

## Análise de aproveitamento energético de biogás em Vitória da Conquista (BA)

Este estudo tem por objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica de aproveitamento energético do biogás gerado a partir de uma Estação de Tratamento de Efluentes para o município de Vitória da Conquista-Bahia. O estudo de caso foi realizado a partir da comparação entre dois cenários: (1) Adoção de um Sistema de Tratamento com Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB) e (2) Adoção de um Sistema de Tratamento com Lodos Ativados (SLA). Estimou-se a projeção populacional logística fazendo uso do método chamado crescimento logístico para um período de 20 anos. Com base nos cálculos de projeção populacional para o Município de Vitória da Conquista e os valores de vazão média e máxima para o ano final do projeto, 2041, foi possível estimar a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Em seguida foi possível dimensionar o sistema reator UASB e SLA necessários para atender o Município e assim estimar a produção de gás na saída de ambos sistemas, bem como a potência e a energia elétrica gerada a partir do biogás. A partir da vazão de metano gerada no reator UASB de 1965,93 m<sup>3</sup>/dia, obteve-se a potência de 128,54 kW e sua conversão elétrica de 900,8 kWh/ano enquanto que a vazão de metano gerada a partir de SLA foi de 5875 m<sup>3</sup>/dia, obtendo uma potência de 49,19 kW e sua conversão elétrica de 345 kWh/ano. De acordo com a análise de viabilidade econômica dos sistemas realizada através do fluxo de caixa, ambos os sistemas são economicamente viáveis. Do ponto de vista energético, o reator UASB é mais atrativo comparado com o SLA, porém o investimento inicial é superior. Porém, com relação a parâmetros de qualidade do efluente tratado, o SLA é mais adequado, visto que a carga de SST lançada após o tratamento é menor, comparado com a do reator UASB.

**Palavras-chave:** Biogás; Conversão energética; Reator UASB; Lodos Ativados; Viabilidade econômica.

## Analysis of biogas energy use in Vitória da Conquista (BA)

This study aims to analyze the technical and economic feasibility of energy use of biogas generated from an wastewater treatment plant for the municipality of Vitória da Conquista-Bahia. The case study was carried out from the comparison between two scenarios: (1) Adoption of a Treatment System with Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) and (2) Adoption of an Activated Sludge (AS) system. The logistic population projection was estimated using the method called logistic growth for a period of 20 years. Based on population projection for the municipality of Vitória da Conquista and the average and maximum flow values for the final year of the project, 2041, it was possible to estimate the Biochemical Oxygen Demand (BOD). Then it was possible to dimension the UASB and AS reactor system needed to serve the Municipality and thus estimate the gas production at the output of both systems, as well as the power and electricity generated from biogas. From the methane flow generated in the UASB reactor of 1965.93 m<sup>3</sup>/day, the power of 128.54 kW and its electrical conversion of 900.8 kWh/year were obtained, while the methane flow generated from AS was 5875 m<sup>3</sup>/day, obtaining a power of 49.19 kW and its electrical conversion of 345 kWh/year. According to the analysis of the economic feasibility of the systems carried out through cash flow, both systems are economically feasible. From an energy point of view, the UASB reactor is more attractive compared to the AS, but the initial investment is higher. However, regarding the quality parameters of the treated effluent, the AS is more adequate, since the load of TSS released after treatment is smaller, compared to that of the UASB reactor.

**Keywords:** Biogas; Energy conversion; UASB reactor; Activated Sludges; Economic feasibility.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**

Received: **04/08/2021**

Approved: **27/08/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Maise Natalia Soares da Silva 

Universidade Federal de Itajubá, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/0362871495912225>  
<http://orcid.org/0000-0002-8819-8132>  
[maise.soares@gmail.com](mailto:maise.soares@gmail.com)

Adriele Maria de Cássia Crispim 

Universidade Federal de Lavras, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2356654198009125>  
<http://orcid.org/0000-0002-5973-7774>  
[eng.adrielecrispim@gmail.com](mailto:eng.adrielecrispim@gmail.com)

Katia Yesica Tineo Canales 

Universidade Federal de Itajubá, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/6535374165370098>  
<http://orcid.org/0000-0001-6598-7457>  
[kevti84.ktc@gmail.com](mailto:kevti84.ktc@gmail.com)

Regiane Vieira Pinto 

Universidade Federal de Itajubá, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/2015350262007832>  
<http://orcid.org/0000-0003-2794-8929>  
[regianevieira093@gmail.com](mailto:regianevieira093@gmail.com)

Regina Mambeli Barros 

Universidade Federal de Itajubá, Brasil  
<http://lattes.cnpq.br/9289407545513503>  
<http://orcid.org/0000-0003-3154-2956>  
[remambeli@hotmail.com](mailto:remambeli@hotmail.com)



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0038

### Referencing this:

SILVA, M. N. S.; CRISPIM, A. M. C.; CANALES, K. T.; PINTO, R. V.; BARROS, R. M.. Análise de aproveitamento energético de biogás em Vitória da Conquista (BA). **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.8, p.459-468, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.008.0038>

## **INTRODUÇÃO**

A adoção de sistemas de energias renováveis, definida como limpa e sustentável, traz como benefícios a minimização dos impactos ambientais recorrentes do uso indiscriminado de recursos não renováveis, bem como a contenção do esgotamento dos recursos fósseis. Isto ressalta a importância da diversificação da matriz energética mundial, que nas últimas décadas tem apresentado um crescimento significativo no uso das fontes renováveis de energia. Entre as tecnologias de transformação de resíduos em energia elétrica destaca-se o Biogás, considerado uma fonte potencial de geração de energia. O biogás é produzido a partir do processo de tratamento de resíduos por biodigestores, utilizados para converter a energia química do gás em energia elétrica. O volume de biogás produzido depende de alguns fatores como, condições de pré-tratamento, temperatura e tempo de detenção no reator, além disso, a tecnologia empregada para a geração de biogás também é um dos fatores importantes para aumentar a eficiência de geração de biogás (FREITAS et al., 2019).

Existem diversos modelos de biodigestores que são empregados no tratamento de resíduos para a geração de biogás e dessa forma a escolha do biodigestor dependerá da finalidade a que o projeto se destina, como por exemplo, para a produção de fertilizantes, para o tratamento de efluentes ou resíduos sólidos, ou mesmo para a produção de energia (SILVA et al., 2016). Para tratamento de efluentes o Reator de Fluxo Ascendente (UASB) e os Sistemas de Lodos Ativados (SLA) são sistemas comumente adotados, sendo o UASB um dos sistemas mais empregados no Brasil para o tratamento de efluentes domésticos, por ser um modelo utilizado para uma elevada concentração de biomassa (FREITAS et al., 2019).

Os reatores UASB possuem uma estrutura organizacional que permite separar a fase líquida (efluentes tratados), fase sólida (lodo residual) e fase gasosa (Biogás), tornando o sistema eficiente no tratamento visto que a concentração da biomassa permanece elevada e o líquido tratado é clarificado, ademais o gás gerado durante o processo é coletado na parte superior do reator, sendo utilizado para a geração de energia. Além de possuir uma alta eficiência no tratamento de efluentes, o sistema Reator UASB é atrativo por ser de fácil operação, baixo custo e por permitir transformar um passivo ambiental em um aditivo energético (SILVA et al., 2016).

Os SLA são processos que também permitem realizar o tratamento de poluentes por meio da digestão anaeróbia de micro-organismos. Apesar de ser um processo biológico com altos custos de investimento, operação e manutenção, ainda é amplamente utilizado no tratamento de águas residuais municipais e industriais a fim de remover matéria orgânica. SLA também é considerado uma tecnologia eficaz para o tratamento de poluição e recuperação de energia a partir do biogás gerado nos processos anaeróbios realizado pelo consórcio de microrganismos (LI et al., 2019; ZHANG et al., 2019; WANG et al., 2019).

Alguns autores verificaram a eficiência de redução da Demanda Química de Oxigênio (DQO) e do aumento de geração de metano a partir da aplicação de substâncias tais como o uso de eletroalgas (CORPUZ et al., 2021) e peróxido de cálcio (CaO<sub>2</sub>) utilizado no pré-tratamento (WANG et al., 2019). Corpuz et al. (2021) verificaram que a adição de algas nos processos de SLA melhora a remoção de nutrientes do efluente,

enquanto Wang et al. (2019) verificaram que a adição de CaO<sub>2</sub> no pré-tratamento permite aumentar a produção de metano a partir da digestão anaeróbia de LA. Atualmente, as variantes mais comuns de SLA são o fluxo em pistão e os processos de mistura completa (REINOSO et al., 2020).

Dessa forma a adoção de sistemas de tratamento de efluentes domésticos Municipais apresentam um elevado potencial no aproveitamento energético, visto que é possível utilizar o passivo ambiental como uma fonte de energia para o Município de forma que garante a mitigação de impactos ambientais tais como eutrofização e potencial de aquecimento global. Assim, a viabilidade da geração de energia a partir do tratamento de efluentes Municipais dependerá do clima no qual o Município está inserido, o tamanho da população e conseqüente quantidade de efluentes, Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) e DQO geradas pelo Município. O estudo de caso deste trabalho será realizado para o Município de Vitória da Conquista, localizado no centro-sul da Bahia. De acordo com o IBGE, Vitória da Conquista possui uma população estimada de 341.128 habitantes e uma área territorial de 3.254,186 km<sup>2</sup>, atualmente, seu índice de tratamento de efluentes corresponde a 93,68%.

Neste contexto, este estudo tem por objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica de aproveitamento energético do biogás gerado a partir de uma Estação de Tratamento de Efluentes para o município de Vitória da Conquista-Bahia. O estudo de caso foi realizado a partir da comparação entre dois cenários: (1) Adoção de um Sistema de Tratamento com Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB) e (2) Adoção de um Sistema de Tratamento com Lodos Ativados (LA).

## METODOLOGIA

### Projeção populacional do Município

A projeção para a cidade de Vitória da Conquista - BA, foi realizada a partir de dados do censo e contagem populacional do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE). Estimou-se a projeção logística fazendo uso do método chamado crescimento logístico para um período de 20 anos.

O método de crescimento logístico assume que as taxas de crescimento populacional se tornam menores à medida que a população se aproxima da capacidade de suporte, ou seja, quando os recursos limitantes no ambiente se esgotam. A população cresce quase exponencialmente no princípio, até atingir o chamado ponto de inflexão, onde a taxa de crescimento populacional tende a ser reduzida (RICKLEFS, 2016). Assim, a projeção populacional deste estudo segue a metodologia utilizada no estudo de Souza et al. (2019) (Equações 1, 2 e 3).

$$P_t = \frac{P_s}{1 + e^{-K_1 \cdot (t - t_0)}} \quad (1)$$

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

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

## Dimensionamento do Reator UASB

Com base nos cálculos de projeção populacional para o Município de Vitória da Conquista e os valores de vazão média e máxima para o ano final do projeto, 2041, foi possível estimar a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) que é uma indicação indireta da quantidade de carbono orgânico biodegradável presente no efluente. As cargas de DBO foram estimadas multiplicando a população atendida em cada ano pelo valor da produção per capita média de 50 g DBO5/hab.d. Em seguida foi possível dimensionar o sistema reator UASB necessário para atender o Município e assim estimar a produção de gás na saída do reator (VON SPERLING, 2005).

O valor do comprimento do reator UASB, é determinado com base no método adotado por Jordão et al. (2005). Para o cálculo do volume total ( $V_t$ ) dos reatores adotou-se o tempo de detenção hidráulica (TDH) de 8h (Equação 4). A partir do resultado de  $V_t$  é possível determinar o número de unidades de reatores a ser empregado. É importante destacar que se determina a quantidade de reatores em função do Volume unitário ( $V$ ), que deve estar entre os valores de 500 m<sup>3</sup> a 2000 m<sup>3</sup> (Equação 5). Dessa forma, a área unitária ( $A$ ) foi calculada pela razão entre o volume unitário  $V$  e a altura do reator.

A determinação das dimensões (Figura 1), da área superficial, da área superficial total e os tempos de detenção hidráulica são calculados com base na metodologia de Nuvollari (2011).

$$V_t = Q_{méd} \times TDH \quad (4)$$

$$V = \frac{V_t}{n} \quad (5)$$

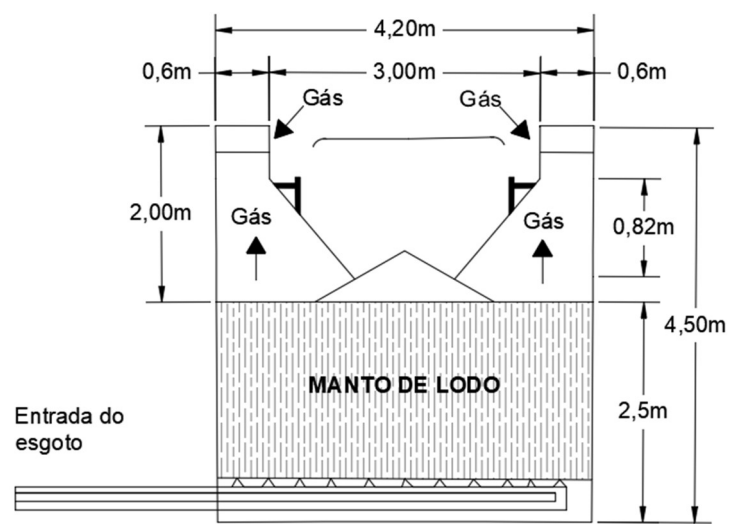


Figura 1: Dimensões do reator anaeróbico. Fonte: adaptado de Nuvollari (2011).

## Dimensionamento do sistema de lodos ativados

Com base nos cálculos de projeção populacional para o Município de Vitória da Conquista e os valores de vazão média e máxima para o ano final do projeto, foi possível dimensionar os reatores do tipo mistura completa e taxa convencional, os espessadores de lodo e os decantadores secundários, para uma estação de tratamento de efluentes por SLA para atender o município. A Tabela 1 apresenta os dados necessários para esse dimensionamento que foi realizado de acordo com a metodologia descrita por Nuvollari (2011).

**Tabela 1:** Parâmetros para o dimensionamento do sistema de Lodos Ativados.

<b>Vazão média de projeto (L/s)</b>	<b>738,7</b>
DBO5 média na entrada da estação de tratamento - S (mg/L)	257
DBO5 média após a passagem pelo decantador primário - S0 (mg/L)	179,9
DBO5 média após a passagem pelo decantador secundário - Se (mg/L)	3 a 12
SST médio na entrada da estação (mg/L)	1040,0
SST médio após a passagem pelo decantador primário (mg/L)	416,0
SST médio após a passagem pelo decantador secundário (mg/L)	15 a 30

### Produção de biogás e estimativa de potência e energia geradas

Para estimar a produção de gás foi considerado uma produção de  $P_{gás} = 0,12m^3/kg.DBO$ . Dessa forma a produção de gás pode ser calculada conforme Equação 6, para sistemas com adoção de pré-tratamento com decantação primária, visto que a adoção de decantação primária possui uma eficiência de 70% de remoção das cargas de SST. Já para sistemas com ausência de decantação primária, o valor de  $P_{gás}$  é determinado de acordo com a Equação 7.

$$P_{gás} = 0,12m^3/kg.DBO \times 0,275kg \text{ de } DBO/m^3 \times 63.746m^3/dia \times 0,7 \quad (6)$$

$$P_{gás} = 0,12m^3/kg.DBO \times 0,275kg \text{ de } DBO/m^3 \times 63.746m^3/dia \quad (7)$$

De acordo com NUVOILLARI (2011), o gás metano (CH<sub>4</sub>) apresenta-se na proporção de 60 a 70% na mistura. Sendo assim, para este estudo adotou-se uma proporção de metano igual a 65%. Após a determinação do volume anual de Biogás produzido por ambos os sistemas, foi possível estimar a potência energética gerada, com base no poder calorífico do gás metano (35,56x10<sup>6</sup> J/s) a partir da Equação 8. Considerou-se uma eficiência de conversão de energia de 33% e eficiência de coleta de Biogás de 75%. Por fim, a energia anual gerada pelos sistemas foi calculada de acordo com a Equação 9, considerando-se um fator de capacidade de 0,8 (BARROS, 2012).

$$P = Q_{CH_4} \cdot E_c \cdot P_{CCH_4} \cdot \left( \frac{1}{31.536.000} \cdot \frac{1}{1000} \right) \quad (8)$$

$$E = P \cdot FC \cdot \Delta t \quad (9)$$

### Análise de viabilidade econômica

O método do valor presente líquido (VPL), utilizado por (SOUZA et al., 2019), auxilia na identificação da viabilidade de um projeto ou da alternativa mais viável dentre duas ou mais opções. Este método realiza uma estimativa futura de custos ou receitas para um valor equivalente no presente, ou seja, a viabilidade do investimento é avaliada concentrando os custos descritos no fluxo de caixa no período zero.

O Valor Presente Líquido (VPL) é calculado em função do fluxo de caixa, de uma taxa de rendimento e do período de duração do projeto, como descrito na Equação 10. A taxa de rendimento é geralmente calculada em função da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) definida por quem vai investir como o retorno mínimo esperado.

$$VPL = VPL = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (10)$$

em que  $I_0$  é o investimento inicial no projeto,  $FC_t$  representa o fluxo de caixa de cada período  $t$ ,  $i$  refere-se a taxa de rendimento mínima TMA e  $n$  o período total do projeto. Taxa Interna de Retorno (TIR) refere-se a taxa de desconto que deve ter um fluxo de caixa para que o VPL se iguale a zero, como representado na equação 11. Caso o valor

calculado da TIR supere o valor da TMA, o investimento é então considerado economicamente viável.

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} \quad (11)$$

Por fim, o tempo de retorno do investimento, também conhecido como payback descontado, refere-se ao tempo necessário para que o rendimento do projeto supere seus custos, levando em consideração o valor da moeda em função do tempo. O payback deve ser menor que o tempo de vida útil do projeto para que seja considerado um investimento viável e quanto menor o tempo, menor o risco do investimento.

Para o estudo, admitiu-se uma TMA de 12% a.a. Já o custo de implantação, tanto do Sistema UASB quanto do SLA, foi obtido através da Equação 12 propostas no estudo de Silva et al. (2017), em que P refere-se à potência instalada em kW. Foi considerado ainda um acréscimo de 5% no custo total, referente a operação e manutenção do sistema. Para a conversão de moedas utilizou-se a cotação do dólar do dia 6 de julho de 2021, em que US\$1,00 = R\$5,16.

$$\text{Custo (US\$)} = 4.103P(\text{kW}) + 258,31 \quad (12)$$

A tarifa adotada como receita, equivalente a energia gerada pelos sistemas, foi de 0,582 R\$/kWh ou 582,40 R\$/MWh, apresentada pela Distribuidora COELBA. A tarifa refere-se ao consumo ativo grupo B3, classe consumidora Serviço Público de Água, Esgoto e Saneamento. Este valor refere-se apenas ao valor da energia, não incluindo, portanto, os impostos ICMS, PIS/PASEP e COFINS.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando que os recursos são finitos e que numa situação real tais recursos influenciam no crescimento populacional de um município, os dados do método de crescimento logístico foram considerados para o período compreendido entre 2021 e 2041. A Tabela 2, apresenta os dados da projeção populacional de cinco em cinco anos até 2041.

**Tabela 2:** Estimativa da População Urbana em Vitória da Conquista.

Ano	Crescimento Logístico (hab)
2021	339 730
2026	348 120
2031	354 696
2036	359 798
2041	363 725

Em seguida, as vazões de esgoto sanitário e a DBO foram determinadas no período compreendido entre os anos de 2021 e 2041. As vazões de esgoto doméstico, infiltração e industrial em L/s são apresentadas na Tabela 3. As Tabelas 4 e 5 apresentam respectivamente a carga de DBO média em kg/dia e a concentração de DBO em mg/l, nos anos de interesse por tipo de vazão.

**Tabela 3:** Vazões de Esgoto.

Ano	Vazão de esgotos (L/s)			Vazão de Infiltração	Vazão Industrial			Vazão Total		
	Mín	Méd	Máx		Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx
0	212,2	424,3	708,3	236,1	0,0	0,0	0,0	212,2	660,5	944,4
5	232,1	464,2	763,6	241,9	0,0	0,0	0,0	232,1	706,1	1005,5
10	236,5	472,9	775,7	246,5	0,0	0,1	0,0	236,5	719,5	1022,2
15	239,9	479,7	785,1	250,0	0,0	0,1	0,0	239,9	729,8	1035,1
20	242,5	485,0	792,3	252,8	0,0	0,1	0,0	242,5	737,8	1045,1

**Tabela 4:** Resultados de Carga de DBO Média em kg/d.

Ano	Carga de DBO média (kg/d)			
	Doméstica	Infiltração	Industrial	Total
0	14321,658	0	12,5	14334,16
5	15665,4	0	12,5	15677,9
10	15961,32	0	25	15986,32
15	16190,91	0	25	16215,91
20	16367,625	0	25	16392,63

**Tabela 5:** Resultados de Concentrações de DBO (mg/l).

Ano	Concentração de DBO (mg/l)			
	Doméstica	Infiltração	Industrial	Total
0	391	0	3571	251
5	391	0	3571	257
10	391	0	3571	257
15	391	0	3571	257
20	391	0	3571	257

### Dimensionamento e estimativas de produção do sistema UASB

De acordo com os dados de entrada, fez-se o dimensionamento do reator anaeróbio de fluxo ascendente do tipo UASB com volume de 2248,66 m<sup>3</sup>, estabelecendo-se um total de 11 reatores com volume unitário de 1932 m<sup>3</sup> cada.

A área unitária ( $A$ ) foi calculada pela razão entre o volume unitário ( $V$ ) e a altura útil ( $h$ ) de 5m, sendo assim a área unitária é igual a 386m<sup>2</sup>. Adotando-se  $n=11$  reatores, tem-se que a área superficial útil total de  $A_{ST}=882,42$  m<sup>2</sup>, um volume total de  $V_T=3.441,44$  m e um volume relativo de  $R=2.206,05$  m<sup>3</sup>.

O próximo passo do dimensionamento foi a determinação do tempo de detenção hidráulica ( $TDH$ ), que pode ser calculado pela razão entre o volume total dos reatores e a vazão média ou vazão máxima. Considerando-se a vazão média, o tempo de detenção hidráulica é igual a 1,3 horas, enquanto considerando-se a vazão máxima o tempo é igual a 0,92 horas.

A carga volumétrica ( $CV$ ) pode ser calculada considerando-se um pré-tratamento com decantação primária ou não. Para o caso de haver decantação primária  $CV$  é igual a 10,40 kg DQO/m<sup>3</sup>.dia. Já sem o pré-tratamento o valor do  $CV$  é igual a 14,85 kg DQO/m<sup>3</sup>.dia.

A estimativa da produção de biogás ( $P_{gas}$ ) e de metano ( $P_{met}$ ), bem como a produção de lodo, com 0,15kgSSV/kgDQO, considerando a ausência de decantação primária ou presença de decantação primária com eficiência de remoção do lodo máxima de 70%, está descrita na Tabela 6.

**Tabela 6:** Estimativas de Produção do Sistema UASB.

Produto	Sem decantação primária	Com decantação primária
Biogás	1965,93 m <sup>3</sup> /dia	1376,15 m <sup>3</sup> /dia
Metano	1277,85 m <sup>3</sup> /dia	894,50 m <sup>3</sup> /dia
Lodo	96,25 mg.DBO/L	67,37 mg.DBO/L

### Dimensionamento e estimativas de produção do sistema LA

Com base nos dados de entrada apresentados, um volume total dos reatores ( $VTR$ ) de 17.498,7 m<sup>3</sup> foi estimado, sendo adotado um valor igual a 17.500 m<sup>3</sup>, a área superficial dos reatores foi calculada, admitindo-se que tais reatores terão 5m de profundidade útil e 0,5m de borda livre, resultando em  $Asup = 3499,74$  m<sup>2</sup>.

A estimativa dos tempos de detenção hidráulica foi realizada considerando as vazões máxima, média e mínima. Desta forma, o tempo de detenção hidráulica mínimo é igual a  $\theta_{Hmin} = 4,65h$ , tempo de detenção hidráulica médio igual a  $\theta_{Hmed} = 6,58h$  e tempo de detenção hidráulica máximo igual a  $\theta_{Hmax} = 10,05h$ .

A concentração dos sólidos voláteis no reator é igual a  $X_V = 2,37 \text{ Kg/m}^3$  ou  $2372 \text{ mg/L}$ , enquanto a produção diária líquida de sólidos suspensos é igual a  $P_{X \text{ líquida Total}} = 6590,22 \text{ Kg/dia}$ . No dimensionamento do reator secundário corrigiu-se o valor de  $X_V$ , para que se determinasse a concentração de sólidos suspensos totais. Admitindo-se uma relação  $X_V/X = 0,75$ , tem-se  $X = C = 3163,67 \text{ mg/L}$  ou  $3,16 \text{ kg/m}^3$ .

Em seguida, com a finalidade de dimensionar o decantador secundário, atenderam-se os dois critérios do fluxo ascendente determinados por Nuvolari (2011), sendo então possível calcular os dados característicos do espessador de lodos e do biodigestor anaeróbio, descritos nas Tabelas 7 e 8. Para o sistema de lodos ativados, a estimativa da produção de biogás ( $P_{gas}$ ) e de metano ( $P_{met}$ ), está descrita na Tabela 7.

**Tabela 7:** Características do Espessador de Lodos.

Vazão de descarte (Qd)	538,2 m <sup>3</sup> /d	Área	176,71 m <sup>2</sup>
Concentração de sólidos totais na entrada do decantador (CST)	1,12 kg/m <sup>3</sup>	Área Total	4417,9 m <sup>2</sup>
Carga de sólidos retidos no decantador primário PsT	43281 kg/dia	Concentração de sólidos no fundo do decantador (Cu)	105,9 kg/m <sup>3</sup>
Vazão do Lodo (Qlodo)	19,9 m <sup>3</sup> /dia	Diâmetro	15 m

**Tabela 8:** Características do Sistema de Digestão Anaeróbia de Lodos.

Volume Total do Sistema	16500 m <sup>3</sup>	Altura Acúmulo de gases	1,5 m
Volume Unitário do Digestor	500 m <sup>3</sup>	Altura para acúmulo de espuma	0,6 m
Altura para acúmulo de sobrenadante	0,6 m <sup>2</sup>	Altura útil para camada ativa de digestão (H util)	7,8 m

### Estimativa da Conversão Energética do Biogás em Energia Elétrica

A estimativa de produção de biogás, dos sistemas UASB e SLA, permite que se estime o potencial energético de sua conversão em energia elétrica. A estimativa admitiu que apenas a parcela de metano presente no biogás é capaz de ser convertida em energia. Assim, para as vazões de efluentes domésticos e industriais consideradas para o município de Vitória da Conquista, admitindo-se uma proporção de 65% de metano presente no biogás, estimou-se os valores de produção de biogás e metano apresentados na Tabela 9, para os dois sistemas. A partir da estimativa da produção de biogás a estimativa de conversão energética em potência e energia elétrica anual são apresentados na Tabela 10.

**Tabela 9:** Estimativas de Produção do Sistema de Lodos Ativados.

Produto	m <sup>3</sup> /dia
Biogás	9038 m <sup>3</sup> /dia
Metano	5875 m <sup>3</sup> /dia

**Tabela 10:** Estimativas de conversão energética a partir do metano.

	Sistema UASB	Sistema de LA
Potência (kW)	128,54	49,19
Energia Gerada (kWh/ano)	900,8	345,0

### Viabilidade econômica dos sistemas

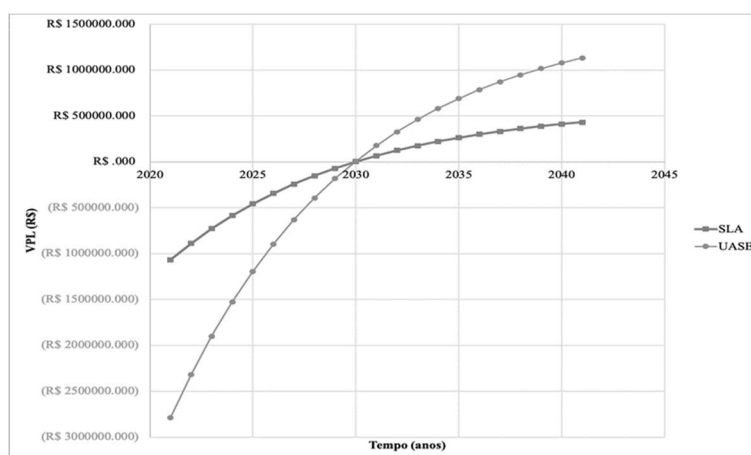
A análise de viabilidade econômica dos sistemas foi realizada através do fluxo de caixa, considerando



os indicadores VPL, TIR e payback, admitindo-se uma taxa mínima de atratividade igual a 12% a.a. Ambos os sistemas são economicamente viáveis e os valores de VPL, TIR, taxa de lucratividade e payback são apresentados na Tabela 11. O fluxo de caixa de cada investimento é apresentado na Figura 2. Observa-se que quanto maior a energia gerada, maior o custo inicial de implantação do sistema e a receita anual recebida por sua compensação.

**Tabela 11:** Resultado do estudo de viabilidade econômica.

	UASB	SLA
Investimento Inicial	R\$2.787.124,18	R\$1.067402,57
Receita anual	R\$524.628,07	R\$200.757,51
VPL de Projeto	R\$1.180.114,98	R\$450.726,38
TIR	18%	
Taxa de lucratividade	1,42	
Payback	9 anos	



**Figura 2:** Fluxo de caixa dos sistemas UASB e LSA.

O aproveitamento energético de efluentes acarreta benefícios econômicos, ambientais e energéticos. Assim, a escolha do investimento mais atrativo no caso dos sistemas UASB e SLA, deve considerar qual deles é mais eficiente do ponto de vista do tratamento e lançamento de efluentes, qual a capacidade de investimento inicial e qual o consumo energético da estação de tratamento.

Do ponto de vista energético, e baseado na potência elétrica gerada pelos dois sistemas, o sistema UASB enquadra-se como minigeração distribuída. Enquanto o SLA classifica-se como microgeração distribuída, sendo possível realizar a compensação da potência ativa gerada, pelo consumo de energia da estação. Assim, se a capacidade de investimento for suficiente para cobrir os custos de implantação do sistema UASB, este parece ser o mais adequado. Por outro lado, se a finalidade do sistema for prezar pela qualidade do tratamento do efluente, o sistema de lodos ativados deve ser selecionado.

## CONCLUSÕES

A partir do dimensionamento dos sistemas UASB e SLA foi possível avaliar a viabilidade técnica e econômica de ambos os sistemas. O sistema UASB apresentou uma geração de 128,54 kW, caracterizando-se como minigeração distribuída, enquanto o SLA apresentou uma geração de 49,19kW caracterizando-se como microgeração distribuída, e sendo assim a energia gerada pode ser compensada pela distribuidora de energia elétrica. A viabilidade econômica dos sistemas demonstra que o investimento é atrativo em ambos

os cenários. Assim, a escolha do sistema deve considerar outros fatores como a capacidade de investimento inicial e a qualidade dos efluentes lançados após o processo.

Esta avaliação reforça o potencial que municípios como Vitória da Conquista tem em converter um passivo ambiental em um ativo energético com retorno financeiro associado. A escolha do sistema mais adequado depende, neste caso, do consumo de energia necessário para o funcionamento da ETE e da qualidade do efluente lançado após o seu tratamento.

## REFERÊNCIAS

BARROS, R. M.. **Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência; Belo Horizonte: Acta, 2012.

CORPUZ, M. V. A.; BOREA, L.; SENATORE, V.; CASTROGIOVANNI, F.; BUONERBA, A.; OLIVA, G.; BALLESTEROS JUNIOR, ZARRA, T.; BELGIORNO, V.; CHOO, K.-H.; HASAN, S. W.; NADDEO, V.. Wastewater treatment and fouling control in an electro algae-activated sludge membrane bioreactor. **Science of the Total Environment**, v.786, p.147475, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147475>

FREITAS, F. F.; SOUZA, S. S.; FERREIRA, L. R. A.; OTTOC, R. B.; ALESSIOD, F. J.; SOUZA, S. N. M.; VENTURINIA, O. J.; JUNIOR, O. H. A.. The Brazilian market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.101, p.146-157, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.007>

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A.. **Tratamentos de esgotos domésticos**. 7 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

LI, J.; HAO, X.; LOOSDRECHT, V. M. V.; LUO, Y.; CAO, D.-Q.. Effect of humic acids on batch anaerobic digestion of excess sludge. **Water Research**, v.155, p.431-443, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.009>

NUVOLARI, A.. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. 2 ed. São Paulo: BLUCHER, 2011.

REINOSO, A. M. C.; QUIZPHI, E. C. C.; OÑATE, M. P. O.. Diseño e implementación de una PTAR por lodos activos a escala de laboratorio, Facultad de Ciencias Epoch. **Cienc. Digit.**, v.4, n.1, p.385-406, 2020.

RICKLEFS, R.. **A economia da natureza**. 7 ed. Rio de Janeiro:

Guanabara Koogan, 2016.

SILVA, J. R.; ANDO JUNIOR, O. H.; SPACEK, A. D.; MOTA, J. M.; MALFATTI, C. F.; FURTADO, A. C.. Scaling a biodigester ascendant flow for biogas production via sewer and solid waste. **Renewable Energy and Power Quality Journal**, v.1, n.14, p.517-520, 2016. DOI: <http://doi.org/10.24084/repqj14.378>

SILVA, T. R.; BARROS, R. M.; TIAGO FILHO, G. L.; SANTOS, I. F. S.. Methodology for the determination of optimum power of a Thermal Power Plant (TPP) by biogas from sanitary landfill. **Waste Management**, v.65, p.75-91, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.04.018>

SOUZA, A. R.; SILVA, A. T. Y. L.; TRINDADE, A. B.; FREITAS, F. F.; ANSELMO, J. A.. Análise do potencial de aproveitamento energético de biogás de aterro e simulação de emissões de gases do efeito estufa em diferentes cenários de gestão de resíduos sólidos urbanos em Varginha (MG), MG, Brazil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.24, n.5, p.887-896, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1590/s1413-41522019187066>

VON SPERLING, M.. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

WANG, D.; HE, D.; LIU, X.; XU, Q.; YANG, Q.; LI, X.; LIU, Y.; WANG, Q.; NI, B.-J.; LI, H.. The underlying mechanism of calcium peroxide pretreatment enhancing methane production from anaerobic digestion of waste activated sludge. **Water Research**, v.164, p.114934, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114934>

ZHANG, L.; DUAN, H.; YE, L.; LIU, L.; BATSTONE, D. J.; YUAN, Z.. Increasing capacity of an anaerobic sludge digester through FNA pre-treatment of thickened waste activated sludge. **Water Research**, v.149, n.2, p.406-413, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.watres.2018.11.008>