



Periódico da Universidade Vale do Rio Verde

ISSN: 2526-690X
v. 2 | n. 2 | 2018

Kasandra Isabella Helouise Mingoti Poague

Engenheira Ambiental pela UFMG e
Mestranda no Programa de Pós-Graduação em
Saneamento, Meio Ambiente e Recursos
Hídricos da UFMG
poaguek@gmail.com

Warley Ruas Silva

Engenheiro Ambiental pela UFMG
warley.ruas@gmail.com

Julia Chaves Silva Nunes

Engenheira Ambiental pela UFMG
juliachaves.nunes@gmail.com

DIAGNÓSTICO OPERACIONAL E SUSTENTÁVEL DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO ONÇA (ETE ONÇA) – BELO HORIZONTE, MG

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo principal apresentar propostas de readequações da Estação de Tratamento de Esgoto do Onça (ETE Onça), localizada em Belo Horizonte, a fim de promover otimizações sustentáveis. Como metodologia adotou-se a realização de um diagnóstico operacional do sistema de tratamento, através de uma visita orientada às instalações da ETE e do redimensionamento das unidades de tratamento secundário da estação. A partir do diagnóstico operacional, aproveitando da infraestrutura já existente na ETE, propôs-se três modificações na ETE: aproveitamento do biogás; incorporação da espuma ao lodo gerado pelos filtros biológicos e utilização do lodo secundário para fins agrícolas. Ao fim, concluiu-se que essas modificações, além de tornar a ETE mais sustentável, sob a perspectiva de economia circular, poderiam trazer retornos financeiros significativos à mesma.

Palavras-chave: Economia circular. Biogás. Lodo. Escuma.

OPERATIONAL AND SUSTAINABLE DIAGNOSIS OF THE ONÇA SEWAGE TREATMENT STATION (STP ONÇA) - BELO HORIZONTE, MG

Abstract: The present work has as main objective to present proposals of readjustments of the Sewage Treatment Plant (STP) Onça, located in Belo Horizonte, in order to promote sustainable optimization. As methodology, an operational diagnosis of the treatment system was carried out through a visit to the STP facilities and the downsizing of the secondary treatment units of the station. From the operational diagnosis, taking advantage of the existing infrastructure in the STP, three modifications were proposed in the STP: use of biogas; incorporation of scum to the sludge generated by biological filters and the use of secondary sludge for agricultural purposes. Finally, it was concluded that these changes, in addition to making the STP more sustainable, from the perspective of circular economy, could bring significant financial returns the same.

Keywords: Circular economy. Biogas. Sludge. Scum.

Recebido em: 24/10/2018 - Aprovado em: 13/11/2018 - Disponibilizado em: 10/12/2018

INTRODUÇÃO

O modelo de Economia Circular, considerado por Leitão (2015) como o paradigma do sistema do futuro, vem ganhando cada vez mais destaque à medida que permite a inclusão de diversos setores num quadro de desenvolvimento sustentável, baseado no princípio de “fechar o ciclo de vida” dos produtos, permitindo a redução do consumo de matérias-primas, energia e água. Ainda que os serviços de saneamento não constituam atividades econômicas, mas sim serviços de interesse local, de acordo com a Constituição Federal de 1988, o modelo de negócios de economia circular pode promover a sustentabilidade dos serviços de saneamento básico e corresponder a solução de diversos entraves à universalização destes no país.

O Brasil, assim como vários outros países emergentes (em desenvolvimento), convive com um cenário de déficit de saneamento com nítida assimetria de acesso aos serviços entre localidades (urbano e rural), financiamento limitado para a transformação deste cenário e carência de mão de obra qualificado para atuar nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs). Além disso, no caso brasileiro, acrescentasse a problemática da existência de diversas estações com

tecnologias de tratamento de efluentes inadequadas às realidades locais e a carência de planejamento integrado dos serviços.

O planejamento das ETEs sob a concepção de uso restaurativo de recursos e de recuperação de produtos, assim como a síntese de novos produtos com alto valor no mercado, em substituição ao antigo modelo de remoção e perda destes materiais, quebra a visão pejorativa de que os empreendimentos sanitários são aplicações de altos investimento sem retorno. Ademais, sob a perspectiva da economia circular, o obstáculo da restrição financeira é superado.

Diante do contexto supra exposto, o presente trabalho tem como objetivo principal apresentar propostas de readequações da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Onça, tentando transformá-la em uma Estação Sustentável no contexto de economia circular no âmbito do saneamento.

MATERIAL E MÉTODOS

A Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) ONÇA, localizada na rodovia MG-20, próxima ao bairro Ribeiro de Abreu, é considerada a maior estação de tratamento de esgotos da América Latina a adotar a tecnologia de reatores

anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB). Responsável por tratar os esgotos domésticos oriundos da Bacia do Ribeirão do Onça, contemplando os municípios de Contagem e Belo Horizonte, a estação possui capacidade máxima de operação de 2400 L/s, operando atualmente com vazão média de 1800 L/s. Essa vazão corresponde a um equivalente populacional de 800.000 habitantes e contempla as parcelas referentes aos esgotos domésticos, acrescidos de vazões singulares de esgotos industriais e águas pluviais parasitárias. O sistema de tratamento biológico presente na estação engloba, além dos reatores anaeróbios UASB, filtros biológicos percoladores seguido de decantadores secundários.

A fim de compreender o sistema de tratamento, os problemas operacionais enfrentados cotidianamente na estação e quais aspectos poderiam ser melhorados e remodelados realizou-se uma visita técnica a ETE guiada por operadores e técnicos do empreendimento. O diagnóstico operacional da estação contemplou os aspectos operacionais observados durante a visita técnica, seguindo lista de detecção e correção de problemas operacionais em reatores anaeróbios descrita por Chernicharo, van Haandel e Cavalcanti (1999) *apud* Chernicharo (2016), as

informações fornecidas pelo corpo técnico da estação e do redimensionamento das unidades de tratamento secundário. O dimensionamento dos reatores UASB, dos filtros biológicos percoladores e dos decantadores secundários foi feito seguindo o roteiro proposto por Chernicharo (2016).

A partir do diagnóstico operacional do sistema de tratamento, foram propostas e discutidas a viabilidade de modificações no sistema que aproveitassem da infraestrutura existente na estação trazendo benefícios econômicos e ambientais à mesma. As modificações propostas foram: geração de energia elétrica a partir de biogás; utilização de lodo secundário para fins agrícolas, e incorporação da espuma ao lodo gerado pelos filtros biológicos. O biofiltro proposto para tratamento do biogás para remoção de H_2S foi dimensionado seguindo a metodologia proposta por Metcalf; Eddy (2003) composta por 6 etapas: (i) Adoção de uma vazão de biogás; (ii) Seleção de uma taxa de aplicação (TAS); (iii) Seleção de uma profundidade do leito (h); (iv) Cálculo da área (A); (v) Verificação do tempo de residência para o leito vazio; (vi) Determinação do volume do biofiltro. A produção de lodo nas unidades de tratamento secundário foi calculada

conforme modelo proposto por Chernicharo (2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Configuração atual do sistema de tratamento

Em sua configuração atual, os efluentes que chegam a estação são bombeados para uma unidade de tratamento preliminar composta por grades grossas manuais, seguidas de grades finais mecanizadas, desarenador e gradeamento ultrafino (peneiras mecânicas) para remoção dos sólidos grosseiros, areias, sólidos mais finos e gordura, respectivamente. Todos os materiais retidos nesta etapa são encaminhados para posterior disposição em aterros sanitários.

O tratamento biológico é realizado por meio de 24 reatores anaeróbios de fluxo ascendente de manta de lodo (UASB), sendo um destes reservado apenas para a recirculação e estabilização do lodo secundário dos decantadores. Nestas unidades há a formação do biogás, que é atualmente queimado em flares, do lodo digerido e da espuma, os quais após passarem por uma etapa de desidratação por meio de centrífugas na própria estação, posteriormente são encaminhados

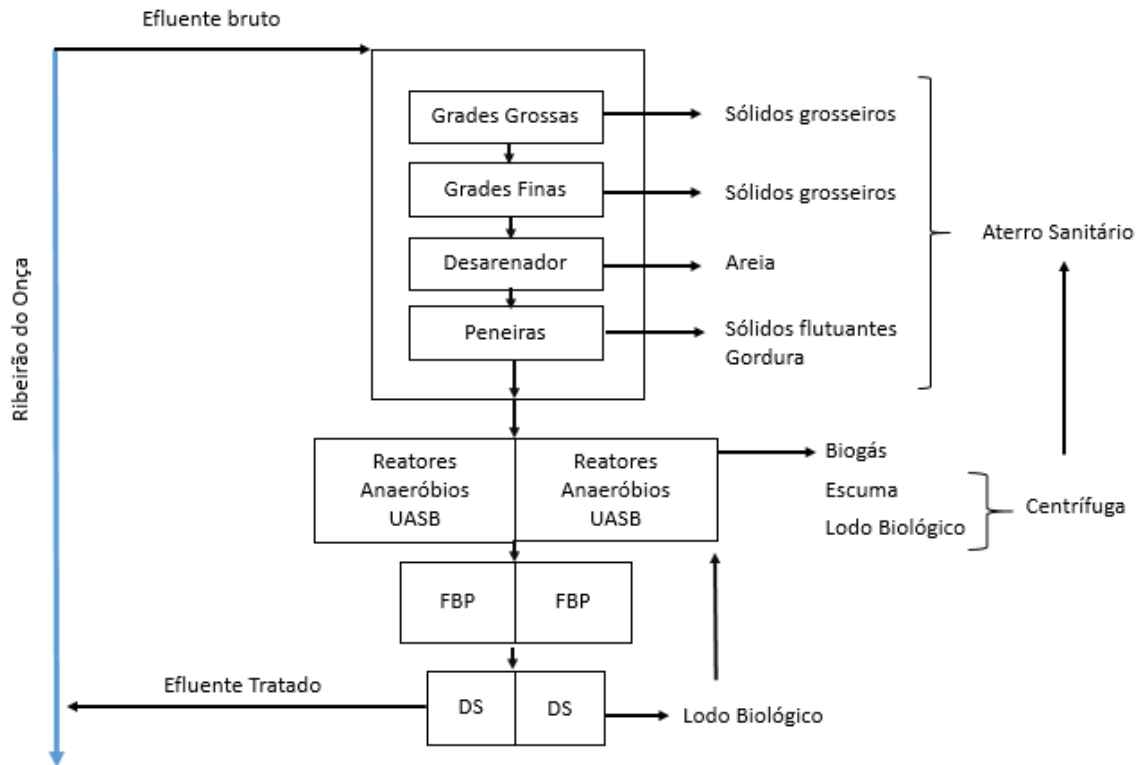
para disposição em aterros sanitários. Segundo o operador da estação, a espuma não tem sido direcionada para as centrífugas devido ao alto teor de sólidos grosseiros (resíduos) que acabam por danificar o equipamento.

O restante da unidade de tratamento secundário é composto por seis filtros biológicos percoladores aeróbios em conjunto com seis decantadores secundários circulares. O lodo retirado dos decantadores secundários diariamente é encaminhado para o 19º reator UASB da planta. O rearranjo operacional foi adotado em vista do fato de que os técnicos da estação constataram que esse lodo não estaria se sedimentando nos reatores UASB, comprometendo a eficiência dos reatores, uma vez que parte dos sólidos era carregado com o efluente clarificado. Desta forma, um reator UASB foi separado para uso exclusivo de recirculação e tratamento do lodo oriundo dos decantadores.

Por fim, os efluentes tratados são desaguados, seguindo os padrões ambientais vigentes impostos pela legislação, no Ribeirão do Onça. Todo o processo, desde a entrada do efluente na estação, até seu lançamento no corpo hídrico receptor, ocorre em um intervalo de 12 a 15 horas. As etapas e unidades supracitados, assim como o processo

operacional da estação são resumidos no fluxograma a seguir (Figura 1).

Figura 1 - Fluxograma das operações unitárias e unidades da ETE Onça em sua configuração atual.



Fonte: Autoria própria. Legenda: FBP – Filtro Biológico Percolador; DS: Decantador Secundário.

A partir da visita técnica realizada a estação guiada por um dos operadores do sistema, e de informações fornecidas pela própria equipe técnica responsável pela ETE Onça, foram listados os seguintes aspectos que poderiam ser aprimoradas no sistema:

- Não utilização do biogás/queima do Biogás;
- Sólidos grosseiros, os quais muitas vezes não são totalmente retirados no tratamento preliminar e trans-

passam o tratamento primário e secundário;

- Escuma gerada nos decantadores e reatores UASB, com grande concentração de sólidos de maiores dimensões;
- A não reutilização do lodo secundário, e a baixa sedimentabilidade deste;
- Corrosão;
- Espuma, principalmente no lançamento do efluente clarificado no corpo hídrico receptor;

- Eficiência limitada da estação;
- Odores;
- Vazamentos de gás/estanqueidade precária.

Cabe ressaltar que a despeito dos empecilhos operacionais supracitados, de acordo com a equipe técnica da estação, na época o sistema atingia as eficiências mínimas exigidas pela legislação vigente (Resolução CONAMA 430/2011). Contudo, ainda segundo os técnicos da ETE a estação não conseguia alcançar as eficiências previstas em projeto.

Dimensionamento das unidades

Os resultados do dimensionamento dos reatores UASB são expostos por meio da Tabela 1. Verifica-se que, uma vez que um dos reatores não está sendo utilizado para tratamento dos efluentes, conforme previsto em projeto, a velocidade superficial de fluxo máxima está superior ao limite recomendado por Chernicharo (2016) de 1.1 m.hora^{-1} , o que pode ser uma das causas da perda de eficiência e do carregamento de sólidos grosseiros ao reator, conforme informado pelo operador da estação durante visita técnica.

Além disso, percebe-se que a produção volumétrica de biogás estimada é muito superior a relatada pelo operador de $450 \text{ m}^3/\text{d}$. A estimativa simplificada de

DQO convertida em gás metano segundo metodologia proposta por Chernicharo (2016) considera que toda a DQO aplicada no reator anaeróbio será convertida em lodo ou em gás metano. Entretanto, sabe-se que parte da DQO aplicada também será convertida em sulfeto de hidrogênio, e a parcela efetivamente convertida em metano pode ser discretizada em quatro sub-parcelas: metano dissolvido no efluente, metano residual, metano perdido em vazamentos devido à precariedade de estanqueidade do sistema, e o metano recuperado como biogás. Logo, a metodologia de estimativa de DQO convertida em gás metano proposta por Chernicharo (2016) superestima este valor, uma vez que não considera as demais parcelas. Raciocínio análogo pode ser feito com a produção de lodo, que também foi superior ao relatado pelo operador da estação. O dimensionamento dos Filtros Biológicos Percoladores e dos decantadores secundários são apresentados na Tabela 2. Dentre as principais observações, destacam-se: as taxas de aplicação superficial média e máxima do filtro biológico serem baixas, o que pode estar contribuindo para a perda de eficiência nestas unidades, a baixa sedimentabilidade do lodo no decantador secundário, e a concentração efluente de DBO estar de acordo com os padrões

ambientais para lançamento em corpo d'água conforme Resolução CONAMA 430/2011.

Tabela 1 - Dimensionamento dos reatores UASB da ETE Onça.

Reatores UASB			
Vazão total média de entrada (m ³ /hora)	6480	Temperatura dos efluentes (°C)	22
Vazão total máxima de entrada (m ³ /h)	11664	Tempo de detenção hidráulico (horas)	8
Altura (m)	5	População atendida (habitantes)	800.000
Volume total (m ³)	51840	Carga afluyente de DQO (kg/hora)	3.333,33
Quantidade de reatores	24	Concentração afluyente de DQO (mg/L)	514,4
Área total (m ²)	10368	Eficiência de remoção de DQO (%)	67,16
Área de cada reator (m ²)	432	Eficiência de remoção de DBO (%)	75,25
Dimensões de cada reator (m x m)	12 x 36	Concentração efluente de DQO (mg/L)	169,75
Velocidade média de aplicação superficial (m/h)	0,65	Carga de DQO convertida em metano (kg DQO/d)	36610,31
Velocidade máxima de aplicação superficial (m/h)	1,174	F(t)	2,64
Coefficiente de produção de sólidos no sistema (kgST lodo/kgDQO aplicada)	0,21	Vazão de metano (m ³ /hora)	577,81
Produção de lodo (kgSTlodo/d)	16656,192	Vazão de biogás (m ³ /hora)	770,42

Fonte: Autoria própria

Tabela 2 - Dimensionamento dos Filtros Biológicos percoladores e do decantador secundário da ETE Onça.

Filtro Biológico Percolador	
Carga volumétrica (kg DBOQ/m ³ .d)	0,5
Carga afluente de DBO (kg/h)	1094,73
Concentração afluente (mg/L)	169,75
Volume (m ³)	52547,15
Profundidade (m)	4,5
Área (m ²)	11677,14
Área de cada filtro (m ²)	1946,19
Taxa de aplicação média Qs (m ³ /m ² .d)	13,318
Taxa de aplicação máxima Qs (m ³ /m ² .d)	23,97
Eficiência de remoção de DBO do filtro (%)	60
Concentração afluente de DBO (mg/L)	63,66
Concentração efluente de DBO (mg/L)	25,46
Coefficiente de produção de sólidos no sistema (kg ST/kgDBO removida)	0,75
Quantidade de DBO removida(Kg/d)	5939,96
Produção de lodo no filtro (kgST/d)	4454,97
SSV/SST	0,8
Lodo biodegradável (kg SSV/d)	3563,98
Fração do lodo que é degradada no UASB (%)	30
Decantador Secundário	
Taxa de aplicação superficial média Qs (m ³ /m ² .d)	24
Área total (m ²)	6480
Taxa de aplicação superficial máxima Qs (m ³ /m ² .d)	43,2
Altura (m)	4

Fonte: Autoria própria.

Modificações Propostas

Uma vez que a estação já está em operação desde 2006, e, portanto, possui uma infraestrutura de tratamento

preliminar, primário e secundário consolidada que atende à demanda atual a qual foi projetada, optou-se por priorizar

readequações no sistema que possibilitassem o uso restaurativo de recursos que já são produzidos pela estação, entretanto são descartados.

Geração de energia elétrica a partir do biogás

Segundo Felca et al. (2015), o poder calorífico inferior (PCI) do biogás, composto por 70% de metano, é de 22500kJ.m^{-3} , o que, convertendo para a quantidade de metano presente no biogás da ETE Onça (75%), resultaria em um PCI de aproximadamente 24100kJ.m^{-3} . A ETE Onça possui uma produção média de $450\text{m}^3\text{biogás.h}^{-1}$, isto representaria, a partir do PCI do biogás, uma potência de aproximadamente 3015kW . Essa potência pode ser aproveitada tanto para produção de energia elétrica quanto térmica.

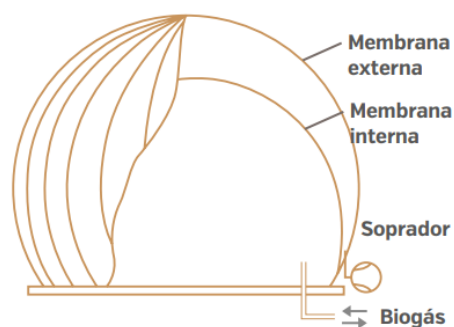
O sistema de aproveitamento energético será composto por: um sistema de armazenamento, um sistema de limpeza do biogás para retirada de H_2S , e um sistema de geração de energia.

Existe uma grande variedade de tipos de gasômetros utilizados para o armazenamento de biogás. Esses sistemas podem ser não-pressurizados (Balão de lona, Colchões infláveis); de baixa pressão (Membranas com lastro; Colchões infláveis com lastro; Membrana dupla com

contrapressão por meio de ar comprimido); ou de alta pressão (reservatórios cilíndricos ou esféricos). A escolha do tipo de sistema é devido, principalmente, ao volume de biogás que deve ser armazenado e a área disponível para o sistema. O volume de armazenamento necessário deve ser avaliado pela flutuação da quantidade de biogás, e pode ser feito através de técnica gráfica de curvas cumulativas ou procedimento de cálculo tabular.

Devido à falta de dados para o cálculo desse volume foi utilizado como exemplo de gasômetro o mesmo utilizado pela ETE Arrudas, que apresenta um volume de biogás produzido semelhante ao da ETE Onça. O sistema é composto de 2 membranas duplas com contrapressão por meio de ar comprimido. Um esquema do sistema pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 - Membrana dupla com contrapressão por meio de ar.



Fonte: Brasil, 2015.

Existem diversos métodos de tratamento do biogás para remoção de H_2S . Esses métodos podem ser divididos de acordo com a natureza do tratamento, o qual pode ser físico, químico ou bioquímico. Dentre os métodos físicos temos: Condensação, adsorção, absorção e separação por membrana. Já entre os métodos químicos tem-se: lavador químico, oxidação catalítica, oxidação térmica, combustão direta e inibição química. Por último, nos tratamentos bioquímicos tem-se: biofiltros pré-fabricados, biofiltros estruturados e não estruturados, biofiltro percolador, biolavador, biorreator de membrana e sistemas aeróbios de fase líquida. (CHERNICHARO et al., 2010)

Como mostra Chernicharo et al. (2010), existem diversos métodos para desodorização em ETEs, no entanto muitos são sofisticados e de elevado custo de implantação e operação, não sendo, muitas vezes, apropriados para o tratamento do biogás em reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico e, excetuando a adsorção, a maioria dos tratamentos físicos e químicos possuem uma aplicação maior em maiores concentrações de poluentes. Ele ainda conclui que a combustão direta, os métodos bioquímicos, e particularmente os biofiltros, possuem muitas vantagens

principalmente quando observados os fatores de sustentabilidade, simplicidade e baixos custos de implantação e operação.

A adsorção é um método mecanicamente simples, que ocupa pequena área, sendo estável e com bom desempenho, podendo remover seletivamente H_2S dependendo do adsorvente utilizado. No entanto o adsorvente mais comumente utilizado, e com maior eficiência, é o carvão ativado, que possui como ponto negativo o seu elevado custo. Em orçamento feito com a empresa Coremal S/A foi indicado o uso do carvão ativado não impregnado Norit Darco BGH com valor de US\$6,80/kg.

Considerando uma capacidade de adsorção encontrada por Xiao et al. (2008) para o carvão ativado de 9,4 mg/g, temos que, para os valores da ETE Onça de vazão e concentração de H_2S de 450m³/h e 0,4289g/m³, respectivamente, a quantidade de adsorvente necessária, para diminuir à concentrações abaixo de 200ppm, seria da ordem de 5,2 toneladas por mês, o que daria um custo de mais de 115 mil reais, tornando o processo não muito interessante.

O biofiltro apresenta um dos menores custos de implantação e operação (Govind, 1999 *apud* SILVA, 2008). Um dos fatores que determina o desempenho de biofiltros é meio suporte (MORGAN-

SAGASTUME; NOYOLA, 2006). O material suporte pode ser natural ou sintético. Alguns encontrados são bagaço da cana-de-açúcar, lasca de madeira, espuma de poliuretano e partículas de PET, carvão, turfa, solo, cavaco de madeira, composto, esponja natural, argila calcinada, xisto expandido, pozolana, brita, poliestireno, polipropileno, PVC, entre outros. Eles devem possuir algumas características: Alta capacidade de reter umidade para evitar a secagem do leito (entre 40 e 60% para sustentar a atividade microbiológica requerida); o volume dos poros no filtro deve ser maior que 80% e o diâmetro de 60% das partículas deverá ser maior que 4,0 mm, para uma melhor distribuição do gás poluído; deve haver quantidade suficiente de nutrientes para crescimento ótimo requerido pelos microorganismos; o pH deve estar entre 7 e 8 e a temperatura do leito deve ficar entre 20-40°C para promover a oxidação biológica (CHAN e LU, 2005).

Segundo Antunes; Mano (2004) a concentração do poluente na entrada deve ser da ordem de 0,01 - 0,5g/m³, faixa em que o H₂S presente no biogás da ETE Onça está incluído. Além disso, ele opera 60-300.000 m³/h, também dentro da faixa de operação da ETE (Govind, 1999 *apud* SILVA, 2008).

A maioria dos biofiltros opera com tempo de residência da ordem de 30 segundos a 2 minutos e, em geral, é utilizada uma altura do leito variando de 0,5 a 2m (ROCHA, 2007). Para o dimensionamento do biofiltro foi considerado o meio suporte de cavaco de madeira, que possui densidade de 0,432g/cm³. Seguindo a metodologia proposta por Metcalf; Eddy (2003):

1- Vazão utilizada (Q): 450m³/h (Vazão produzida na ETE Onça)

2- Selecionar uma taxa de aplicação (TAS): 50 m³/m².h

3- Selecionar uma profundidade do leito (h): 1,25m

4- Calcular a área (A):

$$A = \frac{Q}{TAS} = \frac{450m^3/h}{50m^3/m^2 \cdot h} = 9m^2$$

5- Checar o tempo de residência para o leito vazio:

$$EBRT = \frac{Vf}{Q} = \frac{9m^2 \cdot 1,25m}{450m^3/h} = 0,025h = 90s > 30s$$

OK

6- Determinar o volume do biofiltro

- Concentração de H₂S: 0,4289g/m³
(Concentração do biogás na ETE Onça)

- Taxa de Aplicação de massa de S^{2-} (Deve ser feito uma proporção de S^{2-} no H_2S):

$$M_s = 450m^3/h \cdot 0,4289g/m^3 \cdot \frac{32gS^{2-}}{34,08gH_2S} = 181,23gS^{2-}/h$$

- Considerando uma taxa de remoção de $100gS/m^3 \cdot h$

$$V = \frac{181,23gS^{2-}/h}{100gS^{2-}/m^3 \cdot h} = 1,81m^3$$

Como o volume resultado foi significativamente maior que o volume do leito ($11,25m^3$), a remoção de H_2S não será um problema.

Uma forma de se fazer o aproveitamento simultâneo da energia elétrica e térmica é através dos sistemas de cogeração, ou Sistema Combinado de Geração de Calor e Energia, do inglês Combined Heat and Power (CHP). As principais alternativas para cogeração de energia são: turbinas a gás, motores de combustão interna e microturbinas. As vantagens e desvantagens de cada alternativa podem ser vistas na Tabela 3.

Tabela 3 - Vantagens e Desvantagens de cada alternativa

Alternativas	Vantagens	Desvantagens
Motores de combustão interna	<p>Custo de aquisição moderado.</p> <p>Tecnologia madura e largamente aplicada</p> <p>Grande diversidade de motores (faixa de 5 kW até 5 MW) e ciclos de operação.</p> <p>Apresenta partida rápida, operação estável e são usualmente bastante confiáveis.</p> <p>Grande potencial de recuperação de energia (elétrica + térmica).</p>	<p>Mais sujeitos a corrosão, embora a utilização de óleos lubrificantes possibilite alguma proteção contra os produtos ácidos da combustão.</p>
Turbina a gás	<p>Menos sujeitas à corrosão que os motores de combustão interna.</p> <p>A elevada temperatura dos gases de exaustão possibilita a geração de vapor em alta pressão e elevada temperatura ($480^\circ C$), ou a aplicação direta em processos industriais de aquecimento e de secagem.</p>	<p>Elevado custo de aquisição e operacional, em função da necessidade de compressão elevada do gás.</p> <p>Demanda de gás com qualidade consistente.</p> <p>Demanda de elevada pressão de gás na entrada.</p>

Microturbinas	<p>Apresentam vantagens em relação às outras alternativas de geração de energia a partir do biogás nos seguintes casos: baixa produção de biogás; biogás com baixo teor de metano; preocupação com emissão de NOx; quando da utilização da eletricidade no próprio local de geração; em substituição à energia comprada da concessionária; quando o suprimento de eletricidade é não confiável e de preço elevado; quando houver necessidade de água quente no próprio local ou nas imediações.</p> <p>Equipamentos portáteis e fáceis de serem modulados</p> <p>Equipamentos compactos e poucas partes móveis, (poucos cuidados com a operação e a manutenção).</p> <p>Baixas emissões de NOx, usualmente dez vezes inferiores às dos motores de combustão interna de melhor desempenho, e também inferiores às emitidas por queimadores (flares).</p> <p>Capazes de operar com biogás de baixo conteúdo de metano (35 ou até mesmo 30%).</p>	<p>Eficiência inferior a motores de combustão interna e outros tipos de turbinas.</p> <p>Consumem cerca de 30% a mais de combustível por kWh gerado.</p> <p>Susceptível à contaminação por siloxano.</p> <p>Atualmente, poucos compressores de baixa vazão e elevada pressão encontram-se disponíveis para atender aos requisitos das microturbinas sem a necessidade de adaptações caras.</p> <p>Poucas informações disponíveis sobre a confiabilidade a longo prazo e sobre os custos de operação e manutenção de microturbinas a biogás.</p>
---------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: Brasil, 2015.

Dois CHP utilizados comercialmente podem ser vistos nas

figuras 3 e 4, um motor a gás e uma microturbina, respectivamente.

Figura 3 – Motor a gás.



Power, 2017

Figura 4 – Microturbina



Fonte: Capstone Turbine Corporation, 2017.

Fonte: GE

As características e valor de cada um podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4 - Características e valores de CHP comerciais

CHP	Motor a gás	Microturbina
Modelo	GE J420 GS	Capstone C600S
Potência nominal	3375kW	600 kW
Eficiência Elétrica	42,2%	33%
Eficiência Total	83,9%	90%
Energia elétrica gerada	1272,33kWh	990kWh
Quantidade de Unidades Necessárias	1	5
Preço Unitário encontrado	US\$ 736.126,00 (2007) R\$ 2.413.168,25	USD 723.888.44 (2012) R\$ 2.373.051,08
Preço Total	R\$ 4.500.487,36 (2017 – inflação)	R\$ 16.028.250,25 (2017 – inflação)

Fonte: GE Power, 2017; Capstone Turbine Corporation, 2017.

Pode-se perceber que a uma grande diferença no custo da aquisição do motor a gás em comparação à microturbina. No entanto, essa diferença pode se tornar menor a longo prazo, visto que a desvantagem dos motores a gás é ser mais sujeito à corrosão. A energia gerada será utilizada na própria ETE e o montante restante será injetado na rede.

Utilização do lodo secundário dos reatores UASB para fins agrícolas

Nas condições de operação atuais, anteriormente citadas, a quantidade de

lodo desidratado gerado na estação é de 2.859,6 ton/d, entretanto esse valor não discrimina a fonte do lodo: reator UASB ou decantador secundário. Portanto, para o cálculo do equipamento e lodo gerado com possível destinação agrícola utilizou-se os valores teóricos encontrados no item 2.1 e apresentados na Tabela 5.

Seguindo o modelo proposto por Chernicharo (2016) para cálculo de produção de lodo em reatores UASB com desidratação realizada por centrífuga, encontra-se uma vazão de lodo, com potencial agrícola, de 50,3m³/d, o que corresponde a 1.509 m³/mês de lodo.

Tabela 5 – Produção de lodo no UASB após desidratação em centrífuga

Reatores UASB	
Produção de lodo (kgST/d)	16656,19
Concentração de sólidos totais no lodo UASB (kg/m ³)	1020
γ (%)	4
Vazão de lodo (m ³ /d)	408,2
% captura da centrífuga	95
Carga SS no lodo após centrífuga (kgSS/d)	15823,4
% sólidos secos lodo desidratado	25
Vazão de lodo após centrífuga(m ³ /d)	63,3

Entretanto, após a centrífuga, o lodo ainda precisa ser higienizado de acordo com a Resolução CONAMA nº 375/2006.

A higienização do lodo deve ser aplicada quando deseja-se reduzir os riscos à saúde humana por redução de patógenos, permitindo assim, que ele seja usado na agricultura. O gás de escape, captado durante a geração de energia elétrica do biogás, é aproveitado para essa operação como fonte térmica. Após a desidratação do lodo na centrífuga, este é encaminhado ao secador térmico, onde o tempo de detenção do lodo no secador e a temperatura a que ele é exposto

determinam a sanitização desse lodo, permitindo seu uso como lodo classe A para fins agrícolas.

O secador térmico além de higienizar o lodo, também aumenta a desidratação, ou seja, aumenta seu teor de sólidos. O fabricante de secadores térmicos PIERALISI fornece a tabela de dados relacionados a seus equipamentos (Tabela 6), em que pela quantidade de lodo gerado pelo UASB após centrífuga na ETE Onça (0,65ton/h), pode se concluir que o modelo S1000 seria adequado para a situação.

Tabela 6 – Catálogo PIERALISI de secadores térmicos.

Modelo	Capacidade de evaporação de água (kg/h)	Quantidade de lodo úmido tratado (ton/h)	Potência (Kw)	Consumo de energia (Kw/h)	Consumo elétrico específico Kwh/m ³ de lodo	Consumo de biogás Nm ³ /kg de lodo
S-1000	1000	1,4	70	45,5	32,5	0,123
S-2000	2000	2,8	120	78	27,9	0,123
S-4000	4000	5,6	205	133,25	23,8	0,123
S-6000	6000	8,4	328	213,2	25,4	0,123

S-8000	8000	11,1	492	319,8	28,8	0,124
S-12000	12000	16,6	688	447,2	26,9	0,125

Fonte: Grupo PERALISI Dedicated Innovators, 2017

Segundo Von Sperling (2001), os custos em uma estação de tratamento de esgoto em função do processamento e destinação final do lodo podem chegar a 60% dos gastos totais, enquanto para Ferreira; Andreolli (1999, p.6) esse custo varia entre 30 e 50%. Independente da porcentagem exata, pode-se notar que a destinação final do lodo é um dos processos mais custosos existentes nas ETEs, o que faz o investimento em tecnologias de reaproveitamento compensar o gasto inicial de implantação da tecnologia.

Incorporação da espuma no lodo gerado pelos filtros biológicos

Um dos subprodutos gerados durante o tratamento anaeróbio realizado no reator UASB é a espuma, que representa uma camada de materiais de baixo peso específico e solubilidade. Essa espuma pode ser constituída por óleos, graxas, sabões, restos de alimentos, fios de cabelo, papel, algodão, pontas de cigarros, plásticos e outros materiais, embora a quantidade e composição desta dependam da característica do substrato e da eficiência do tratamento preliminar (SANTOS, 2014).

A ETE Onça não recircula o lodo secundário oriundo dos decantadores secundários, direcionando-o para um dos seus reatores UASB (19º reator da planta), antes de encaminhá-lo à centrífuga para desaguamento e posterior destinação para aterro. A introdução da espuma desaguada ao lodo secundário permitiria o reaproveitamento da espuma juntamente ao lodo, uma vez que seu tratamento e destinação final são problemas enfrentados na estação de tratamento de esgoto.

Ross et al. (2015) testou a incorporação de diferentes taxas de espuma ao lodo proveniente de reatores UASB, sendo a conclusão do estudo a de que a incorporação de espuma nas proporções de 10, 20 e 50% em massa não alteraram a composição do lodo de esgoto com características para destinação agrícola.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 375/2006, que regulamenta a disposição agrícola do lodo de esgoto no Brasil, não é permitido a utilização de material lipídico advindo de reatores anaeróbios na agricultura, em função do grande número de materiais inservíveis que podem se acumular na espuma (ROSS et al., 2015). Portanto, o lodo resultante

da introdução da espuma ao lodo do decantador secundário, após a higienização, deve ser usado para outros fins, como uso na construção civil ou coberturas intermediárias de resíduos em aterros.

A higienização do lodo gerado seria realizada pelo secador térmico, assim como realizado com o lodo vindo dos reatores UASB. Como os lodos devem ter duas destinações diferentes, eles devem passar pela desidratação e higienização separadamente, o que exige que esses processos sejam feitos em batelada ou a aquisição de dois secadores térmicos.

A carga de lodo desaguado gerada pelo filtro biológico é de 3,0 ton/d, enquanto a de espuma desidratada é de 1,1ton/d, sendo assim a carga total aplicada no digestor seria de 4,1 ton/d, com a espuma correspondendo a 26,8% do total de massa. Bentoneiras com carregador automático devem ser usadas para homogeneização do lodo antes de sua higienização no secador térmico.

De acordo com Chernicharo et. al. (2009) a utilização de peneiras de abertura de 5 e 6 mm a jusante das grades diminuiria a presença de constituintes não desejáveis, como cotonetes, pontas de cigarro, plásticos, entre outros, que compõem a espuma no interior do reator. Entretanto, a ETE Onça já possui uma

peneira mecânica que remove os materiais sólidos acima de 6mm, e a sua espuma continua com altos níveis de sólidos grosseiros. A utilização de uma grade mecanizada de abertura de 2mm poderia ajudar na remoção desses sólidos. Existem diversos tipos de grade com essa característica disponíveis no mercado, como a Grade Mecanizada Tipo Step Screen – modelo GMSC da SIGMA, que pode substituir a peneira mecânica existente.

Acessibilidade física das modificações propostas

Quanto a disponibilidade de espaço físico para expansão da estação e implantação das unidades e readequações propostas, como pode ser visto pela Figura 5, existem duas áreas (marcadas como polígonos em amarelo na figura) disponíveis.

A primeira delas, representada pelo retângulo amarelo da direita da Figura 5, corresponde a uma área de 18.139 m² e já havia sido reservada no projeto de concepção da estação para a construção de novos reatores UASB com o intuito de ampliar a vazão atendida para 3600 L/s.

O segundo polígono, localizado à direita dos filtros biológicos percoladores e dos decantadores secundários (Figura 5), abrange uma área de 18.397 m², local em

que foram implantados os leitos de secagem para desidratação da escuma.

Figura 5- Vista superior da ETE Onça com exposição das áreas disponíveis para expansão da estação.



Fonte: Autoria própria.

Uma vez que os leitos de secagem ocupam uma pequena parcela dessa área (800 m²), constata-se que há espaço o suficiente para implantação das unidades e da infraestrutura proposta no presente projeto sem alterar a área prevista para expansão das unidades de tratamento secundário.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

O presente trabalho apresentou valores estimados para a produção de biossólidos e biogás e gerados na ETE Onça, e seus possíveis aproveitamentos. As propostas aqui discutidas são de aplicações possíveis dentro da região metropolitana na qual a estação encontra-se inserida, e priorizam solucionar

problemas enfrentados no contexto atual da ETE Onça. Alguns cálculos apresentados neste trabalho possuem base teórica, uma vez que não foram fornecidos todos os dados necessários dos subprodutos gerados na ETE Onça. Por isso, sugere-se que para a aplicação das sugestões propostas sejam realizados estudos mais aprofundados.

Ressalta-se que a presença no país de subsídios à comercialização e aproveitamento desses subprodutos uma vez comprovado os benefícios técnico, econômico e ambiental decorrentes do aproveitamento desses resíduos, impulsionaria a prática e desenvolvimento técnico da questão.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Professora Fabiana
Lopes Del Passos Rey e ao corpo técnico

da ETE Onça COPASA.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, R.; MANO, A. P. Odores em estações de tratamento de águas residuais. In: **Congresso da Água**, 7., 2004, Lisboa, Anais eletrônicos... Lisboa, APRH, 2004. Disponível em: <http://www.aprh.pt/congressoagua2004/PDF/R_95.PDF>. Acesso em: 15 de out. 2017.

BRASIL. **Guia técnico de aproveitamento de biogás em estações de tratamento de esgotos/Probiogás**. 1 ed. Ministério das Cidades/Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), 2015. 183 p.

BORGES, N. B. **Aproveitamento dos resíduos gerados no tratamento preliminar de estações de tratamento de esgoto**. 2014. 238 f. (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Programa de Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014

CAPSTONE TURBINE CORPORATION. **Products – C600s**. 2017. Disponível em: <<https://www.capstoneturbine.com/product/s/c600s>>. Acesso em: 17 de out. 2017.

CHAN, WU-CHUNG.; LU, MING-CUN. A new type filter material for biofilter: preparation and its characteristic analysis. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 13, nº 1, p. 7-17, 2005

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios**. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG 2016. p. 379.

CHERNICHARO, C. A. L.; VAN HAANDEL, A. C.; CAVALCANTI, P. F. F. Capítulo 9: Controle operacional de reatores anaeróbios. In: CAMPOS, J. R. (coordenador). **Tratamento de esgoto sanitário por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. ABES/FINEP/PROSAP, Rio de Janeiro, Brasil, 1999. 436 p.

CHERNICHARO, C.A. L.; ALMEIDA, P.G.S.; LOBATO, L.C.S.; COUTO, T.C.; BORGES, J. M. Experience with the design and start up of two full-scale UASB plants in Brazil: enhancements and drawbacks. **Water Science and Technology**, v.60, n.2, p. 507-515, 2009.

CHERNICHARO, C. A. L.; STUETZ, R. M.; SOUZA, C. L.; MELO, G. C. B. Alternativas para o controle de emissões odorantes em reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, n. 3, p. 229–236, 2010.

FELCA, A. T. A. **Análise do Potencial Energético proveniente do lodo de esgoto produzido pelas Estações de Tratamento do Sul de Minas Gerais**. 2016. 91 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C.V. Produção e características dos biossólidos. In: LARA, A. I.; FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E. S.;

IHLENFELD, K. G. R (org). **Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura**. 1 ed. Curitiba: Companhia de Saneamento do Paraná, p.8-17,1999.

GE POWER. **Jenbacher Type 4**. 2017. Disponível em:<
<https://www.ge.com/power/gas/reciprocating-engines/jenbacher/type-4>>. Acesso em: 17 de out. 2017.

GRUPPO PIERALISI DEDICATED INNOVATORS. 2017. **Secagem térmica de lodo**. Disponível em:<
http://www.pieralisi.com/br/Viewdoc?co_id=842>. Acesso em: 17 de out. 2017.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. Mc Graw-Hill, New York, 2003.

MORGAN-SAGASTUME, J. M.; NOYOLA, A. Hydrogen sulfide removal by compost biofiltration: Effect of mixing the filter media on operational factors. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 13, p. 1546-1553, 2006.

ROCHA, A. P. **Desempenho de filtro biológico na depuração e desodorização de emissões de sulfeto de hidrogênio**. 2007. 119 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

ROSS, B. Z. L; CARNEIRO, C.; MARQUES, C. J.; COSTA, F. J. O. G.; FROEHNER, S.; AISSE, M, M. Impacto da incorporação de espuma em lodo de esgoto com fins agrícolas. **Revista DAE**, v. 203, p.6-18, setembro/dezembro, 2016.

SANTOS, A.V. **Remoção, tratamento e valorização de espuma proveniente de**

reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto doméstico. 2014. 134 f.

(Doutorado em saneamento) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

SILVA, M. B. da. **Influência do tipo de meio suporte no desempenho de biofiltros aplicados à remoção de H₂S do ar atmosférico em sistemas de esgoto sanitário**. 2008. 156 p. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental, área de concentração em Saneamento Básico) – Universidade Federal do Espírito Santos, Vitória, 2008.

VON SPERLING, M. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484p.

XIAO, Y.; WANG, S.; WU, D., YUAN, Q. Experimental and simulation study of hydrogen sulfide adsorption on impregnated activated carbon under anaerobic conditions. **Journal of Hazardous Materials**, v. 153, n. 3, p. 1193–1200, 2008.