

## II-020 - ESTUDO DE DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS PARA O CAMPUS DA UNIFEI EM ITAJUBÁ-MG

**Regina Mambeli Barros<sup>(1)</sup>**

Doutora e Mestre pelo PPG SHS/EESC/USP em Engenharia Civil: Hidráulica e Saneamento. Professora Associada Nível 2 da Universidade Federal de Itajubá / Instituto de Recursos Naturais. Bolsista de produtividade do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Itajubá-MG, Brasil. E-mail: [remambeli@hotmail.com](mailto:remambeli@hotmail.com)

### RESUMO

O presente estudo apresenta uma proposta de dimensionamento de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) para o *Campus* da UNIFEI, em Itajubá-MG. Prevê-se uma população contribuinte de 10000 ocupantes temporários ao fim do plano de 25 anos iniciando em 2016, entre alunos, servidores técnicos administrativos, docentes e demais frequentadores, além da contribuição das instalações do Restaurante Universitário do *Campus*. Dois reatores UASB com área de 33,6 m<sup>2</sup> e volume de 168 m<sup>3</sup> foram projetados para tratar uma vazão calculada de 801 m<sup>3</sup>/d, com estimativa de remoção de DBO do sistema de 77,83% e produzindo uma vazão de metano de 78 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/d ou 7,82 L<sub>CH<sub>4</sub></sub>/hab.d, fornecendo uma potência de 4kW. O efluente do UASB foi proposto para ser tratado em um sistema de lodo ativado, com 2 reatores de 78,5m<sup>3</sup> e 22,5 m<sup>2</sup> cada um, com um decantador secundário de 27m<sup>2</sup>. O custo foi estimado como sendo entre R\$1.647.600,00 e R\$2.746.100,00 com um custo anual de Operação & Manutenção (O&M) entre R\$192,200,00 a R\$329,500,00. Com um consumo energético entre 140.000 kWh/ano a 200.000 kWh/ano, ou uma Potência entre 18 e 35KW, estima-se que a potência a ser produzida de 4kW possa suprir entre 11,50% a 22,35% do consumo energético da ETE. Os valores da análise de viabilidade econômica demonstraram que o fluxo de caixa tornar-se-ia positivo apenas entre 2037 e 2038, e que o VPL não alcançaria valores positivos para o período simulado (-R\$2.848.537,81 em 2040). Há que se analisar, entretanto, a relevância de uma ETE tratando o esgoto sanitário no próprio *Campus*, representando grandes benefícios ambientais e pedagógicos, ao funcionar como um laboratório, uma vez que consiste em ambiente para pesquisas na área energética e ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** Esgoto sanitário, sustentabilidade hídrica, *Campus* universitário, energia renovável.

### INTRODUÇÃO

Para o dimensionamento da ETE *Campus* Itajubá-MG, UNIFEI, foi proposto um sistema composto por um tratamento anaeróbio seguido de um tratamento aeróbio, a fim de alcançar a eficiência de remoção de carga orgânica preconizada pela legislação vigente, quais sejam: padrões de lançamento de efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários constantes na Resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011) que alterou a Resolução CONAMA 357/ 2005 (Brasil, 2005) e em Minas Gerais, pela Deliberação Normativa Conjunta do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais (CERH-MG) n° 1/2008 (MINAS GERAIS, 2008). A Resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011) determina que a Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO<sub>5, 20</sub> máxima de 120 mg/L, sendo este limite somente passível de ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou frente a um estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor. Conforme a Resolução COPAM/CERH-MG n° 1/2008 (MINAS GERAIS) se DBO até 60 mg/L ou tratamento com eficiência de redução de DBO em no mínimo 60% e média anual igual ou superior a 70% para sistemas de esgotos sanitários; e tratamento com eficiência de redução de DBO em no mínimo 75% e média anual igual ou superior a 85% para os demais sistemas; e DQO, até 180 mg/L ou tratamento com eficiência de redução de DQO em no mínimo 55% e média anual igual ou superior a 65% para sistemas de esgotos sanitários.

Nesse contexto, o plano de sustentabilidade hídrica e energética da UNIFEI, *campus* Itajubá-MG busca fomentar soluções e pesquisas acerca da temática em edifícios públicos, contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

## OBJETIVOS

Constituem-se em objetivos do presente estudo: dimensionar uma ETE para o Campus da UNIFEI em Itajubá-MG, buscando aproveitamento energético do biogás a ser produzido, assim como avaliar a viabilidade financeira do projeto.

## METODOLOGIA

A produção geral de esgotos foi calculada de acordo com metodologia descrita em Von Sperling (2014). Os parâmetros de cálculo utilizados foram: Quota per capita (l/hab.d) – QPC, de 50 l/hab.d (NBR 7229/93; ABNT, 1993), para o restaurante, de 25 l/hab.d (NBR 7229/93; ABNT, 1993) e Coeficiente de retorno (esgoto/água) – R, de 0,8, para os ocupantes temporária, conforme descrito na Tabela 1. Considerou-se que a vazão de infiltração  $Q_{inf}$  é igual a 0,3 l/s.km, que 5% dos ocupantes temporários fazem suas refeições no Restaurante Universitário (RU), e para cálculo da carga orgânica, que são produzidos 4 m<sup>3</sup> esgoto/1 ton alimento processado.

**Tabela 1: Valores para os parâmetros de entrada no dimensionamento da ETE.**

ANO	OCUPANTES TEMPORÁRIOS (hab)	ÍNDICE DE ATENDIMENTO (%)	POPULAÇÃO ATENDIDA (hab)	EXTENSÃO DA REDE (km)	RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO (refeições)
0	8000	100,00%	8000	10	400
5	8500	100,00%	8500	11,25	425
10	9000	100,00%	9000	12,5	450
15	9500	100,00%	9500	13,75	475
20	10000	100,00%	10000	15	500

O desarenador e medidor de vazão (calha Parshall) foram dimensionados conforme metodologia descrita em Nuvolari (2003) conforme preconizado na norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 12209/90 (ABNT, 1990 *apud* NUVOLARI, 2003). No desarenador, foi usada a fórmula de Manning, com coeficiente de rugosidade das paredes  $n$  de 0,013, e a declividade longitudinal proposta de  $I$  igual a 0,6%. Por meio do uso dessas curvas, verificou-se que para a vazão máxima de final de plano obtida  $Q_{max}$  de 33,39 m<sup>3</sup>/h ou 801 m<sup>3</sup>/d, foram obtidos valores abaixo relacionados para a altura de água no tubo Y, para a relação Y/D e para a velocidade V, quais sejam, resultando em Razão de Aspecto,  $M=0,0948$  e  $K1=0,474$ , que após consulta em Porto (2006a), resultou em  $y/D=0,46$ . Após simulação no modelo Canais3.exe (porto, 2006b), foram obtidos os seguintes resultados para o canal circular: Rugosidade (SI)= 0,013; Lâmina (m)= 0,092; Diâmetro (m)= 0,201; Largura de Topo (m)= 0,20; Área Molhada (m<sup>2</sup>)= 0,01; Velocidade Média (m/s)= 0,78; Vazão (m<sup>3</sup>/s)= 0,011; Froude = 0,94; e Declividade de Fundo (m/m)= 0,00600. Adotou-se um tubo circular de 200m. As grades e canal de acesso, assim como o dimensionamento da caixa de areia e do medidor Parshall foram calculadas conforme ABNT NBR 12209/90 (ABNT, 1990 *apud* NUVOLARI, 2003). Adotou-se, a exemplo de Nuvolari (2003), a produção média obtida na ETE – Pinheiros em São Paulo, de 0,041 litros de areia/m<sup>3</sup> de esgoto tratado, utilizou-se a vazão média 0,009274 m<sup>3</sup>/s e determinou-se a limpeza da caixa de areia a cada duas semanas (14dias).

Os dados de entrada para o cálculo dos reatores UASB e do sistema de Lodos Ativados estão descritos na Tabela 2. Foram adotados 2 reatores com 3 separadores trifásicos cada um. Adotou-se 50% de porcentual de metano no biogás. O dimensionamento dos reatores UASB foi feito conforme descrito em Chernicharo (2005). O sistema de lodos ativados foi dimensionado conforme Von Sperling (2002). Foram consideradas eficiências globais para o sistema de 90% para DBO e 85% para NTK, Idade do lodo,  $\theta_c$  de 8 dias, Sólidos em suspensão voláteis no tanque de aeração, SSVTA =  $Xv$ , de 1500 mg/L, concentração SSVTA/SSTA (SSV/SS =  $Xv/X$ ) adotada no tanque de aeração foi de 0,75, coeficiente de produção de lodo de 0,70 kgSS/kgDBO (Von Sperling, 2002). Foram adotados 2 tanques de aeração, e os valores para Taxa de aplicação hidráulica (TAH) de 30 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d e para Taxa de aplicação de sólidos (TAS), de 120 kgSS/m<sup>2</sup>.d.

**Tabela 2: dados de entrada para dimensionamento dos reatores UASB e em seguida dos lodos ativados**

<b>REATORES UASB</b>					
POPULAÇÃO DE FIM DE PLANO: 10000 OCUPANTES TEMPORÁRIOS+500 REFEIÇÕES		<b>10000 OCUPANTES TEMPORÁRIOS</b>			
Vazão afluyente média, $Q_{med}$ :	<b>801</b> (m <sup>3</sup> /d)	<b>33,39</b> (m <sup>3</sup> /h)	<b>0,009274</b>	(m <sup>3</sup> /s)	
Vazão afluyente máxima diária, $Q_{max-d}$ :	<b>961,56</b> (m <sup>3</sup> /d)	<b>40,07</b> (m <sup>3</sup> /h)	<b>0,011129</b>	(m <sup>3</sup> /s)	
Vazão afluyente máxima horária: $Q_{max-h}$ :	<b>1442,34</b> (m <sup>3</sup> /d)	<b>60,1</b> (m <sup>3</sup> /h)	<b>0,016694</b>	(m <sup>3</sup> /s)	
Concentração média de DBO afluyente ao reator UASB: $S_{0-UASB-DBO}$		<b>328</b> mg/l			
Concentração média de DQO afluyente ao reator UASB: $S_{0-UASB-DQO}$		<b>602,8</b> mg/l		<b>655,19</b> mg/l	
Temperatura do esgoto: T		<b>14</b> °C		(média do mês mais frio)	
Coeficiente de produção de sólidos, Y (Chernicharo, 2005):		<b>0,18</b> kgSST/kgDQO <sub>apli</sub>			
Coeficiente de produção de sólidos em termos de DQO, Yobs (Chernicharo, 2005)		<b>0,21</b> kgDQO <sub>todo</sub> /kgDQO <sub>apli</sub>			
Concentração esperada de lodo de descarte, $C_{lodo}$ (Chernicharo, 2005)		<b>4,00%</b>			
Densidade do lodo, $\gamma$ (Chernicharo, 2005)		<b>1020</b> kgSST/m <sup>3</sup>			
Valores relação entre DQO e DBO	<b>1,84</b>	<b>0,5</b>			
<b>CARACTERÍSTICAS DO AFLUYENTE À ETAPA DE LODOS ATIVADOS</b>					
Carga de DBO afluyente	<b>78,75</b>	<b>kgDBO/d</b>	Concentração de DBO afluyente	<b>92,98</b>	<b>mgDBO/l</b>
Carga de NTK afluyente	<b>72</b>	<b>kgNTK/d</b>			
Concentração de NTK afluyente	<b>89,85</b>	<b>mgNTK/L</b>			
Y	<b>0,6</b>	<b>gSSV/gDBO</b>			
Kd	<b>0,08</b>	<b>gSSV/GSSV.d</b>			
DBO solúvel efluyente	<b>10</b>	<b>mg/l</b>			
fb	<b>0,7</b>	<b>kgSSb/kgSSV</b>			
A/M	<b>0,35</b>	<b>kgDBO/kgSSVTA.d</b>			
Concentração SSVTA/SSTA (=SSV/SS = Xv/X) adotada no tanque de aeração	<b>0,75</b>				
Coeficiente de produção de lodo	<b>0,7</b>	<b>kgSS/kgDBO</b>			
Eficiência de oxigenação	<b>1,8</b>	<b>kgO<sub>2</sub>/kWh</b>			
Ciclo de operação dos leitos de secagem, tc	<b>20</b>	<b>d</b>			

Segundo Von Sperling (2002), a concentração do lodo aeróbio excedente é a mesma do lodo de recirculação, já que o lodo excedente é retirado da linha de recirculação. Esta concentração é função da concentração de SSTA e da razão de recirculação ( $R=Q_r/Q$ ). No exemplo de VON SPERLING (2002), foi adotado  $R=0,8$ , cujo valor fora adotado no presente estudo também. Foi assumido uma concentração de SS no lodo retirado do UASB de 3,0%, uma eficiência de captura de sólidos de 100% e na desidratação e uma densidade de 1,0 para o lodo desidratado, e adotando-se um teor de sólidos de 30% para o lodo desidratado em leito de secagem (2 células de leito de secagem).

O valor do custo de implantação conforme Von Sperling (2002) de um sistema UASB+sistema de lodos ativados é de implantação de 60R\$/hab a 100R\$/hab (164,76R\$/hab a 274,61R\$/hab em valores corrigidos pelo IGP-M de 2002 para 2016) Oepração&Manutenção O&M, de 7R\$/hab.ano a 12R\$/hab.ano (19,22R\$/hab.ano a 32,95R\$/hab.ano em valores corrigidos pelo IGP-M de 2002 para 2016), de Potência instalada, de 1,8 a 3,5W/hab e de consumo energético de 14 kWh/hab.ano a 20 kWh/hab.ano e de demanda de área, de acordo com Jordão & Pessoa (2005), de 0,03 a 0,1 m<sup>2</sup>/hab. A Potência pelo biogás do UASB foi calculada conforme Equação (1) de CETESB (2006) e também apresentada em Barros (2012).

$$P=Q_{CH_4}.E.E_{cCH_4}.P_{cCH_4}.[1/(31536000.1000)] \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

P: Potência disponível a cada ano (kW);  $Q_{CH_4}$ : Vazão de metano a cada ano (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ano);  $P_{cCH_4}$ : Poder calorífico do metano (igual a 35,53.106 J/m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>);  $E_c$ : Eficiência de coleta de biogás, adotada como 50%, em razão de diluição de metano no esgoto em tratamento; E: Eficiência da turbina/motor, adotada como 25%, conforme descrito em Barros (2012) para biogás; 31.536.000: número de segundos em 1 ano (s/ano); e 1/1000: para transformação da unidade de J/s para kW.

De acordo com IRN (2016), a UNIFEI é faturada em média, em cerca de 2.572 m<sup>3</sup>/mês no tratamento de esgoto sanitário, resultando em despesa de 18.702,00R\$/mês ou 7,27R\$/hab.ano. No presente estudo, considerou-se que os valores anuais para o período de projeto seriam corrigidos pelo valor do IGP-M entre novembro de 2015 e novembro 2016, a saber: de Índice de correção no período, 1,0876589; Valor percentual correspondente 8,7658900%. O fluxo de caixa corresponderiam às receitas decorrente do não faturamento do tratamento de esgoto, descontado o consumo de energia (faturamento da conta de energia elétrica) referente a 20 kWh/ano.hab, cuja tarifa considerada foi a apresentada em CEMIG (2016), Residencial Normal, bandeira verde, de 0,53122 R\$/kWh e descontando também, a O&M de 32,95R\$/hab.ano. Calculou-se o Valor Presente Líquido (VPL) para um período de 25 anos, com juros,  $i$  de 12% ao ano.

## RESULTADOS

Os dados calculados para produção geral de esgotos estão na Tabela 3.

Tabela 3: Produção geral de esgotos

A no	Ocupantes temporários	RU	Vazão de esgotos (L/s)										
			Mínima	Med.	Máxima	Vazão doméstica			Vazão Infil.	Vazão restaurante			Vazão total média
						Min	Med	Max.		Min.	Med.	Max.	
0	5517	400	1,3	2,6	8,2	3,0	0,06	0,1	0,06	1,3	5,7	11,2	490
5	8000	400	1,9	3,7	11,3	3,0	0,06	0,1	0,06	1,9	6,8	14,4	589
10	8500	425	2,0	3,9	11,9	3,4	0,06	0,1	0,06	2,0	7,4	15,3	642
15	9000	450	2,1	4,2	12,5	3,8	0,07	0,1	0,07	2,1	8,0	16,3	695
20	9500	475	2,2	4,4	13,1	4,1	0,07	0,1	0,07	2,3	8,7	17,3	748
25	10000	500	2,3	4,6	13,7	4,5	0,07	0,1	0,07	2,4	9,3	18,3	801
A no	Vazão total (m³/d)				Carga de DBO média (kg/d)				Equivalente Populacional Restaurante (hab)	Concentração de DBO (mg/L)			
	Mín.	Méd	Max.	Total méd.	Doméstica	Infiltração	Restaurante	Total		Doméstica	Infil.	Restaurante	Total
0	1,3	5,7	11,2	490	138	0	10,0	148	185	625	0	1000	302
5	1,9	6,8	14,4	589	200	0	10,0	210	185	625	0	1000	356
10	2,0	7,4	15,3	642	213	0	10,6	223	197	625	0	1000	347
15	2,1	8,0	16,3	695	225	0	11,3	236	208	625	0	1000	340
20	2,3	8,7	17,3	748	238	0	11,9	249	220	625	0	1000	333
25	2,4	9,3	18,3	801	250	0	12,5	262	231	625	0	1000	328

Quanto a grade e ao desarenador, conforme preconizado por Nuvolari (2003), adotou-se um tubo de diâmetro 200mm, uma vez que mostrou uma folga compatível na altura de água para a vazão máxima e deve permitir elevações de nível de uma grade 50% obstruída (como determina a norma), sem afogamento a montante. Entretanto, somente após a verificação dos níveis calculados para as outras unidades, pode-se tomar a decisão final quanto ao diâmetro do tubo. Quanto às grades, a área livre total pelas aberturas da grade  $A_{LG}$  foi de  $0,014m^2$ . No que se refere ao dimensionamento da do medidor de vazão calha Parshall, medidor mais apropriado foi o Parshall de 6'' (150mm), que apresenta faixa de vazões entre 1,52L/s e 110,4L/s, com altura do degrau calculada, Z de 1,716cm (adotado de 2cm). A caixa de areia foi calculada para área de  $1,12m^2$ , largura de 0,5m e comprimento de 2,23m. A Figura 1 apresenta as velocidades dentro da caixa de areia.

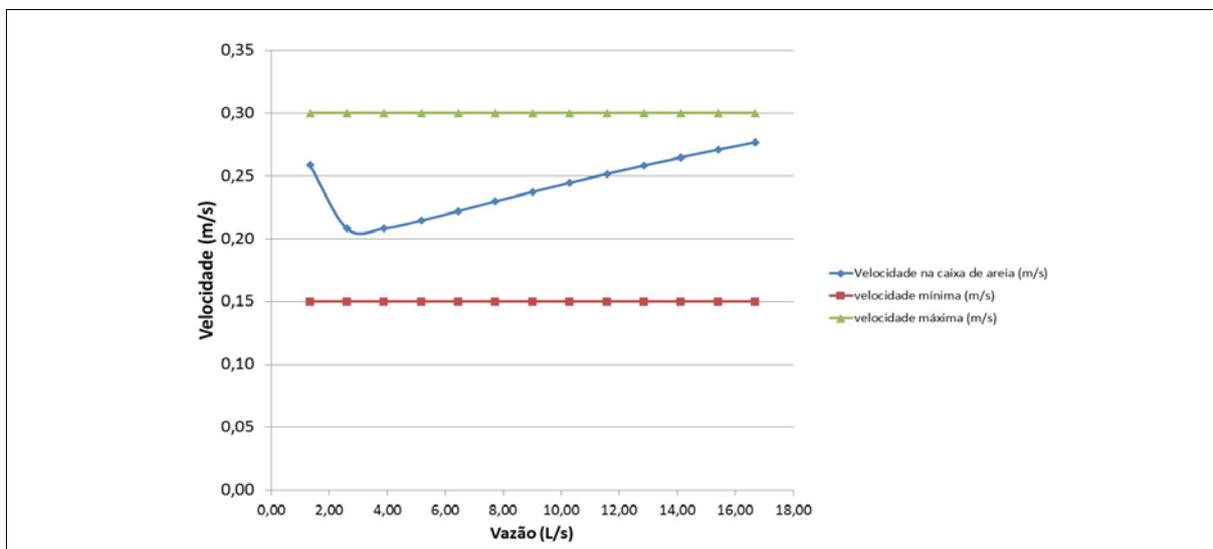
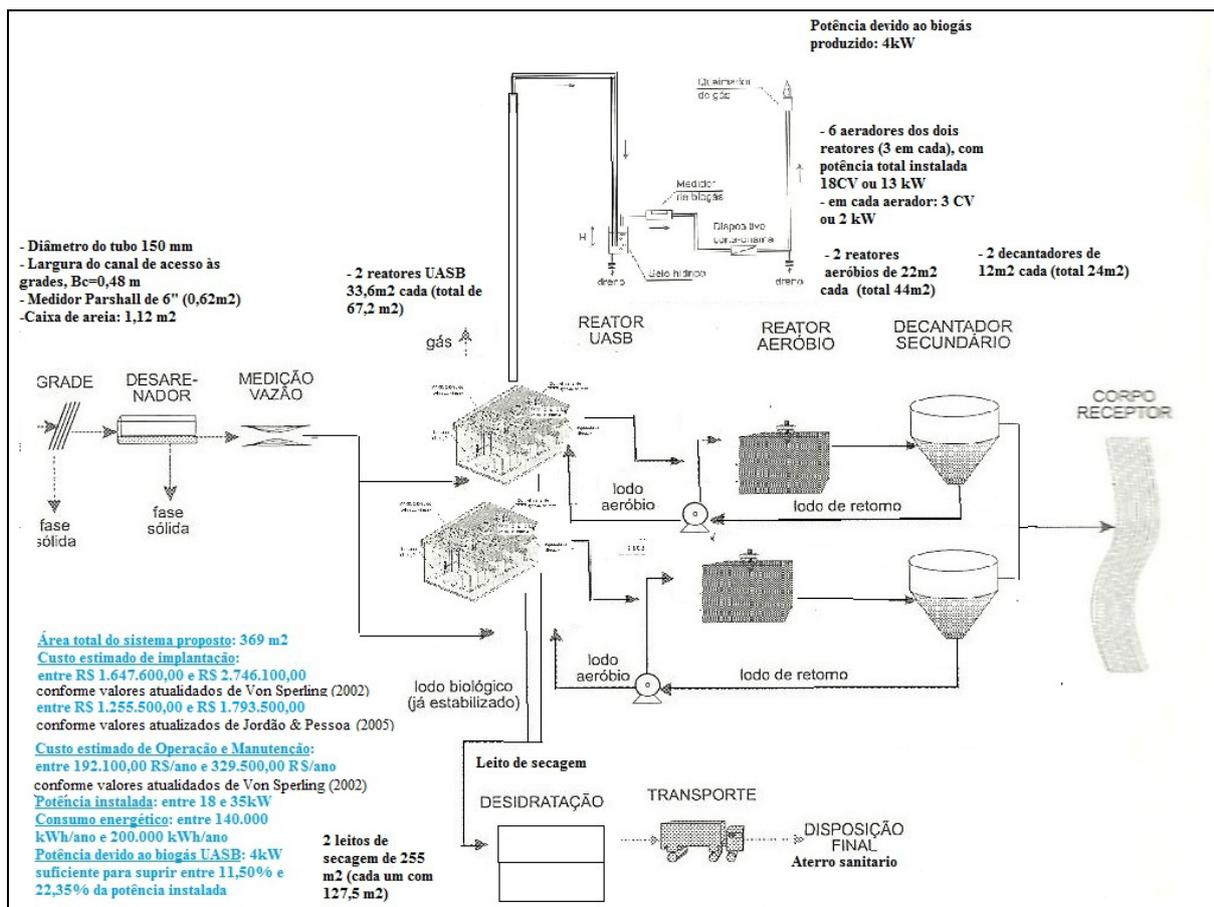


Figura 1: Velocidade em função da vazão na caixa de areia.



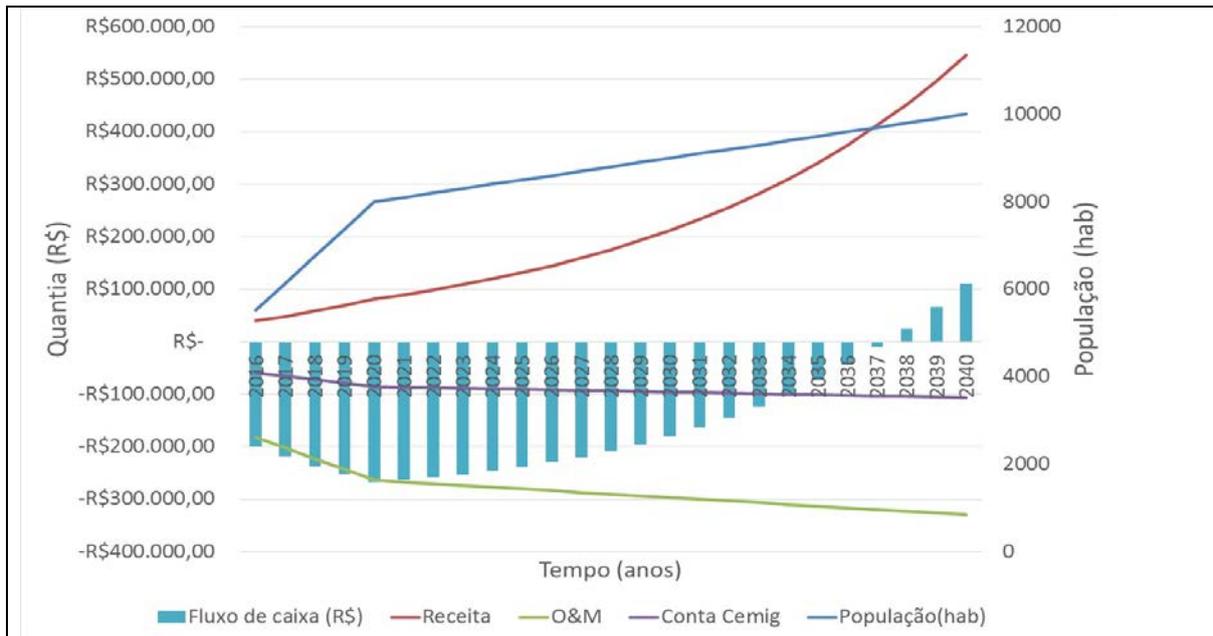
Quanto ao sistema de lodos ativados, considerando-se eficiências globais para o sistema de 90% para DBO e 85% para NTK, estimou-se uma concentração de DBO no efluente final de 32,76 mgDBO/L e de 14,98 mgNTK/L. O volume calculado para o tanque de aeração foi de 157m<sup>3</sup>, sendo 2 tanques de aeração de 78,5m<sup>3</sup>, com área superficial de cada um de 22m<sup>2</sup> (comprimento de 8,20m e largura de 2,73m) e TDH de 0,196d (ou 4,7horas). A produção *per capita* de SS aeróbio resultou em 6 gSS/hab.d; um pouco abaixo do mínimo do preconizado em Von Sperling (2002), porém, em função da contribuição DBO ao esgoto do *Campus* não ser total, pois os ocupantes são temporários, com permanência parcial, esse valor foi aceito no presente estudo. A vazão excedente, Q<sub>exc</sub> aeróbio, resultou em 12m<sup>3</sup>/d, valor bastante baixa comparado à vazão afluente ao reator UASB, representando somente cerca de 1,53% (=12/801). O impacto hidráulico do retorno do lodo aeróbio excedente ao UASB é desprezível, conforme preconizou Von Sperling (2002). A vazão de retorno é, portanto, 641 m<sup>3</sup>/d. O Consumo médio O<sub>2</sub> pela demanda Carbonácea foi de 78,75 kgO<sub>2</sub>/d e pela Nitrogenada foi de de 312 kgO<sub>2</sub>/d, totalizando um consumo de 391 kgO<sub>2</sub>/d ou 21kgO<sub>2</sub>/h (que em condições padrão seria de 34kgO<sub>2</sub>/h), demandando aeradores com Potência requerida de 12kW, resultando em um consumo energético de 10 kWh/hab.ano. O decantador do sistema de lodos ativados foi calculado com área de 24m<sup>2</sup> (12m<sup>2</sup> cada um dos dois decantadores, cada um com diâmetro de 3,91m) e volume total de 84,14m<sup>3</sup> (para uma profundidade de 3,5m), com TDH de 2,52h. O volume diário de lodo calculado foi de 0,425m<sup>3</sup>/d, resultando em Carga per capita de SS de 13gSS/hab.d, um pouco abaixo do valor preconizado por Von Sperling (2002), porém, também aceito no presente estudo em função da permanência parcial dos ocupantes e Volume per capita de lodo de 0,043 Llodo/hab.d. A área do leito de secagem dimensionada resultou em 255m<sup>2</sup>, sendo duas células de 10m de largura por 13m de comprimento e altura de lodo de 0,07m.

O sistema projetado UASB+lodos ativados é apresentado na Figura 3.

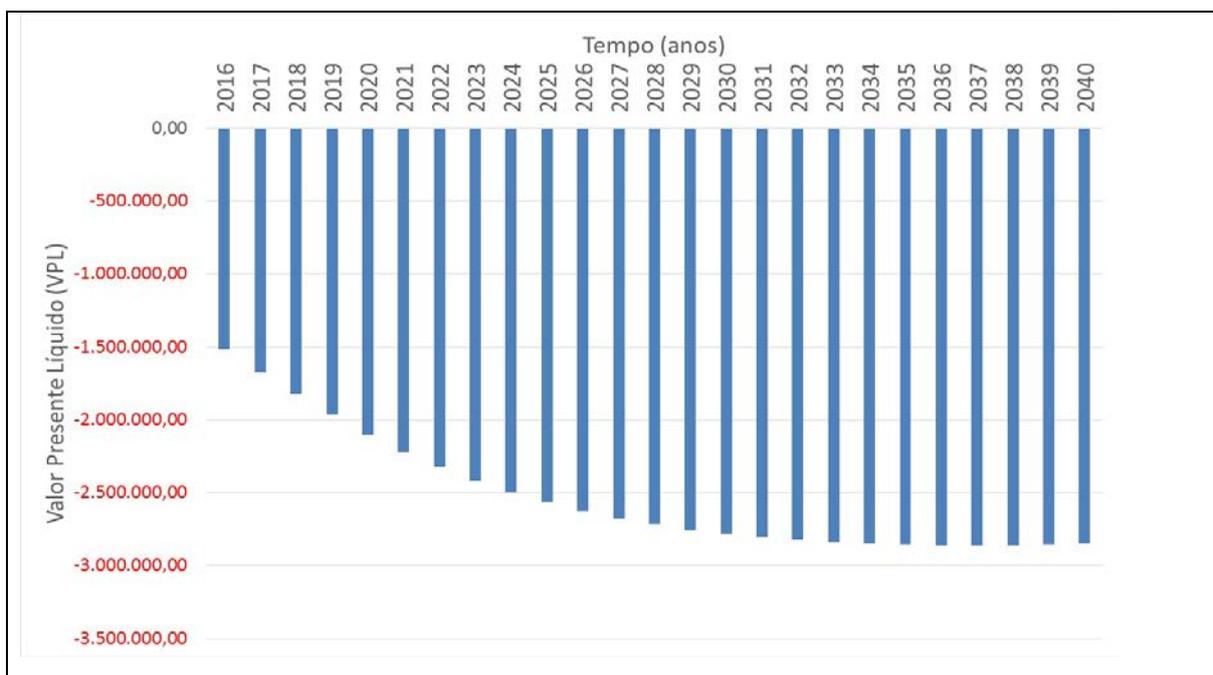


**Figura 3: Representação esquemática do sistema projetado UASB+lodos ativados é apresentado. Fonte: adaptado pelo autor com os valores e arranjos adotados no presente projeto a partir de ilustrações de Von Sperling (2002; 2009), Chernicharo (2005) e Jordão e Pessoa (2005).**

As estimativas de custo de implantação foi entre R\$1.647.600,00 e R\$2.746.100,00 com custo de O&M entre 192.200,00R\$/ano e 329.500,00R\$/ano. A Potência instalada estimada foi entre 18kW e 35kW e o consumo energético de 140.000kWh/ano a 200.000kWh/ano. Para uma vazão de metano de 78m<sup>3</sup>/d, a Potência a ser aproveitada seria de 4kW, passível de suprir entre 11,50% e 22,35% da Potência necessária ao funcionamento. Os valores de fluxo de caixa, receitas pelo não faturamento da conta de tratamento de esgotos e despesas de O&M e de consumo energético geraram o gráfico da Figura 4. Os valores de VPL geraram o gráfico da Figura 5.



**Figura 4: Valores de fluxo de caixa, receitas pelo não faturamento da conta de tratamento de esgotos e despesas de O&M e de consumo energético.**



**Figura 5: Valor Presente Líquido do projeto de ETE proposto.**

Observa-se do gráfico da Figura 4 que o fluxo de caixa só começa a ser positivo entre 2037 e 2038, cujo valor em 2038 seria de R\$25.537,96. Do gráfico da Figura 5, verifica-se que o VPL não se apresenta positivo para o período simulado, tendo como valor em 2016 de -R\$1.517.352,05 e em 2040, de -R\$2.848.537,81. Entretanto, os benefícios ambientais de tratamento de esgoto sanitário e pedagógicos, uma vez que a ETE pode funcionar como um laboratório para os cursos concernentes à área ambiental e energética devem ser levados em consideração.

## CONCLUSÕES

Buscou-se no presente estudo, propor um sistema de tratamento de esgoto sanitário para o *Campus* UNIFEI, em Itajubá-MG, com uma população de ocupantes temporários de 10.000 habitantes e vazão calculada de 801 m<sup>3</sup>/d. Foi proposto um sistema de tratamento composto por 2 reatores UASB, cada qual com área de 33,6 m<sup>2</sup> e volume de 168 de m<sup>3</sup>, seguido de um sistema de lodos ativados (2 tanques de aeração com 78,5m<sup>3</sup> e 22,5 m<sup>2</sup> cada um) e 2 decantadores de 27m<sup>2</sup>. Estima-se que seja produzida uma vazão de metano de 78 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/d ou 7,82 L<sub>CH<sub>4</sub></sub>/hab.d, fornecendo uma potência de 4kW. O custo foi estimado de R\$1.647.600,00 a R\$2.746.100,00, com O&M anual de R\$192,200,00 a R\$329,500,00. Considerando um consumo energético entre 140.000 kWh/ano a 200.000 kWh/ano, ou uma Potência entre 18 e 35KW, estima-se que a potência a ser produzida de 4kW possa suprir entre 11,50% a 22,35% do consumo energético da ETE. Os valores da análise de viabilidade econômica demonstraram que o fluxo de caixa tornar-se-ia positivo apenas entre 2037 e 2038, sendo em 2038 de R\$25.537,96 e que o VPL não alcançaria valores positivos para o período simulado (-R\$2.848.537,81 em 2040). No entanto, há que se considerar a importância de uma ETE tratando no próprio *Campus*, o esgoto sanitário representa em termos de benefícios ambientais e pedagógicos ao funcionar como um laboratório, proporcionando ambiente para pesquisas na área energética e ambiental.

## AGRADECIMENTOS

A autora agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela a concessão da bolsa de produtividade em pesquisa a Prof. Regina Mambeli Barros (PQ2, número do Processo: 301986 / 2015- 0). A autora agradece à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio concedido por meio da Participação Individual em Congressos no País. A autora agradece ao magnífico Reitor da UNIFEI Prof. Dr. Dagoberto Alves de Almeida pela iniciativa de promover a sustentabilidade no *Campus* fornecendo também o apoio necessário, agradece ao apoio do Diretor do IRN Prof. Dr. Geraldo Lúcio Tiago Filho e ao Coordenador do trabalho no âmbito da sustentabilidade hídrica, Prof. Dr. Roberto Alves de Almeida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7229** – Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12209** – Projeto, de estações de tratamento de esgoto sanitário - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
3. BARROS, Regina Mambeli. **Tratado sobre Resíduos Sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais: Acta, 2013. 376 p. ISBN 978-85-7193-295-1
4. BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. RESOLUÇÃO nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de. **Diário Oficial Da União**, Brasília, DF, 18 de março de 2005, p. 58-63.
5. BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. RESOLUÇÃO nº, 430, de 13 de maio de 2011. Complementa e altera a Resolução nº 357/2005. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial Da União**, Brasília, DF, 16 de maio de 2011, p. 89.
6. COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG. **Valores de Tarifa e Serviços**. 2016. Disponível em: [https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores\\_de\\_tarifa\\_e\\_servicos.aspx](https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx). Acesso em 08 de dez de 2016.

7. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Biogás, geração e uso energético**- aterros, versão 1.0 / CETESB, Secretaria de Meio Ambiente, Ministério da Ciência e Tecnologia. São Paulo: SMA: CETESB: MCT, 2006. CD-ROM. Manual v. 1-2, programas executáveis e código fonte.
8. CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2007.
9. JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 3a ed. ABES – RJ, 1995.
10. MINAS GERAIS. CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL; CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS
11. HÍDRICOS DE MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º1, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial de Minas Gerais**, Belo Horizonte, MG, 15 de maio de 2008.
12. INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS - IRN. **Plano de Logística Sustentável**: Plano de investimentos de 2016 em sustentabilidade hídrica. 2016. 19p.
13. NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário**: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.
14. PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 4 ed. São Carlos: ESSC/USP, 2006a.
15. PORTO, R. M. **Programas computacionais para acompanhamento do livro “Hidráulica Básica”**.. 2006b. Disponível em: <http://www.shs.eesc.usp.br/graduacao/disciplina/programas-computacionais-para-acompanhamento-do-livro-hidraulica-basica/>. Acesso em 12 de junho de 2016.
16. VON SPERLING, M. **Lodos Ativados**. 2 ed, vol. 4. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2002. ISBN 978-85-7041-975-0
17. VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. vol. 1 Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2009. ISBN 9788542300536.