

XI-032 - AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO NA ETE PIÇARRÃO: ANÁLISE QUANTITATIVA E QUALITATIVA DO BIOGÁS

Bruno Marcos Silveira ⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Escola de Minas - Universidade Federal de Ouro Preto. Engenheiro da Estação de Tratamento de Esgoto Piçarrão - SANASA – Campinas - SP.

Endereço⁽¹⁾: Rua Joaquim Tarso Gallace Zambon, s/nº - Parque Santa Barbara - Campinas - SP - CEP: 13064-400 - Brasil - Tel.: (19) 33485680 - [e-mail: tratamento.esgoto4@sanasa.com.br](mailto:tratamento.esgoto4@sanasa.com.br)

RESUMO

Dentre as fontes de energia renovável, o biogás, gerado a partir da digestão anaeróbia em estações de tratamento de esgotos domésticos, desponta-se no Brasil como um imenso potencial energético, o que poderá trazer, sem sombra de dúvidas, enormes benefícios ambientais, econômicos, energéticos e sociais. Diante deste contexto, este trabalho teve como objetivo, realizar uma análise quantitativa e qualitativa do biogás gerado na ETE Piçarrão, unidade que atualmente compõe o sistema de tratamento de esgotos da Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S.A – SANASA, bem como efetuar uma avaliação preliminar do seu potencial energético. Verificou-se a partir da realização deste trabalho que, a ETE Piçarrão é responsável pela geração de um volume significativo de biogás, apresentando o último, elevadas concentrações de metano em sua composição, tendo, porém, a necessidade de promover um tratamento adequado no que tange a remoção de H₂S, caso se deseje promover o seu aproveitamento energético. Os arranjos propostos para o aproveitamento energético do biogás gerado (geração de energia elétrica, secagem térmica do lodo e cogeração de energia) indicaram uma economia significativa dos custos operacionais da estação com energia elétrica e destinação final do lodo desaguado. Tais resultados sugerem a necessidade de estudos mais detalhados que envolvem CAPEX e OPEX, o que dará maiores subsídios para uma análise de viabilidade econômica e ambiental acerca da implantação das tecnologias disponíveis no mercado para o aproveitamento energético, permitindo assim definir a melhor alternativa dentre os arranjos inicialmente propostos.

PALAVRAS-CHAVE: Reatores UASB, Aproveitamento Energético, Biogás, PROBIOGÁS, Energia Elétrica, Secagem Térmica de Lodo, Cogeração.

INTRODUÇÃO

Ainda que grande parte da demanda energética mundial seja atendida por combustíveis fósseis, é consenso geral entre os estudiosos que as reservas desses combustíveis se encontram em processo de declínio. Esta realidade, aliada a fatores como a preocupação com as questões ambientais, assinaturas de tratados ambientais entre países e os custos com energia elétrica, tem contribuído significativamente para o aumento de pesquisas e investimentos voltados à produção de novas fontes de energia, com especial atenção para as fontes de energia renovável.

Dentre as fontes de energia renovável, o biogás, gerado a partir da digestão anaeróbia em estações de tratamento de esgotos domésticos, desponta-se no Brasil como um imenso potencial energético, o que poderá trazer, sem sombra de dúvidas, enormes benefícios ambientais, econômicos, energéticos e sociais. (Lobato, 2011, p.52 e 54).

A ETE Piçarrão, unidade que atualmente compõe o sistema de tratamento de esgotos da Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S.A – SANASA, também desponta como uma unidade potencial para a geração de energia a partir do biogás. Tendo como concepção de projeto, reatores anaeróbios seguidos de lodos ativados, tal estação responde atualmente pelo tratamento médio de 457 L/s de esgotos domésticos do município de Campinas/SP. Com uma demanda mensal de 442 MWh e uma geração diária de pouco mais de 20 toneladas de lodo desidratado, tal estação é responsável por uma geração média diária de 3293 Nm³ de biogás. No entanto, tal volume de biogás é atualmente destinado unicamente à combustão direta, sem que ocorra o seu aproveitamento energético.



Figura 1 – Vista Aérea da ETE Piçarrão. Fonte: Arquivo Interno da SANASA

Diante deste contexto, este trabalho teve como objetivo realizar uma análise qualitativa e quantitativa do biogás gerado na estação, bem como efetuar uma avaliação preliminar do potencial energético do biogás gerado nos reatores UASB instalados na ETE Piçarrão.

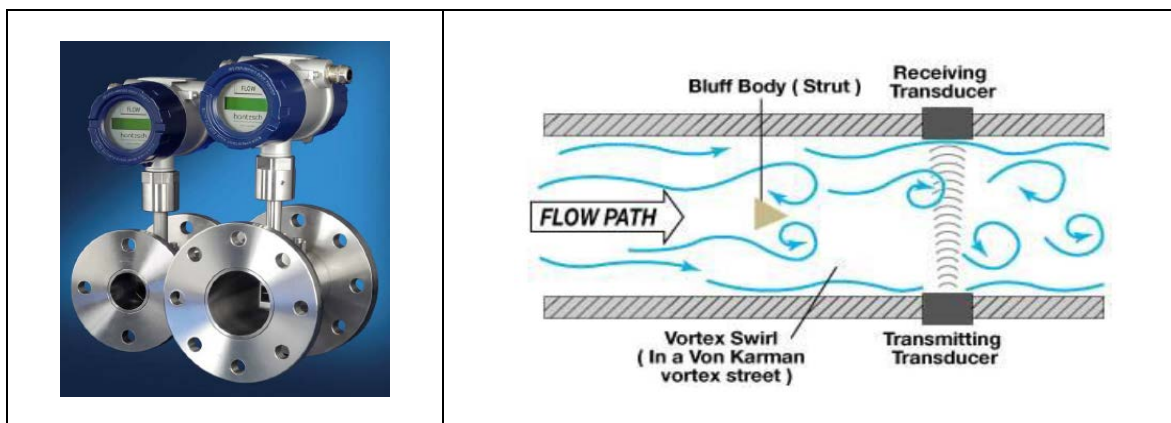
Com o intuito de se estimar o potencial energético do biogás, foram propostos e comparados 3 (três) possíveis arranjos que visassem promover o aproveitamento energético do biogás gerado na estação: 1) geração de energia elétrica; 2) secagem térmica do lodo a partir da queima do biogás e 3) cogeração de energia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para análise quantitativa e qualitativa do biogás gerado na ETE Piçarrão, foram utilizados dados coletados e tratados no período de janeiro a dezembro de 2015, período este, em que houve a participação da referida estação no Projeto PROBIOGÁS (uma iniciativa do governo brasileiro, por intermédio da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, e do governo alemão, por meio da *Deutsche Gesellschaft Fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH*, com o apoio da empresa AKUT/Rotária do Brasil e da Universidade federal de Minas Gerais (UFMG) e de mais 8 companhias de Saneamento, no intuito de se criar uma base de dados sobre os reatores UASB no Brasil, tomando como referência medições realizadas em 10 estações de tratamento de esgoto em escala real).

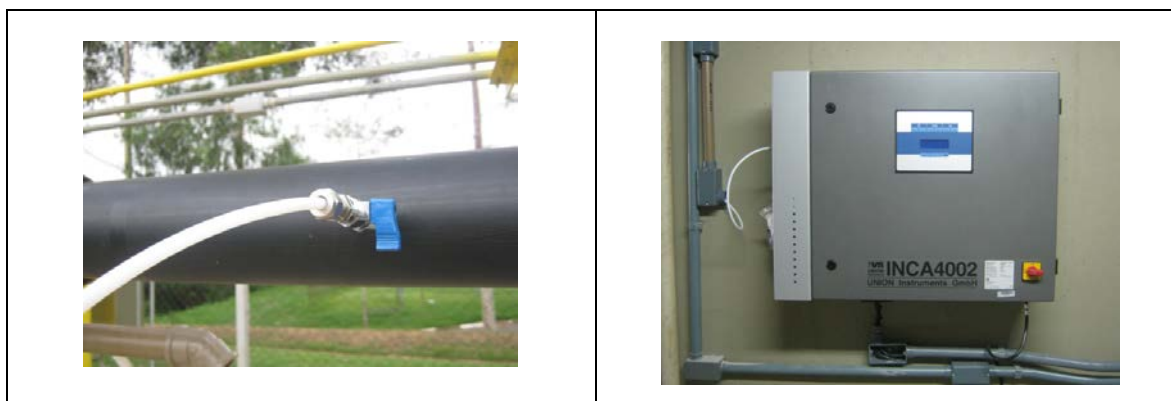
Durante o período mencionado, permaneceram instalados na ETE Piçarrão, uma unidade de medição de vazão de biogás do tipo Vórtex, da marca *Hontzsch* juntamente com medidor de pressão e temperatura, um analisador fixo de biogás, modelo INCA 4002, da marca *Union Instruments*, e também um analisador online de carga orgânica (DQO), modelo *Carbolyser*, da marca *S::CAN*.

O princípio de funcionamento, o medidor de vazão do tipo Vórtex, baseia-se nos estudos do cientista e engenheiro aeronáutico Bernard T. Von Karan (1881 -1963), que comprovou que a partir da determinação da frequência de vórtices gerados pelo fluxo de biogás, ao encontrar um obstáculo de perfil não aerodinâmico, era possível determinar a velocidade de escoamento do biogás, e por sua vez, a sua vazão. (Gonçalves, 2011, p.2). Tal medidor foi assim instalado na linha principal de queima do biogás, juntamente com medidores de pressão e temperatura, sendo possível determinar a vazão de biogás em Nm³. A foto do medidor vórtex e do seu princípio de funcionamento podem ser visualizados nas Figuras 2 e 3.



Figuras 2 e 3 - Vista do medidor vórtex e princípio de funcionamento. Fonte: Manual do Fabricante.

Durante o período de análise, uma pequena amostra de biogás era desviada da linha principal de queima, sendo a mesma encaminhada ao analisador, estando o último, previamente configurado para a leitura de quatro tipos de gases: CH₄, CO₂, O₂, H₂S. As análises da concentração dos gases CH₄ e CO₂ eram realizadas por meio de um sensor infravermelho não dispersivo, que utiliza as propriedades absorventes desses gases para a radiação de luz, determinando assim suas concentrações pelo grau de sua atenuação da luz. Enquanto as análises da concentração dos gases O₂ e H₂S eram realizadas por meio de sensores eletroquímicos, que, quando em contato com o gás específico a ser analisado, desencadeia uma reação de oxirredução, promovendo um deslocamento de elétrons, gerando uma corrente elétrica que pode então ser aferida, determinando o grau de concentração do gás de interesse. Os resultados das análises eram registrados pelo medidor em intervalos regulares de 10 minutos. As fotos do ponto de amostragem do biogás e do analisador de biogás podem ser visualizadas nas Figuras 4 e 5.



Figuras 4 e 5. Ponto de coleta de biogás e analisador fixo de biogás. Fonte: Arquivo interno da SANASA.

No que tange ao analisador de carga orgânica (DQO), o mesmo tinha como objetivo efetuar a aferição da carga orgânica afluyente e efluente aos reatores anaeróbios, assim como promover a determinação de Sólidos Suspensos Totais (SST) e Temperatura (°C) presentes em tais amostras. A medição de tal analisador baseia-se no princípio da espectrometria do UV- VIS e determinação da carga orgânica por meio do enfraquecimento do feixe de luz que se move através do meio. Para tanto, foram instaladas duas bombas submersíveis em um dos módulos dos reatores UASB's da ETE Piçarrão, sendo a primeira instalada na caixa de entrada do esgoto bruto e a segunda na canaleta de saída do esgoto tratado. Trabalhando alternadamente, tais bombas tinham como função encaminhar amostras do esgoto bruto e tratado ao analisador de DQO, determinando assim, a eficiência de remoção da carga orgânica nos reatores UASB's, bem como, possibilitando a realização de estimativas quanto a taxa de conversão da DQO em biogás, a partir de uma melhor compreensão do balanço de massas da DQO presente em tais reatores. As fotos do ponto de amostragem de coleta de amostras e do analisador de carga orgânica podem ser visualizadas nas Figuras 6, 7 e 8.



Figuras 6, 7 e 8. Sistema de medição de DQO e pontos de instalação das tomadas de amostras (entrada e saída do reator UASB). Fonte: Arquivo Interno da SANASA

A partir do tratamento dos dados coletados no período mensurável, realizados por Cabral (2016), foram efetuadas análises estatísticas de modo a promover estimativas quantitativas e qualitativas do biogás gerado na ETE Piçarrão. Durante tal período, também foram mensuradas as vazões de entrada do esgoto bruto, por meio da utilização do sensor ultrassônico já instalado na calha parshall de entrada da estação, o que possibilitou ao autor estabelecer correlações com os resultados apresentados.

Com o intuito de se estimar o potencial energético, foram utilizados estudos acadêmicos, empíricos e práticos, além de catálogos de fornecedores disponibilizados na literatura, acerca dos equipamentos e tecnologias atualmente empregados para a geração de energia a partir do biogás. Foram também adotados parâmetros e relações unitárias disponibilizados na literatura, utilizados para os cálculos de conversão de biogás em energia elétrica e em energia térmica, sendo ao final deste trabalho, apresentados 3 (três) arranjos que visassem o aproveitamento energético do biogás gerado na ETE Piçarrão:

No Arranjo 1 – Geração de Eletricidade: todo o biogás seria utilizado exclusivamente para a geração de eletricidade, sendo a mesma consumida integralmente na ETE Piçarrão, não sendo aproveitado o calor perdido com os motor-geradores. Neste arranjo, o biogás gerado na estação seria direcionado à um sistema preliminar de limpeza e tratamento, sendo removidos toda água e sedimentos arrastados pelo biogás. Após tal tratamento, o biogás seria armazenado em um gasômetro, passando em seguida por demais sistemas de drenagem e tratamento, com o objetivo de promover sua dessulfurização, assim como a remoção de siloxanos. O biogás seria então destinado aos vasos de desidratação, com placas trocadoras de calor, seguidas de compressores, alimentando por fim os motores do tipo Ciclo Otto. A escolha dos últimos, levou em consideração o fato que tais equipamentos possuem uma maior eficiência na conversão da energia térmica em eletricidade, têm sido a opção mais utilizada em projetos semelhantes no mundo. (Valente, 2015, p.67). Para tanto, foi considerada em adotado, em tal arranjo, uma eficiência média de conversão do biogás em eletricidade de 35%, sendo adotado um regime de geração de energia de 24 horas, com um fator de capacidade anual de 90%. A opção por este regime de geração implicaria em um custo menor de implantação, já que implicaria na adoção de motor-geradores de menor porte, assim como na utilização de um gasômetro com menor capacidade de armazenamento. O Arranjo 1 pode ser visualizado na Figura 9.

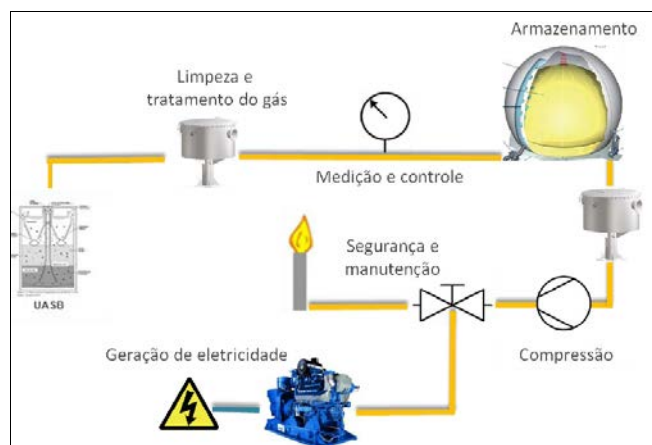


Figura 9 - Desenho esquemático simplificado.
Arranjo 1. Fonte: Valente, 2015.

No Arranjo 2 – Secagem Térmica: o biogás gerado na estação seria utilizado exclusivamente para queima em uma câmara de combustão, sendo todo calor gerado utilizado para a secagem do lodo produzido na etapa de desaguoamento. Neste caso, como o biogás seria apenas queimado, não se considerou necessária a eliminação de siloxanos, assim como a instalação de um sistema de remoção da umidade, situada após o sistema de dessulfurização, conforme previstos nos arranjos 1 e 3. Foram assim suprimidos, o filtro de carvão ativado e o vaso de desidratação com trocadores de calor do tipo placas. No que tange ao equipamento de conversão do biogás em energia térmica, foi considerado um sistema rotativo misto, sendo previsto alcançar um teor de sólidos máximo de 90% no lodo ao final do processo, evitando assim risco de explosão. O Arranjo 2 pode ser visualizado na Figura 10.

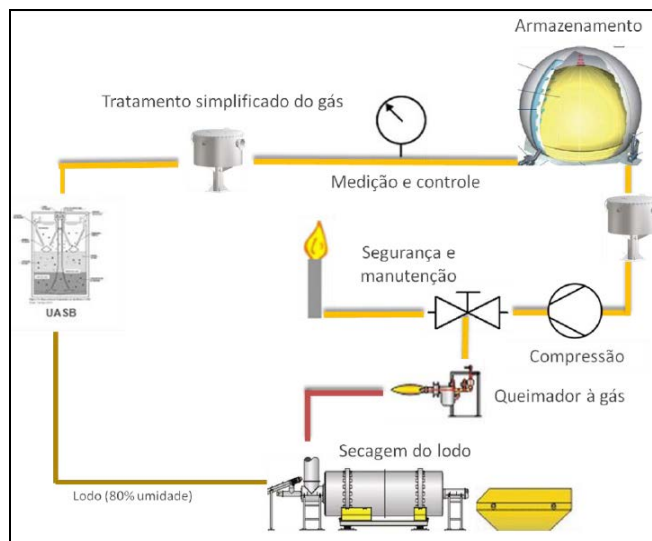
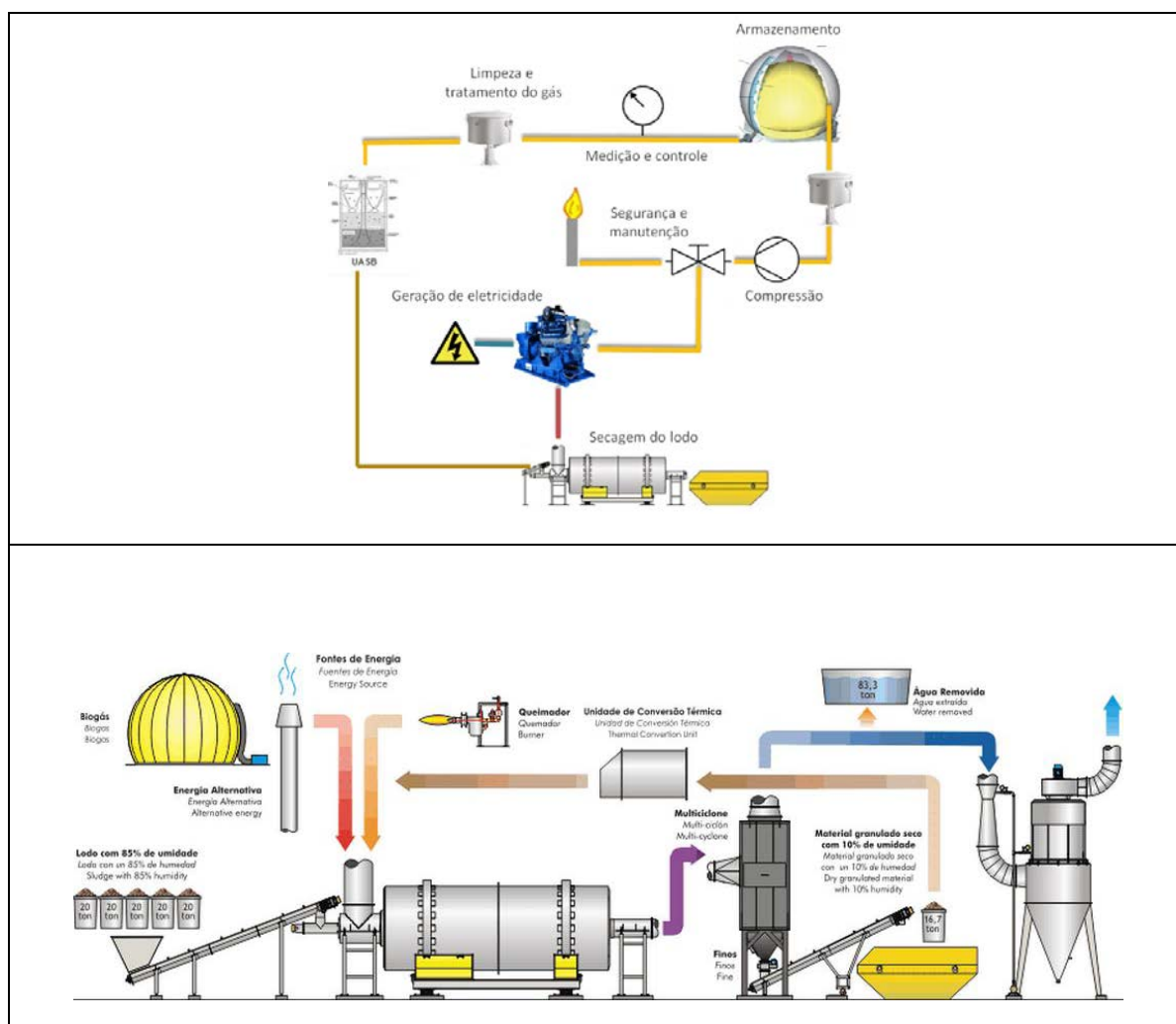


Figura 10 - Arranjo 2. Desenho esquemático simplificado.
Fonte: Valente, 2015.

No Arranjo 3 – Cogeração de Energia: todo biogás gerado na estação seria utilizado para a geração de eletricidade. No entanto, o calor residual proveniente dos motor-geradores, seria canalizado e destinado à secagem térmica do lodo desaguoado na estação, aumento assim seu teor de sólidos. Como o calor proveniente dos motor-geradores não seria suficiente para secar todo lodo gerado na ETE Piçarrão até o teor de 90% de sólidos, este arranjo foi subdividido em duas possibilidades. A primeira é de que todo lodo desaguoado da estação fosse submetido a uma secagem térmica, o que faria com que o mesmo atingisse o teor de sólidos próximo aos 70%. A segunda possibilidade é a de que somente parte do lodo desaguoado fosse encaminhada à

secagem térmica, elevando assim seu teor de sólidos a 90%. A parcela de lodo não submetida a secagem térmica continuaria a ser destinada ao aterro, tendo este seu teor de sólidos no entorno de 24%. Neste arranjo, foram previstas a instalação das mesmas unidades de tratamento, refrigeração e compressão de biogás consideradas no Arranjo 1, sendo também adotados motores do tipo Ciclo Otto para a conversão do biogás em energia elétrica. Neste caso, para o aproveitamento do biogás em energia térmica, foi considerado o gás de escape do motor-geradores como fonte de calor, alimentando dessa maneira, um sistema rotativo misto, sendo o mesmo composto por: a) sistema de alimentação; b) secador de lodo do tipo tambor rotativo; c) câmara de queima com queimador a gás, d) duto pneumático, e) multiciclone para remoção de particulados, f) lavador de gases; g) exaustor; h) transportador helicoidal de descarga do lodo. O Arranjo 3 pode ser visualizado nas Figuras 11 e 12.



Figuras 11 e 12 - Arranjo 3. Desenho esquemático simplificado. Fonte: Valente, 2015.

Em todos os arranjos apresentados, foi considerado o aproveitamento das instalações atuais já existentes na ETE Piçarrão, principalmente no que diz respeito aos queimadores de biogás, de modo que os mesmos pudessem ser instalados em uma linha paralela situada logo após o gasômetro. Tais queimadores poderiam operar como unidades de alívio do sistema, seja por uma questão de segurança, no caso de ocorrer uma sobre produção de biogás, seja durante o período de manutenção do sistema de aproveitamento energético.

Os parâmetros e os cálculos utilizados na avaliação do potencial energético do biogás seguem agrupados nas Tabelas 1 e 2, assim como disposto na Figura 13.

Tabela 1 – Parâmetros adotados na avaliação do potencial energético.

Parâmetro	Notação	Unidade	Valor	Fonte
Potencial Calorífico Inferior do metano	PCI_{CH_4}	KWh/m ³	9,96	(VALENTE, 2015)
Porcentagem de CH ₄ no biogás	P_{CH_4}	%	79,5	(CABRAL, 2016)
Eficiência elétrica motor gerador	n_{motor}	%	35	Adotado pelo autor
Rendimento Térmico - Cogeração	$n_{cogeração}$	%	39	(VALENTE, 2015)
Rendimento Térmico - Queimador	$n_{queimador}$	%	85	(VALENTE, 2015)
Energia necessária para evaporar 1 m ³ de água	E_{evap}	kWh/m ³ H ₂ O	1000	(VALENTE, 2015)
Regime de Geração	H	horas	24	Adotado pelo autor
Fator de Capacidade Anual	FC	%	90	Adotado pelo autor
Energia consumida ETE Piçarrão	$E_{Piçarrão}$	MWh/ano	392	(SANASA, 2015)
Custo transporte e disposição de Lodo	T_{lodo}	R\$/t	195,99	(SANASA, 2016)
Custo Médio Energia e impostos	T_{el}	R\$/kWh	0,4486167	(SANASA, 2016)
Ter de sólidos secos (pós - centrífuga)	TS_{Lodo1}	%	24	(SANASA, 2015)
Teor de umidade lodo (pós - centrífuga)	U_{Lodo1}	%	76	(SANASA, 2015)
Densidade do Lodo	ρ_{lodo}	kg/m ³	1050	(VALENTE, 2015)

Tabela 2 - Cálculos utilizados na avaliação do potencial energético. Fonte: Adaptado de Valente, 2015.

Parcelas	Equações	Observações
Energia disponível no Biogás	$E = Q_{n- \text{Biogás}} \times (P_{CH_4} \div 100) \times PCI_{CH_4}$	E = Energia disponível no Biogás (KWh/d). $Q_{n- \text{Biogás}}$ = produção diária normalizada de biogás (Nm ³ /d). P_{CH_4} = Porcentagem de metano no biogás (%). PCI_{CH_4} = Potencial Calorífico Inferior do metano.
Energia elétrica diária gerada	$E_{elétrica} = E \times n_{motor}$	$E_{elétrica}$ – Energia Elétrica diária gerada (kWh/dia). E = Energia disponível no Biogás (KWh/d). n_{motor} = Eficiência elétrica do motor gerador.
Potência elétrica instalada	$P = E_{elétrica} \div H$	P = Potência Elétrica Instalada (kWh/dia). $E_{elétrica}$ – Energia Elétrica diária gerada (kWh/dia). H = Regime de geração (h) de energia.
Energia elétrica anual gerada	$E_{el_ano} = (E_{elétrica} \times FC \times 365 \text{ dias}) \div 1000$	E_{el_ano} = Energia Elétrica anual gerada (kWh/ano). $E_{elétrica}$ = Energia Elétrica diária gerada (kWh/dia). FC = Fator de capacidade ao longo do ano referente ao número de horas do ano em operação descontado pausas para manutenção.
Auto-suprimento energético da estação	$A = (E_{el_ano} \div E_{cons_ano}) \times 100$	A = Auto – suprimento energético (%) da estação. E_{el_ano} = Energia Elétrica anual gerada (kWh/ano). E_{cons_ano} = Energia Elétrica média consumida (kWh/ano).
Energia disponível para secagem do lodo	$E_{term} = E \times n_{cogeração}$	E_{term} = Energia disponível para secagem do lodo. E = Energia disponível no Biogás (KWh/d). $n_{cogeração}$ = Rendimento térmico – Cogeração (%). PCI_{CH_4} = Potencial calorífico inferior do metano.
Volume de água no lodo (pós centrífuga)	$V_{agua} = V_{Lodo} \times U_{Lodo1}$	V_{agua} = Volume de água no lodo (pós centrífuga) (m ³ /dia). V_{Lodo} = Volume de lodo (pós centrífuga) (m ³ /dia). U_{Lodo1} = Teor de umidade lodo (pós - centrífuga) (%).
Volume de água removida no lodo (pós secagem)	$V_{agua \text{ removida}} = E_{term} \div E_{evap}$	$V_{agua \text{ removida}}$ = Volume de água removida no lodo (pós secagem). E_{term} = Energia disponível para secagem do lodo. E_{evap} = Energia necessária para evaporar 1 m ³ de água.
Umidade do lodo (pós secagem)	$U_{Lodo1} = (V_{agua} - V_{agua \text{ removida}}) \div V_{agua}$	U_{Lodo1} = Teor de umidade lodo pós – secagem (%). V_{agua} = Volume de água no lodo pós centrífuga (m ³ /dia). $V_{agua \text{ removida}}$ = Volume de água removida no lodo pós secagem (m ³ /dia).
Volume de lodo (pós secagem)	$V_{lodo \text{ seco}} = V_{Lodo} \times V_{relativo}$	$V_{L \text{ seco}}$ = Volume de lodo (pós secagem) (m ³ /dia). V_{Lodo} = Volume de lodo (pós centrífuga) (m ³ /dia). $V_{relativo}$ = Constante definida a partir da umidade do lodo.
Massa de lodo anual evitado para o aterro sanitário	$V_{evitado} = ((V_{Lodo} - V_{L \text{ seco}}) \times \rho_{lodo} \times 365) \div 1000$	$V_{evitado}$ = Volume de lodo evitado (t/ano). V_{Lodo} = Volume de lodo (pós centrífuga) (m ³ /dia). $V_{L \text{ seco}}$ = Volume de lodo (pós secagem) (m ³ /dia).

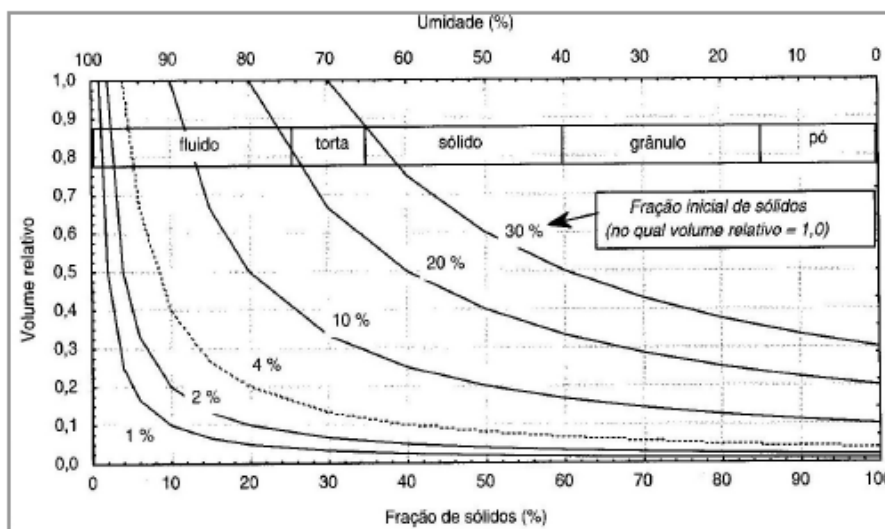


Figura 13 - Relação entre o volume de lodo e a fração de sólidos ou umidade.

Fonte: ANDREOLI et al (2001), apud VALENTE (2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

RESULTADOS REFERENTES A ANÁLISE QUANTITATIVA E QUALITATIVA DO BIOGÁS GERADO NA ETE PIÇARRÃO

A partir do tratamento e da análise estatística dos dados coletados no período mensurado, foi possível definir a vazão média de esgoto afluente no período analisado, resultado em uma vazão média de 429,8 L/s, com a geração de uma vazão média de biogás gerada na ETE Piçarrão, que foi de 137,2 Nm³/h. Os resultados da análise estática realizada podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3 - Estatísticas descritivas das vazões de esgoto e biogás encontrados na ETE Piçarrão.

Fonte: Adaptado de Cabral, 2016.

Vazões de esgoto e biogás encontrados na ETE Piçarrão						
Parâmetros	Média	Mínimo	Máximo	25%	75%	DP
Vazão de esgoto (L/s)	429,8	344,4	525,7	413,4	446,2	27,6
Vazão de biogás (Nm ³ /h)	137,2	63,5	201,4	122,7	155,3	24,8

Com base nas relações unitárias (determinadas no modelo proposto por Lobato, 2011), que permitem correlacionar a geração de biogás com o volume de esgoto tratado em reatores UASB que tratam esgotos domésticos, foi possível ao autor verificar se a vazão média real de biogás gerada na ETE Piçarrão se encontrava próximo a vazão teórica esperada em tal modelo. A ETE Piçarrão foi assim enquadrada dentro da “Situação Típica” mencionada por Lobato (2011) em termos de geração de biogás, indicando que seus reatores promovem uma boa conversão de DQO em biogás. Tal resultado também demonstra que a estação tem condição de aumentar o seu potencial energético, objetivando dessa maneira se enquadrar na “Melhor Situação”. Os valores teóricos de geração de biogás esperados para a ETE Piçarrão podem ser visualizados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores Teóricos de produção de biogás para a ETE Piçarrão. Adaptado de Lobato 2011.

Estimativa teórica de geração de biogás ($\text{Nm}^3 \cdot \text{m}^{-3} \text{esgoto}$) esperada para ETE Piçarrão											
Ano base 2015	ETE Piçarrão		Pior Situação			Situação Típica			Melhor Situação		
	Vazão (L/s)	Vazão (m^3/h)	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd
			0,1167	0,0238	0,0603	0,1383	0,0464	0,0856	0,1683	0,0648	0,1016
JAN	421	1516	176,87	36,07	91,39	209,61	70,32	129,74	255,08	98,21	153,98
FEV	441	1588	185,27	37,78	95,73	219,57	73,66	135,90	267,19	102,88	161,30
MAR	471	1696	197,88	40,36	102,24	234,50	78,68	145,14	285,37	109,87	172,27
ABR	441	1588	185,27	37,78	95,73	219,57	73,66	135,90	267,19	102,88	161,30
MAI	428	1541	179,81	36,67	92,91	213,09	71,49	131,89	259,32	99,84	156,55
JUN	415	1494	174,35	35,56	90,09	206,62	69,32	127,89	251,44	96,81	151,79
JUL	414	1490	173,93	35,47	89,87	206,12	69,15	127,58	250,83	96,58	151,42
AGO	425	1530	178,55	36,41	92,26	211,60	70,99	130,97	257,50	99,14	155,45
SET	425	1530	178,55	36,41	92,26	211,60	70,99	130,97	257,50	99,14	155,45
OUT	426	1534	178,97	36,50	92,48	212,10	71,16	131,28	258,10	99,38	155,81
NOV	456	1642	191,57	39,07	98,99	227,03	76,17	140,52	276,28	106,38	166,79
DEZ	474	1706	199,14	40,61	102,90	236,00	79,18	146,07	287,19	110,57	173,37
Média Anual	Vazão (L/s)	Vazão (m^3/h)	Pior Situação			Situação Típica			Melhor Situação		
			Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd	Máx	Mín	Méd
	436	1571	183,35	37,39	94,74	217,28	72,90	134,49	264,42	101,81	159,62

OBS. De acordo com Lobato: A pior situação é aquela na qual o potencial energético é menor, refere-se a sistemas operando com esgoto mais diluído, concentrações de sulfato maiores, menor eficiência de remoção de DQO e maiores índices de perda de metano. A melhor situação é aquela em que o potencial energético é maior, refere-se a sistemas operando com esgoto mais concentrado, menores concentrações de sulfato, maior eficiência de remoção de DQO e menores índices de perda de metano. Para a situação típica, foram utilizados valores intermediários para os dados de entrada. O modelo proposto por Lobato contempla as quantidades de metano dissolvidas no meio líquido, assim como as perdas relacionadas à redução de sulfato.

Com o intuito de analisar e entender o comportamento da geração de biogás ao longo das horas, foram plotados dados coletados em um período de 20 dias (01/10/2015 a 20/10/2015), efetuando-se uma correlação com a vazão de esgoto afluente a estação. O gráfico pode ser visualizado na Figura 14.

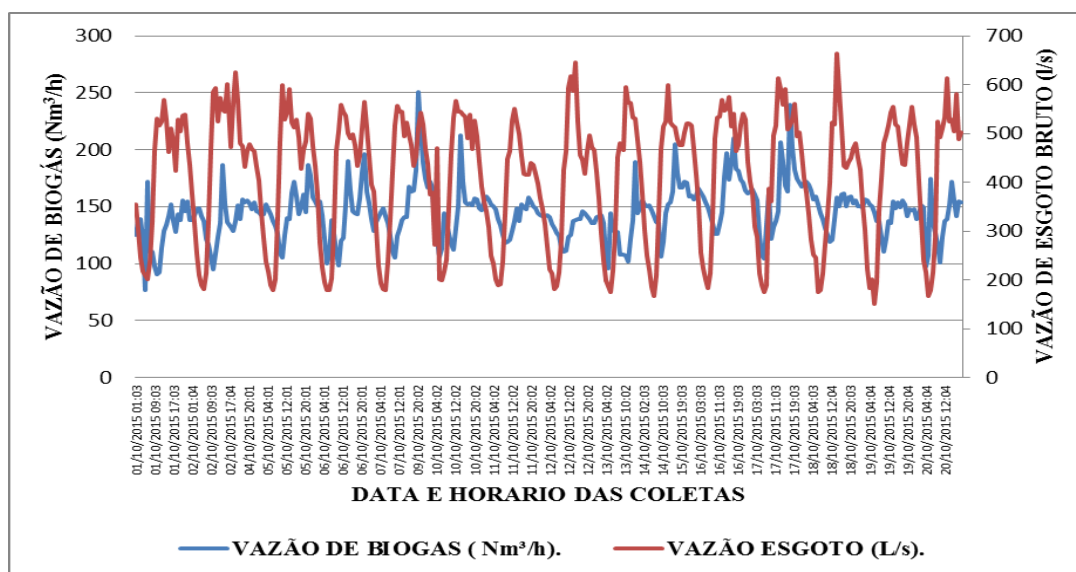


Figura 14 – Correlação entre vazão de biogás e esgoto afluente. Fonte: Autor (2017).

Por meio de tal correlação, pôde-se identificar, conforme já reportado por Cabral (2016), que a produção do biogás segue um comportamento temporal variável, periódico e não estacionário. Tal comportamento evidencia a importância da instalação de um gasômetro na ETE Piçarrão, caso se objetive promover o aproveitamento energético do biogás. Tal unidade de armazenamento do biogás permite que seja feita a regularização da vazão de biogás gerada, evitando perdas no sistema em momentos de maior geração de biogás, assim como propicia uma alimentação mais uniforme aos motor-geradores nas horas de menor geração.

Através de análise estatística, também pôde se determinar a composição média do biogás gerado na ETE Piçarrão. O que permitiu verificar que a mesma se encontra próxima à composição volumétrica típica encontrada em biogás proveniente de reatores que tratam exclusivamente de esgotos domésticos. Exceção apenas ao parâmetro H_2S , que apresentou picos de concentração acima dos valores típicos reportados, o que pode ser um indicativo que parte do gás sulfídrico diluído no efluente líquido é arrastada para a superfície do separador trifásico, sendo direcionado à queima juntamente com o biogás, justificando assim a presença de pontos de oxidação nas tubulações, curvas e demais elementos que compõem o sistema de transporte e queima do biogás presentes na ETE Piçarrão.

Tais concentrações de H_2S exigem, portanto, uma maior atenção dos projetistas, no que tange ao dimensionamento de um eficiente sistema de tratamento do biogás preliminarmente ao seu aproveitamento energético. A composição do biogás gerado na ETE Piçarrão pode ser visualizada na tabela 5.

Tabela 5 – Estatísticas descritivas dos dados de composição do biogás encontrada na ETE Piçarrão.

Fonte: Adaptado de Cabral, 2016 e Lobato, 2011.

Composição do biogás gerado na ETE Piçarrão									Valores Típicos em Reatores Anaeróbios
Parâmetros	N	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	25%	75%	DP	
CH ₄ (%)	1787	79,5	79,6	71,3	84,9	78,2	81	2,1	60 a 85
CO ₂ (%)	1787	11,6	11,7	8,9	14,5	11,0	12,2	0,9	5 a 15
O ₂ (%)	1787	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,01	Traços
H ₂ S (ppm)	1787	2066	1954	342	4383	1636	2324	698	1000 a 2000

No que tange a análise de carga orgânica (DQO) e sua correlação com a produção de biogás, infelizmente o autor não obteve resultados satisfatórios e conclusivos em relação as amostras analisadas, impossibilitando assim uma melhor compreensão da conversão de DQO em biogás em tais reatores. Tal dificuldade de análise se justificou devido aos diversos problemas apresentados nas bombas de recalque do esgoto bruto e tratado, ocasionados, em sua maioria, pela quantidade acentuada de resíduos, ocasionando dessa maneira, obstruções na linha de recalque, queima das bombas e erros nas medições devido ao acúmulo de sujeira na sonda. Além disso o analisador de DQO também apresentou problemas de fábrica, tendo sua manutenção dificultada em decorrência da ausência de uma assistência técnica do fabricante no Brasil, assim como os entraves burocráticos de importação.

RESULTADOS REFERENTES A ESTIMATIVA DO POTENCIAL ENERGÉTICO DO BIOGÁS GERADO NA ETE PIÇARRÃO

A estimativa do potencial energético do biogás gerado na ETE Piçarrão indicou resultados bastante motivadores para todos os 3 (arranjos propostos), sugerindo dessa forma estudo mais detalhados junto a fornecedores e especialistas.

Caso fosse implantado o “Arranjo 1 – Energia Elétrica”, a ETE Piçarrão teria um auto - suprimento de energia elétrica de aproximadamente 64%, o que representaria uma economia anual dos custos operacionais de R\$1.344.840,39. Vale salientar que este arranjo considerou um regime de trabalho para a geração de energia de 24 horas de operação, de modo a reduzir os custos com implantação dos motor – geradores, já que a potência instalada seria menor. Entretanto, a economia com energia elétrica na estação poderia ser potencializada, caso fossem implantados motor-geradores de maior porte, assim como, um gasômetro com maior capacidade de armazenamento. Tal ação possibilitaria que a maior parte da geração de energia elétrica se concentrasse no horário de ponta, gerando dessa maneira um excedente, o que implicaria na concessão de

créditos de energia por parte da concessionária. Tais créditos de energia, submetidos a um fator de ajuste, decorrente da diferença dos valores tarifários cobrados no horário de ponta e no horário fora de ponta, garantiria energia em um intervalo maior de tempo se comparado ao regime de geração de energia inicialmente proposto. Sugere-se portanto, que seja feito maiores simulações quanto ao custo benefícios com as alterações em cada arranjo proposto.

No que tange ao “Arranjo 2 – Secagem Térmica”, ocorreria um aumento dos custos com energia elétrica, já que o biogás seria destinado exclusivamente à secagem térmica do lodo. Em contrapartida ter-se-ia uma redução significativa na quantidade de lodo atualmente destinada ao aterro sanitário, gerando uma economia anual de 74% somente com o transporte de destinação de lodo, o que representaria uma economia anual de R\$ 934.830,15.

No que tange ao “Arranjo 3 – Cogeração”, tanto a implantação dos arranjos 3.1 e 3.2 ter-se-ia um auto suprimento de energia elétrica da ordem de 55%, o que representaria uma economia anual somente com energia elétrica de pouco mais de R\$1.167.000,00.

No caso do arranjo 3.1, haveria uma redução significativa do volume de lodo diária destinada ao aterro de 20 m³ para 7,6 m³, tendo o teor de sólidos do lodo elevado de 24% para 66,9%, gerando uma economia anual somente com o transporte e destinação de lodo na casa de R\$ 931.403,28, atingindo uma economia anual de R\$ 2.099.398,93.

No caso do arranjo 3.2, apenas 74,3% do lodo desaguado seria submetido a secagem térmica, porem ter-se-ia uma redução de 62,5% na massa de lodo destinada atualmente ao aterro, gerando uma economia anual somente com o transporte e destinação de lodo na casa de R\$ 825.974,44, atingindo uma economia anual de R\$1.993.970,09.

Saliente-se que nos arranjos que envolvem a secagem do lodo desaguado, ter-se-ia não somente uma redução significativa dos custos com disposição final, mas também um maior controle sanitário do mesmo, possibilitando inclusive a utilização de tal resíduo como bio sólido e /ou fertilizante agrícola, com possibilidade de geração de receita para a empresa. Ganho este que não foi contabilizado neste trabalho.

O comparativo entre os arranjos propostos neste trabalho para o aproveitamento energético do biogás gerado na ETE Piçarrão, pode ser visualizado na Tabela 6.

Tabela 6 – Estimativa do potencial energético do biogás gerado na ETE Piçarrão.

Estimativa do Potencial Energético do Biogás Gerado na ETE Piçarrão - Ano Base 2015				
Parâmetros	A 1 - Energia	A 2 - Secagem Térmica	A 3.1 - Cogeração	A 3.2 - Cogeração
Geração de Energia na ETE Piçarrão				
Produção diária média normalizada de Biogás (Nm ³ /dia)	3292,8	3292,8	3292,8	3292,8
Energia Disponível no Biogás - (kWh/dia)	26073,0	26073,0	26073,0	26073,0
Regime de Geração (h/dia)	24	***	24	24
Eficiência Elétrica Considerada para o Moto Gerador - (%)	35	***	35	35
Potência Elétrica Instalada - (kW)	380,00	***	380,00	380,00
Geração Anual de Energia Elétrica com o Biogás - MWh/ano	2997,75	0	2997,75	2997,75
Eletricidade Consumida pelo Secador Térmico - (MWh/ano)	***	394,20	394,20	394,20
Energia Anual consumida na ETE Piçarrão - MWh/ano	4704,00	4704,00	4704,00	4704,00
Auto- Suprimento Energético - (%)	63,73	-8,38	55,35	55,35
Secagem Térmica do Lodo Gerado				
Volume de Lodo Gerado na Estação (pós - centrífuga) - m ³ /dia	20,0	20,0	20,0	20,0
Massa de Lodo Gerado na Estação (pós - centrífuga) - t/dia	21,0	21,0	21,0	21,0
Massa de Lodo Gerado na Estação (pós - centrífuga) - t/ano	7665,0	7665,0	7665,0	7665,0
Rendimento térmico do queimador - %	***	85,00	39,00	39,00
Volume de Lodo Gerado na Estação (pós - secagem) - m ³ /dia	***	5,20	7,60	3,86
Sólidos Totais no Lodo (pós - secagem) - %	***	90,0	66,9	90,0
Massa de Lodo evitado para aterro (ton/ano)	0,00	5.672,10	4.752,30	4.214,37
Redução de massa de lodo destinado ao aterro no ano - (%)	0,00	74,00	62,00	54,98
Análise preliminar da implantação dos arranjos propostos na ETE Piçarrão				
Arranjos Propostos	A 1 - Energia	A 2 - Secagem Térmica	A 3.1 - Cogeração	A 3.2 - Cogeração
Economia em relação ao consumo de energia elétrica atual (R\$/ano)	1.344.840,39	- 176.844,73	1.167.995,66	1.167.995,66
Economia em relação ao transporte e disposição de lodo no aterro - (R\$/ano)	0,00	1.111.674,88	931.403,28	825.974,44
Economia Total Anual - (R\$/ano)	1.344.840,39	934.830,15	2.099.398,93	1.993.970,09

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O quantitativo de biogás gerado na gerado na ETE Piçarrão se enquadra dentro da “Situação Típica” reportada no modelo proposto por lobato (2011, o que permitiu ao autor verificar que a vazão média real de biogás gerada na ETE Piçarrão se encontra próximo a vazão teórica esperada com a utilização de tal modelo.

A análise de geração horária do biogás indica que a mesma segue um comportamento temporal variável, periódico e não estacionário o que sugere a instalação de um gasômetro na ETE Piçarrão caso se objetive promover o aproveitamento energético do biogás.

A concentração de metano presente no biogás se enquadra dentro nos valores típicos reportados para reatores anaeróbios com tratamento de esgotos domésticos, apresentando elevadas contrações de metano em sua composição.

A concentração de sulfeto de hidrogênio encontrada no biogás e os picos de concentração registrados durante o período analisado indicam uma clara necessidade de serem instalados sistemas eficazes de tratamento do biogás e remoção de H₂S, caso se deseje promover seu aproveitamento energético.

No que tange a estimativa de aproveitamento energético, todos os arranjos propostos apresentaram uma economia significativa no que tange aos custos operacionais da estação, com destaque para o Arranjo 3 – Cogeração, sendo que apresentou uma maior redução dos custos operacionais da estação, já que alia a redução dos custos com energia elétrica e destinação final do lodo desaguado.

O volume de biogás produzido na ETE Piçarrão realmente indica a existência de significativo potencial em termos de aproveitamento energético, sugerindo a necessidade de estudos mais detalhados que envolvem CAPEX e OPEX, assim como simulações envolvendo a geração de energia elétrica em horário de ponta, viabilizando a compensação da energia ofertada a concessionários em outros horários. Tais estudos certamente darão maiores subsídios para uma análise de viabilidade econômica e ambiental acerca da implantação de tecnologias de aproveitamento energético, permitindo assim definir a melhor alternativa dentre os arranjos inicialmente propostos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CABRAL, C.B.G. Avaliação da produção de biogás para fins energéticos em reatores anaeróbios tratando esgoto sanitário. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016. 139p.
2. CHERNICHARO, C.A.L. Reatores Anaeróbios. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 380p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias).
3. GONÇALVES, G.M. (2011). Medidor Vórtex, conceitos, tecnologia e aplicações na medição de vazão. Departamento de Engenharia de Aplicações Instrumentação e Automação Industrial Yokogawa América do Sul. Revista Petro e Química, nº 336. Editora Valet. Páginas, 48 a 52
4. LOBATO, L.C.S. Aproveitamento Energético de Biogás Gerado em Reatores UASB Tratando Esgoto Doméstico. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2011, 184p.
5. ROSENFELDT, S. Viabilidade Técnico-Econômica da Produção de Energia a partir do Biogás. Ministério das Cidades, 2016. 145p. Coletânea de publicações do PROBIOGÁS.
6. SILVEIRA, B. et al. Guia técnico de aproveitamento energético em estações de tratamento de esgoto. Brasília, DF. Ministério das Cidades, 2015. 183 p.
7. VALENTE, V.B. Análise da viabilidade econômica e escala mínima de uso do biogás de reatores anaeróbios em Estações de Tratamento de Esgoto no Brasil. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2015. 180p.