo (2007) fica entre 70 e 80 %. Neste trabalho, considerou-se um valor médio de 75%. O biogás se trata de uma mistura gasosa gerada pela degradação anaeróbia da matéria orgânica presente nos efluentes domésticos, comerciais, industriais ou rurais. Essa mistura é composta majoritariamente por metano e dióxido de carbono, mas contém também dezenas de outras substâncias,

dentre as quais se destacam o gás sulfídrico, traços de siloxanos e vapor de água (CETESB, 2006b).

Para análise da potência total, multiplicou-se a vazão diária de metano ( $Q_i$ , em  $m^3$ ) pelo poder calorífico do metano ( $PC_{CH_4}$ ) adotado pela CETESB (2006a), sendo este igual a  $35.530 \text{ kJ/m}^3$ . Então, dividiu-se o valor obtido por 86.400 segundos, valor relativo a um dia.

$$P = \frac{Q_i \cdot PC_{CH_4}}{86400}$$

(10)

A potência útil, ou energia possível, a estimativa dos investimentos e os créditos de carbono foram calculados segundo metodologia utilizada pelo programa Biogás, geração e uso energético - efluentes e resíduo rural, versão 1 (CETESB, 2006a). Parâmetros considerados pelo programa são: rendimento de conversão de 33%, eficiência da queima do biogás de 95% e linha de base de queima de 90%. Para obtenção do valor em kWh, foi considerado o valor de 22 horas por dia. O valor da potência útil foi considerado como sendo resultado da multiplicação entre a potência total obtida através da Equação 10, o rendimento de conversão de 33% e a eficiência de queima de 95%.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Estimativa populacional

A projeção da população para o município de Poços de Caldas-MG foi realizada a partir de dados IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), com dados de população dos Censos Demográficos dos anos de 1991, 2000 e 2010. As populações podem ser observadas na **Error! Reference source not found..**

Tabela 1. Dados da população de Poços de Caldas-MG conforme Censos Demográficos do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE).

Tempo (anos)	População (habitantes)
$P_0 = 1991$	$t_0 = 110.123$
$P_1 = 2000$	$t_1 = 135.627$
$P_2 = 2010$	$t_2 = 152.435$

Fonte: IBGE, 2015.

O valor encontrado para  $P_s$  (Equação 2) foi de 172.243 habitantes, e o coeficiente  $K_d$  (Equação 3) foi igual a 0,0604. Com estes valores calculou-se então a projeção da população para Poços de Caldas-MG. A Figura 2 mostra o crescimento do número de habitantes na cidade no período 2015-2035.

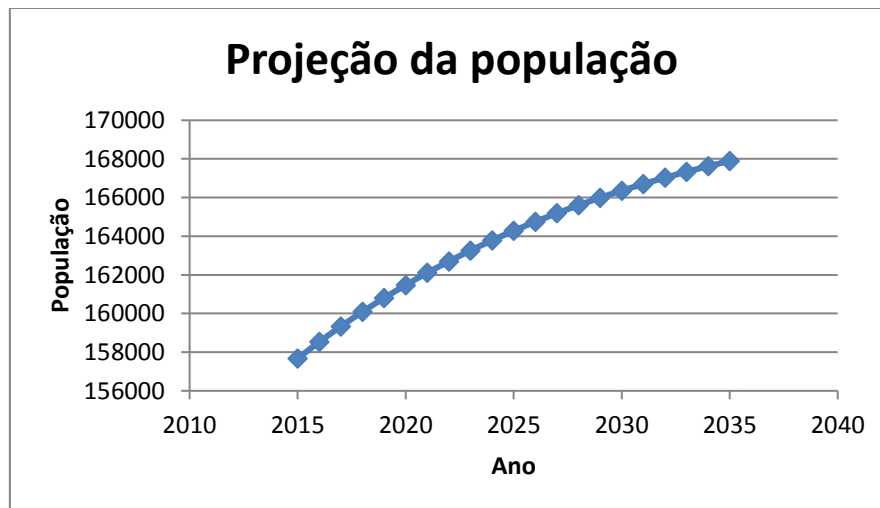


Figura 2. Projeção da população de Poços de Caldas-MG no período 2015-2035.

Conforma a projeção, observa-se um crescimento de 10.218 habitantes entre os anos considerados, passando de 157.673 em 2015 para 167.891 em 2035.

### 3.2 O Reator Anaeróbio de Manta de Lodo

A vazão de esgotos média, considerando a contribuição de esgotos *per capita* de 130 L/hab.dia, conforme Chernicharo (2007), é de 21.825,8 m<sup>3</sup>/dia, para uma população estimada para o ano de 2035 de 167.891 habitantes. A Tabela 1 mostra os resultados ao longo dos anos. O reator UASB projetado para o caso em estudo apresentou um volume total de 7.275,3 m<sup>3</sup>, e adotando três reatores, o volume individual seria de 2.425,1 m<sup>3</sup>. O THD adotado para o projeto foi de 8 horas. Com uma altura de 4,5 m, a área de cada um resultaria, portanto em 538,9m<sup>2</sup>.

Cabe destacar que a área calculada é relativa apenas aos reatores UASB. Usualmente, o tratamento de esgotos é classificado através dos níveis preliminar, primário, secundário e terciário (apenas eventualmente). Nos dois primeiros casos, predominam mecanismos físicos. O tratamento preliminar tem o objetivo de apenas remover sólidos grosseiros. O tratamento secundário visa a remoção de sólidos sedimentáveis e, em decorrência parte da matéria orgânica. O tratamento secundário, onde se inserem os reatores UASB, predominam mecanismos biológicos, em que o

objetivo é principalmente a remoção de matéria orgânica e eventualmente nutrientes como nitrogênio e fósforo. E o tratamento terciário objetiva a remoção de poluentes específicos, ou também a remoção complementar de poluentes não removidos suficientemente no tratamento secundário (von Sperling, 2014).

Em relação à eficiência de remoção de DQO, com um valor adotado de concentração inicial de 600 mg/L e eficiência de 65%, o efluente conteria 210 mg/L de concentração final.

A carga de DQO diária para o caso resultou em 13.095 kg/dia. Considerou-se o coeficiente de produção de sólidos, em termos de DQO, de 0,21  $\text{kg DQO}_{\text{fodo}}/\text{kg DQO}_{\text{aplicada}}$ . A emissão total de metano para o período seria de 15.851.088,1  $\text{m}^3$ , ou considerando uma base diária, o valor médio produzido ao longo dos anos analisados seria de 2092,7  $\text{m}^3/\text{dia}$ . Considerando-se uma porcentagem de 75% de metano - segundo Chernicharo (2007) este valor fica entre 70 e 80 %.- a vazão média de biogás seria de 2790,2  $\text{m}^3/\text{dia}$ .

Na Tabela 1, é possível observar a variação da vazão de esgotos ao longo do período bem como a produção de biogás durante os anos em estudo.

Tabela 1. Variação da vazão de esgotos e produção de biogás entre 2015 e 2035 considerando valores diários.

<b>Ano</b>	<b>População</b>	<b>Vazão de esgoto (<math>\text{m}^3/\text{dia}</math>)</b>	<b>Produção de metano (<math>\text{m}^3/\text{dia}</math>)</b>
<b>2015</b>	157.673	20.497	2.019
<b>2016</b>	158.527	20.609	2.030
<b>2017</b>	159.331	20.713	2.040
<b>2018</b>	160.088	20.811	2.050
<b>2019</b>	160.801	20.904	2.059
<b>2020</b>	161.472	20.991	2.068
<b>2021</b>	162.103	21.073	2.076
<b>2022</b>	162.698	21.151	2.083
<b>2023</b>	163.257	21.223	2.091
<b>2024</b>	163.784	21.292	2.097
<b>2025</b>	164.280	21.356	2.104
<b>2026</b>	164.747	21.417	2.110
<b>2027</b>	165.187	21.474	2.115
<b>2028</b>	165.600	21.528	2.121
<b>2029</b>	165.990	21.579	2.126
<b>2030</b>	166.356	21.626	2.130
<b>2031</b>	166.701	21.671	2.135
<b>2032</b>	167.026	21.713	2.139
<b>2033</b>	167.332	21.753	2.143

<b>2034</b>	167.620	21.791	2.146
<b>2035</b>	167.891	21.826	2.150

### 3.3 Energia elétrica

Para estimativa da potência elétrica, considerou-se para o cálculo a vazão de metano produzida ao longo dos anos, que aumenta na mesma proporção da população atendida. A potência útil média resultante, ao longo dos anos, ficou em torno de 270 kW, começando em 2015 com 260kW e em 2035 alcançando 277 kW. Ou seja, para 22 horas de funcionamento por dia, em 2015 a produção de energia elétrica seria de 2,1GWh, e em 2035 de 2,2 GWh. Durante todo o período o valor chegaria a 45,6GWh. A Tabela 2 mostra a evolução da potência útil.

Tabela 2. Aumento da produção de metano (m<sup>3</sup>/dia) e potência útil (kW) no período de estudo considerado.

<b>Ano</b>	<b>Produção de metano (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>Pútil( kW)</b>
<b>2015</b>	2.019	260
<b>2016</b>	2.030	262
<b>2017</b>	2.040	263
<b>2018</b>	2.050	264
<b>2019</b>	2.059	265
<b>2020</b>	2.068	267
<b>2021</b>	2.076	268
<b>2022</b>	2.083	269
<b>2023</b>	2.091	270
<b>2024</b>	2.097	270
<b>2025</b>	2.104	271
<b>2026</b>	2.110	272
<b>2027</b>	2.115	273
<b>2028</b>	2.121	273
<b>2029</b>	2.126	274
<b>2030</b>	2.130	275
<b>2031</b>	2.135	275
<b>2032</b>	2.139	276
<b>2033</b>	2.143	276
<b>2034</b>	2.146	277
<b>2035</b>	2.150	277

Após esta análise da possibilidade de aproveitamento energético do metano em uma estação de tratamento de esgotos, o próximo item traz uma estimativa de

investimentos necessários caso fosse considerada a instalação de tal sistema, e mostra também a possibilidade de obtenção de créditos de carbono.

### 3.4 Análise de custos e créditos de carbono

Para os cálculos da estimativa do investimento necessário para tal projeto de aproveitamento do biogás e para análise de créditos de carbono, contou-se com o auxílio do programa Biogás, geração e uso energético - efluentes e resíduo rural, versão 1 (CETESB, 2006). Considerou-se então a vazão média de metano ao longo dos anos de 62.901 m<sup>3</sup>/mês (ou considerando a concentração de metano no biogás como 75%, a vazão de biogás resultaria, portanto em 83.868 m<sup>3</sup>/mês), e uma potência média útil de 270 kW. Considerou-se para o gasômetro que o volume de armazenamento seria equivalente ao volume produzido em três dias. Um queimador foi adicionado levando-se em conta de que pode haver necessidade de manutenção no sistema, por exemplo, então o biogás não seria lançado diretamente à atmosfera. A Tabela 3 mostra um resumo dos investimentos necessários. Os valores considerados são os sugeridos pelo programa citado, sendo corrigidos pela Calculadora do Cidadão disponibilizada pelo Banco Central do Brasil (2015), em relação ao mês de janeiro de 2006 para o mês de abril de ano de 2015.

Tabela 3. Custos referentes à utilização do biogás produzido em reatores UASB para geração elétrica.

<b>Equipamento</b>	<b>Custo</b>	<b>Total</b>
<b>Purificação - H<sub>2</sub>S/Siloxina</b>	R\$ 0,02/m <sup>3</sup>	R\$ 305.007,50
<b>Purificação- H<sub>2</sub>O</b>	R\$ 0,02/m <sup>3</sup>	R\$ 305.007,50
<b>Purificação - CO<sub>2</sub></b>	R\$ 0,02/m <sup>3</sup>	R\$ 305.007,50
<b>Custos de compressão</b>	R\$ 860,00/m <sup>3</sup> /hora	R\$ 71.294,42
<b>Queimador</b>	R\$ 17.200,00/unidade	R\$ 17.200,00
<b>Gasômetro</b>	R\$ 154,00/m <sup>3</sup>	R\$ 1.291.444
<b>Motor Otto nacional</b>	R\$ 1720,00/kW instalado	R\$ 464.400,00
	<b>Investimento</b>	<b>R\$ 2.759.360,92</b>

A Tabela 4 mostra a quantia possível de obtenção na venda de créditos de carbono, quando considerada a queima do metano para geração de eletricidade, no caso

deste estudo em Poços de Caldas-MG. Nos cálculos, foi adotado o valor de R\$ 5,00 por crédito de carbono, valor este indicado em Magnabosco (2014).

Tabela 4. Créditos de Carbono pela queima para o período 2015-2035, considerando o preço do crédito de carbono constante durante os anos como de R\$ 5,00, massa específica do metano 0,67 kg/m<sup>3</sup>, e o fato de o metano ser 21 vezes mais poluente em relação ao dióxido de carbono.

<b>Descrição</b>	<b>Medidas</b>
<b>Total de CH<sub>4</sub> (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>)</b>	12.907.314
<b>Total de CH<sub>4</sub> (t)</b>	8.648
<b>Total de CO<sub>2</sub> equivalente(t)</b>	181.606
<b>Crédito de carbono pela queima (R\$)</b>	908.029,53
<b>Crédito de carbono eletricidade (R\$)</b>	170.720,14

Estas são informações de interesse para análise deste setor de aproveitamento do biogás, produzido pelo tratamento de efluentes líquidos urbanos, utilizando-se de reatores UASB, especificamente para o município de Poços de Caldas-MG. No Brasil, ainda há poucas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) com sistemas de aproveitamento do biogás. Alguns exemplos, conforme Machado (2011) incluem a ETE Arrudas, localizada no município de Sabará-MG, e pertencente à COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais), sendo uma das maiores e mais modernas estações de tratamento de esgoto do país; a ETE Alegria, localizada no Rio de Janeiro-RJ; e a ETE Barueri, localizada no município de Barueri-SP pertencente à SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo). Outro caso se trata da ETE Ouro Verde, em Foz do Iguaçu-PR, da SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná), onde há a Unidade Piloto de Energia Renovável (Prefeitura de Foz do Iguaçu, 2015). Além destas, a cidade de Caruaru-PE também terá, em 2016, um sistema piloto de tratamento de esgotos que gerará energia para o município. A ideia partiu da Companhia Energética de Pernambuco (CELPE) e da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) (Administradores, 2015). Mas projetos dessa área se tratam de oportunidades potenciais para as ETE's existentes no país e deveriam ser cada vez mais implementados.

#### **4. CONCLUSÃO**

Este artigo apresenta a estimativa de biogás produzido a partir do tratamento de efluentes em reatores UASB no município de Poços de Caldas-MG e a sua possibilidade

de aproveitamento energético. A vazão média do biogás produzido no período 2015-2035 foi estimada como sendo de 2790,2 m<sup>3</sup>/dia, com uma porcentagem de 75% de metano e vazão média do metano de 2092,7 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/dia. Ao final dos anos analisados neste estudo, a energia gerada alcançaria os 45,6 GWh.

Em relação aos investimentos, levou-se em conta as tecnologias para purificação do gás devido à presença no gás de H<sub>2</sub>S, siloxina, dióxido de carbono e umidade, e custos relativos a compressão, queimador, gasômetro e um motor Otto nacional, por se tratar da alternativa mais econômica. Financeiramente, o valor total do investimento seria de R\$ 2.759.360,92.

O uso da eletricidade possível de ser produzidapoderia incluir o aproveitamento da mesma para suprir as próprias necessidades energéticas da instalação com potencial para redução de custos relacionados, e também a venda do excedente. Ou ainda, supondo a venda de créditos de carbono pela queima do gás, para o município em estudo, alcançar-se-iam um valor pela queima de R\$ 908.029,53 e pela eletricidade de R\$170.720,14. O presente estudo trouxe uma análise do aproveitamento do biogás produzido com a utilização de reatores UASB em Poços de Caldas-MG e traz valores de interesse para incentivar maiores avaliações e implementações de projetos no setor.

## 5. REFERÊNCIAS

ADMINISTRADORES. **Cidade de Pernambuco vai transformar esgoto em energia elétrica.** Disponível em:

<<http://www.administradores.com.br/noticias/cotidiano/cidade-de-pe-vai-transformar-esgoto-em-energia-eletrica/106384/>>. Acesso em: 3 nov. 2015.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Calculadora do cidadão:** correção de valores. Disponível em:

<<https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADA0/publico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores&aba=1>> Acesso em: 01 maio 2015.

BMF&BOVESPA. **BMF&BOVESPA anuncia resultado do leilão de créditos de carbono realizado nesta terça-feira, 12/06.** 2012. Disponível em:

<<http://www.bmfbovespa.com.br/pt-br/noticias/2012/BMFBOVESPA-anuncia-resultado-do-leilao-de-creditos-de-carbono-2012-06-12.aspx?tipoNoticia=1&idioma=pt-br>>. Acesso em: 04 mai 2015.

CAMPOS, J. R - PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico.

**Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Biogás, geração e uso energético:** efluentes e resíduo rural, versão 1. 2006a.

Disponívelem:<<http://www.cetesb.sp.gov.br/mudancas-climaticas/biogas/Softwares/16-Softwares>>. Acesso em: 20 abr. 2015.



- CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Manual do usuário do programa de computador Biogás, geração e uso energético: efluentes e resíduo rural**, versão 1. 2006b. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/mudancas-climaticas/biogas/Softwares/16-Softwares>>. Acesso em: 20 abr. 2015.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios**. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007.
- COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto**. 2006. 194f. Dissertação (Mestrado em Energia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Minas Gerais: Poços de Caldas**. Disponível em: <<http://www1.ibge.gov.br/cidadesat/painel/populacao.php?lang=&codmun=315180&search=minas-gerais%7Cpoços-de-caldas%7Cinfograficos:-evolucao-populacional-e-piramide-etaria>>. Acesso em: 08 abr. 2015.
- FERNANDES, C. **Reatores UASB**. 2015. Disponível em: <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/UASB01.html>>. Acesso em: 06 maio 2015.
- JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS**. 3ª Edição. Rio de Janeiro. ABES, 1995. 720 p.
- JÚNIOR, A. A. **Leilão de crédito de carbono de São Paulo arrecada R\$ 4,5 milhões**. 2012. Disponível em: <<http://economia.uol.com.br/ultimas-noticias/reuters/2012/06/12/leilao-de-credito-de-carbono-de-sao-paulo-arrecada-r-45-milhoes.jhtm>> Acesso em: 4 maio 2015.
- LOBATO, L. C. S. **Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico**. 2011. 184f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- LOPES, A. O. **Produção de metano em estações de tratamento de esgotos e co-geração de energia elétrica: um estudo de caso em Passos-MG**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Inovação tecnológica e propriedade intelectual: desafios da engenharia de produção na consolidação do Brasil no cenário econômico mundial. **Anais...** Belo Horizonte-MG. 2011.
- MACHADO, L. L. N. **Aspectos técnicos relacionados à geração de energia elétrica a partir do lodo de esgoto**. 2011. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- MAGNABOSCO, A. **Brasil almeja mercado de crédito de carbono à espera de metas de redução de emissões**. Disponível em: <[http://www.srb.org.br/noticias/article.php?article\\_id=7598](http://www.srb.org.br/noticias/article.php?article_id=7598)>. Acesso em: 25 abr. 2015
- PORTAL BRASIL. **Meio ambiente: Entenda como funciona o mercado de crédito de carbono**. 2012. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2012/04/entenda-como-funciona-o-mercado-de-credito-de-carbono>>. Acesso em: 25 abr. 2015
- PREFEITURA DE FOZ DO IGUAÇU. **Prefeito Reni Pereira e presidente da SANEPAR visitam estação piloto de tratamento de esgoto e geração de energia**. Disponível em: <http://www.pmfi.pr.gov.br/noticia/?idNoticia=37578>>. Acesso em: 23 nov. 2015.
- SANT'ANNA JUNIOR, Geraldo Lippel, **TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES: Fundamentos e Aplicações**. 2ª Edição. Rio de Janeiro. Interciência, 2013. 424p.

- SANTOS, I. F. S.; VIEIRA, N. D. B. **Aproveitamento energético do biogás gerado em uma ETE anaeróbia em Itajubá (MG): uma avaliação teórica de potencial e custos.** In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos: segurança hídrica e desenvolvimento sustentável- desafios do conhecimento e da gestão. **Anais...** Brasília-DF. 2015.
- PATCHAREEIntanoo a, PATCHARAPORNChaimongkol b, SUMAETHChavadej, 2015; **Hydrogen and methane production from cassava wastewater using two-stage upflow anaerobic sludge blanket reactors (UASB) with an emphasis on maximum hydrogen production.** ScienceDirect – ELSEVIER. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319915025999>. Acesso em: 23 mar. 2016.
- TEIXEIRA, Marina Bergamaschi – **Manejo de Esgotos Sanitários: Alternativas para Loteamento Popularem Porto Alegre**, 2009 – Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/24121/000741857.pdf>. Acesso em: 22 mar. 16
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.