

## XI-051 - AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS E POTENCIAL ENERGÉTICO DE LAGOA ANAERÓBIA EM ESCALA REAL TRATANDO EFLUENTES DE INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA DE CONSERVAS

**Alexia Cristina Ruediger<sup>(1)</sup>**

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina.

**Carolina Bayer Gomes Cabral**

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Engenheira na Rotaria do Brasil. Doutoranda em Planejamento Construção e Meio Ambiente na Technische Universität Berlin, TUBerlin.

**Paulo Belli Filho**

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos. Doutor em Química Industrial e Ambiental pela Université de Rennes. Professor Titular no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Heinz Scheidemantel, 333 – Testo Salto – Blumenau - SC - CEP: 89074-110 - Brasil - Tel: (47) 9-9913-1900 - e-mail: alexiaruediger@gmail.com

### RESUMO

O presente estudo avaliou o potencial de geração de energia a partir do biogás produzido pelo sistema de tratamento anaeróbico de uma indústria de conservas de alimentos de origem vegetal, situada em Blumenau/SC. O sistema de tratamento é composto por duas caixas de areia, uma peneira para retenção de sólidos grosseiros, decantador Dortmund, lagoa facultativa anaeróbia seguida por uma lagoa de polimento em série. Realizaram-se 7 coletas do despejo antes e depois da lagoa anaeróbia para análise de DQO, Sólidos Totais e Sólidos Suspensos. A vazão média registrada pelas coletas foi de 374 m<sup>3</sup>/dia, variando de 136 m<sup>3</sup>/dia a 522 m<sup>3</sup>/dia. A eficiência de remoção de DQO foi calculada em 58,7%, sendo que a média de entrada foi de 2124,0 mg/L e de saída 387 mg/L. O resultado de Sólidos Totais e Suspensos foi bastante variável, chegando a resultados negativos de eficiência na saída da lagoa anaeróbia. A produção de biogás foi estimada e teve média de 146,3 m<sup>3</sup> biogás/dia, com composição de 65% de metano. A economia com lenha para a caldeira estimada para uma extrapolação anual foi de 142 m<sup>3</sup> de lenha. O potencial de produção de energia elétrica foi estimado em 466,7 kW/dia, que se utilizando no horário de ponta (3h/dia), seria suficiente para suprir totalmente o gasto com o diesel e 91,2% do consumido atualmente da concessionária nesse horário.

**PALAVRAS-CHAVE:** Indústria de Conservas, Tratamento Anaeróbico, Biogás, Aproveitamento Energético.

### INTRODUÇÃO

A alta demanda energética industrial e o aumento na tarifa das distribuidoras justificam o investimento por parte das indústrias em novas tecnologias para abrandar o custo final de operação. Isso, aliado à obrigatoriedade de tratamento dos efluentes e consequente produção de biogás, contribuinte com o efeito estufa, conduzem a uma solução única. A possibilidade de utilização do biogás para fins energéticos é alcançada através de uma boa eficiência no tratamento de despejos, com baixa produção de gases secundários, como gás sulfídrico e alta taxa de conversão da Demanda Química de Oxigênio (DQO). Outro benefício aliado à captura do biogás e melhoria na eficiência do tratamento será a redução da emissão de odores e consequente benefício para as comunidades vizinhas.

O presente trabalho avaliará a quantidade de biogás formado através de uma lagoa facultativa anaeróbia de tratamento de despejo industrial e seu potencial de geração de energia. Pretende-se estudar se o biogás produzido tem qualidade e quantidade suficientes para ser utilizado no local como fonte alternativa de energia. Além do benefício econômico, com a redução nos gastos com a tarifa de energia elétrica, trará também benefícios ambientais, pois evitará a emissão de gases do efeito estufa (GEE), como metano e gás carbônico. Outro importante benefício será social, pois o odor atualmente emanado do tratamento será potencialmente diminuído, evitando descontentamentos por parte das comunidades vizinhas.

A lagoa de tratamento está implantada no parque industrial da Cia Hemmer Ltda. de alimentos em conservas, empresa fundada em 1915 na cidade de Blumenau. Seu principal produto é pepino em conserva, porém são processados muitos outros alimentos, como molho de cachorro quente, chucrute, diversos condimentos, mel, outros vegetais em conserva, etc. Supõe-se que a carga orgânica afluyente (de entrada) na lagoa é suficiente para, em condições ótimas de tratamento, gerar uma parcela de metano suficiente para o biogás ser técnica e economicamente viável no aproveitamento energético do mesmo na própria indústria.

O trabalho teve como objetivo geral avaliar o potencial de geração de biogás produzido a partir de uma lagoa de tratamento de efluentes de uma indústria de conservas alimentícias, para fins energéticos. Como objetivos específicos: a) foi realizado o diagnóstico da eficiência do tratamento anaeróbico e estimativa da qualidade e do volume de produção do biogás; b) identificaram-se os arranjos tecnológicos interessantes para o aproveitamento do biogás na indústria; e c) levantaram-se informações para a avaliação da viabilidade técnico-econômica da implementação de um sistema de aproveitamento do biogás energeticamente.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **PROCESSO INDUSTRIAL E CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES LÍQUIDOS DA INDÚSTRIA**

O presente estudo foi conduzido no sistema de tratamento de efluentes da Cia Hemmer Indústria e Comércio S/A, produtora de alimentos em conserva, no bairro de Badenfurt, em Blumenau/SC.

Comercializa uma ampla gama de produtos produzidos e embalados na própria indústria, além de outros produtos nacionais e importados. A produção ocorre conforme a demanda e safras de vegetais. A mostarda é produzida todos os dias e o pepino representa uma alta demanda de serviço nos seus períodos de safra.

Os insumos compreendem verduras, frutas, condimentos, conservantes e coadjuvantes de fabricação. A Tabela 1 mostra quantidades médias anuais de matérias-primas consumidas até o ano de 1993. Esses valores estão defasados atualmente, porém a maior produção continua sendo de pepinos em conserva, com expressiva produção também de beterrabas, chucrute (repolho), cogumelos, azeitonas, mostarda, ketchup e molho de pimenta.

**Tabela 1 - Consumo anual de matérias-primas.**

<b>Verduras</b>	<b>Consumo (kg/ano)</b>	<b>Frutas</b>	<b>Consumo (kg/ano)</b>
Beterraba	103.400	Abacaxi	180.000
Celery	3.000	Ameixa	20.000
Cenoura	122.000	Figo	50.000
Champignon	40.000	Goiaba	30.000
Repolho	650.000	Mamão	15.000
Couve-flor	75.700	Pêra	20.000
Milho verde	52.000	Maçã	243.000
Pepino	1.300.000	Banana	50.000
Azeitona	18.033	Uva	20.000
Repolho roxo	25.000	Morango	7.000
Vagem	10.700		
Cebolinha	85.600		
Alho	10.000		
Ervilha	26.000		
<b>Condimentos</b>	<b>Consumo (kg/ano)</b>	<b>Conservantes e Coadjuvantes de Fabricação</b>	<b>Consumo (kg/ano)</b>
Cravo	165	Ácido sórbico	125
Canela	59	Ácido láctico	205
Endro	421	Ácido benzóico	350
Pimenta preta	1.150	Ácido cítrico	2.450
Pimenta vermelha	4.300	Bissulfato de sódio	300
Louro	370	Barrilha leve	2.700
Cominho	100	Sulfato de alumínio	4.400
Estragão	500	Hipoclorito de sódio	2.400
Baunilha	100	Soda cáustica	2.200
Cúrcuma	3.200	Açúcar	400.000
Gengibre	250	Sal	160.000
Molho Soja	2.900	Melado	5.000
Noz Moscada	272	Glucose	12.000
Mostarda amarela	50.000	Álcool	90.000
Mostarda holandesa	18.000		

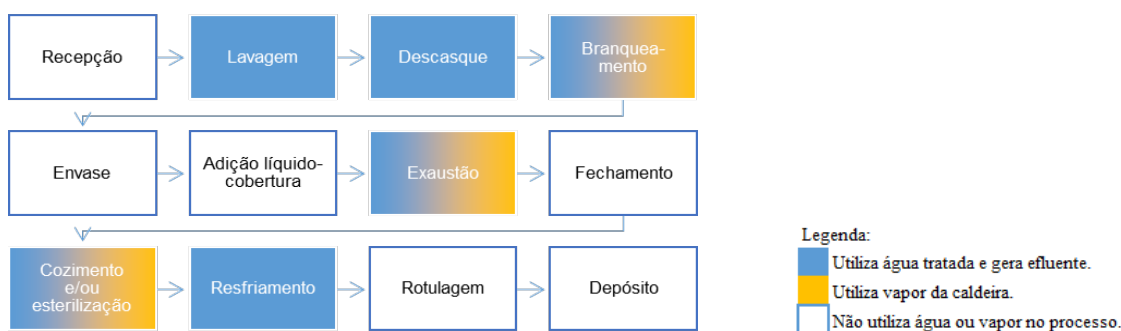
Fonte: Adaptado de INTECH, 1993.

A água é utilizada na fábrica para a lavagem e descasque de insumos, nos processos de branqueamento, exaustão, cozimento, esterilização, resfriamento, concentração, dissolução de açúcares, na mistura do vinagre e na pasteurização (INTECH, 1993). O vapor gerado pela caldeira é utilizado nos processos de descasque, branqueamento, exaustão, cozimento, esterilização, dissolução de açúcares e pasteurização.

A recepção consiste no recebimento da matéria-prima, que é lavada visando a eliminação de pó, folhas e outros materiais aderidos. É utilizado um tanque de aborbulhamento onde passa a matéria-prima. No descasque também se utiliza água após a retirada de talos, casca, partes podres e outros componentes indesejáveis. Esse processo pode ser manual ou mecânico (discos abrasivos e desgranadeira). O branqueamento é um pré-cozimento, utilizando-se tachos de cozimento com camisa de vapor, para inativação da atividade enzimática.

Após o envase e a introdução do líquido para tempero (salmoura, sal, vinagre e/ou condimentos), é feito o fechamento e exaustão, criando-se um vácuo através de banho-maria. Utiliza-se túnel de exaustão com vapor direto. O cozimento e/ou esterilização é feito para eliminar a atividade de microorganismos e é feito através do cozedor contínuo e autoclave. Finalizando, o produto, antes da rotulagem, passa por resfriamento por água fria ou jato de ar, realizado em circuito fechado com torre de resfriamento (INTECH, 1993). Na limpeza dos equipamentos e ambientes, é utilizada água aquecida com vapor gerado na caldeira e soda cáustica.

Dependendo do tipo de vegetal, os processos de descasque, branqueamento e/ou cozimento são suprimidos. O pepino, por exemplo, não passa pelo descasque e branqueamento. A Figura 1 a seguir ilustra o fluxograma do processo industrial de vegetais.



**Figura 1 – Fluxograma do processo industrial: vegetais.**

Fonte: Adaptado de INTECH, 1993.

As vazões de despejo para cada processo foram estimadas em 1993 pela INTECH, e são mostradas na Tabela 2 abaixo. Considerou-se ainda 14 m<sup>3</sup>/dia de contribuição de esgotos sanitários na fábrica. Porém esse valor é bastante variável, pois a fábrica trabalha com um regime bastante variável de produção.

**Tabela 2 – Vazões médias de despejos estimadas para cada etapa do processo industrial.**

Vegetais e Frutas	Vazão (m <sup>3</sup> /d)
Lavagem	50
Descasque	30
Acabamento	20
Branqueamento	50
Adição de líquido de cobertura	7
Exaustão	20
Cozimento/esterilização	25
Resfriamento	50
<b>Mostarda</b>	
Limpeza	20
<b>Vinagre</b>	
Pasteurização	20
Limpeza	12
<b>Esgoto Sanitário</b>	14

Fonte: adaptado de INTECH (1993).

Segundo Little et al. (1976), o efluente da indústria de conservas em salmoura é caracterizado pela alta concentração de sal, alta demanda de oxigênio, pH baixo e alta concentração de sólidos suspensos totais. Além disso, também possui uma alta Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

O pepino, produto com maior saída na empresa, utiliza água em abundância no processo de lavagem. Também gera efluentes no momento da limpeza de ambientes e tonéis, com presença nesse caso de restos do vegetal, vinagre e de NaCl no líquido. Em épocas de safra de pepino, as atividades na empresa concentram-se bastante na manipulação desse produto.

No processo de cozimento da beterraba, o vegetal é disposto em contentores envelopados por uma camada oca por onde o vapor passa e aquece o conteúdo, que está submerso em água corrente, que transborda e segue para o sistema de drenagem e coleta de efluentes. Observou-se que o efluente do cozimento da beterraba possui uma forte coloração avermelhada, encaminhada ao bueiro. Essa coloração é bem visível na chegada do efluente ao tratamento.

Na fabricação de cogumelos em conserva, outro produto importante da empresa, utiliza-se água tratada em abundância, pois é banhado até diminuir seu teor de metabissulfito de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) a níveis adequados para consumo, de 2500 ppm para 50 ppm. O  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  é um composto inorgânico utilizado como conservante, antioxidante e esterilizante. O efluente transborda do recipiente e é encaminhado ao tratamento, representando um volume importante de despejos nos dias em que esse produto é produzido.

No caso das azeitonas, estas são recebidas submersas em líquido de conserva (água salobra) em tonéis. Esse líquido é despejado diretamente para o sistema de tratamento, o que diminui o pH com o ácido láctico, oriundo do processo de fermentação da azeitona armazenada.

Quanto às frutas, atualmente fabrica-se no local apenas cereja em calda. O processo é semelhante ao dos vegetais, com diferencial na etapa de acabamento e na adição da calda, que é à base de açúcar. Quando há produção de frutas em calda não há despejo de efluentes, somente no momento da limpeza de máquinas e ambientes.

A fabricação de mostarda ocorre em todos os dias úteis e, apesar de não utilizar água tratada durante o seu processo, gera efluente líquido proveniente da limpeza dos tonéis, bombonas e equipamentos. O mesmo ocorre quando há fabricação dos demais molhos, como ketchup e maionese.

A produção de tomate seco gera um efluente com bastante teor de óleo, que gera espuma na lagoa anaeróbia. Essa espuma é dissolvida ao longo do tempo ou retirada juntamente com algas que se formam na superfície sempre que há necessidade, geralmente quando aproximadamente 1/3 da área superficial está coberta.

## SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

A água utilizada na indústria é proveniente de sua Estação de Tratamento de Água (ETA) instalada nas dependências da indústria. A ETA trata uma vazão média de 8300 m<sup>3</sup>/mês e em 2016 foram 91.080.511 L de água tratada no total. A água é utilizada no processo industrial, na lavagem do ambiente de trabalho, equipamentos, máquinas e recipientes, nos banheiros e na caldeira. A água servida é coletada através de canalizações e segue para o tratamento na Estação de Tratamento de Efluentes instalada no local. Ao final do período de funcionamento da fábrica, próximo das 20:00, 20 m<sup>3</sup> de água são utilizados para retrolavagem dos filtros, sendo despejadas na rede de coleta de despejos. Atualmente as águas pluviais também são direcionadas ao tratamento, aumentando consideravelmente a vazão de entrada e saída da lagoa nos períodos de chuva.

No tratamento preliminar de efluentes, o líquido passa por dois tanques de sedimentação, onde grande parte da areia e sólidos mais pesados são retidos. Após os tanques, o efluente é acumulado em um poço de bombeamento com duas bombas de recalque, uma de 60m<sup>3</sup>/h e outra submersa, de 30m<sup>3</sup>/h, como reserva. As bombas não são alternadas, a bomba submersa é utilizada apenas no caso de a principal estragar.

O efluente é recalcado quando atinge o nível da bomba seguindo para a peneira hidrostática, que segrega os sólidos grosseiros – restos de vegetais – do líquido. O efluente segue para o decantador do tipo Dortmund, onde os sólidos mais finos sedimentam ao fundo do tanque. Após o decantador, o efluente recebe uma dosagem de soda cáustica líquida para elevar o pH. A quantidade de NaOH em solução líquida utilizado varia de 850 a 1550 kg/mês, com média de 975 kg/mês.

Em seguida o efluente passa pelo tratamento secundário, composto por uma lagoa facultativa anaeróbia primária – recebendo o esgoto bruto – e uma lagoa de polimento, em série. A lagoa facultativa anaeróbia possui um volume útil de 6.000 m<sup>3</sup>, com 6 metros de profundidade total, 51 metros de comprimento e 25 de largura. A lagoa de polimento possui uma área superficial de trapézio, com larguras de 18 m e de 10 m. Seu comprimento é de 42 metros e possui 2 metros de profundidade. Ambas as lagoas são revestidas por uma

manta geotêxtil, com tubulações para retirada do ar no momento da instalação. Após a lagoa de polimento há uma Calha Parshall para medição da vazão do sistema, de onde segue para a disposição final no Rio Testo.

Quanto à manutenção do reator, diariamente são adicionados 20 L de uma solução rica em microorganismos anaeróbicos facultativos, preparada com leite e melado, para manutenção da biota. As bactérias adicionadas são diferentes para a época de safra de pepino, conforme recomendações do fornecedor.

O inóculo é adicionado com o objetivo de depurar a carga orgânica, consumir o lodo de fundo e controlar o odor. As bactérias são fixadoras de enxofre e fermentativas, para maximizar a produção de CO<sub>2</sub>. O fornecedor explica que, como a entrada de carga orgânica é descontínua e há muita variação da qualidade do efluente, é necessário ajustar a biota para os períodos ociosos. São pagos mensalmente R\$ 3.493,00 para o fornecedor. São adicionados na lagoa também 10 L/dia de hidróxido de sódio, para manter o pH da lagoa entre 6,0 e 8,0, ótima para a atividade anaeróbia (CHERNICHARO, 2007). Segundo o diretor industrial, o hidróxido de sódio líquido custa R\$ 1,64/kg e o consumo médio é de 1.500 kg/mês.

Eventualmente formam-se algas e escuma na superfície da lagoa, que são decompostas naturalmente pela lagoa, diminuindo a produção de oxigênio na superfície e permitindo a entrada de raios solares. A partir de informações obtidas na empresa, não é realizada a limpeza da superfície da lagoa. Quanto à retirada do lodo de fundo, não são realizadas limpezas desde sua instalação (em 1993). Ambas as lagoas possuem impermeabilização do fundo com manta geotêxtil, para impedir a contaminação do solo e águas subterrâneas.

## COLETA E ANÁLISES

Como o sistema não possui uma cobertura para captura do biogás produzido, a quantidade e qualidade do gás deverá ser calculada. Para isso, foram necessários dados de qualidade do afluente e efluente a partir da coleta de amostras de dois pontos: próximo à entrada do efluente recalcado anteriormente ao decantador Dortmund e na caixa de passagem após a lagoa facultativa anaeróbia.

A indústria realiza a medição de DQO, pH, sólidos totais, sólidos suspensos e temperatura regularmente. As análises de DQO, sólidos totais e sólidos suspensos são feitas mensalmente pelo Laboratório de Análises de Águas e Efluentes (LANAE), do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), localizado no município de Blumenau/SC. São coletadas amostras em cinco pontos: chegada do efluente recalcado no decantador Dortmund, caixa de passagem anterior à lagoa anaeróbia (CP-01), na lagoa anaeróbia, na caixa de passagem entre as lagoas (CP-02) e calha Parshall. Os históricos de DQO, ST e SS serão utilizados para realizar os cálculos de extrapolação de produção de biogás, além de servir como subsídio para o conhecimento da variação mensal ao longo do ano da entrada e saída de carga orgânica no sistema de tratamento.

O pH é medido diariamente em cinco pontos na superfície da lagoa. Além disso, há uma medição estratificada a cada dois dias, sendo esses valores também utilizados no presente estudo. A temperatura é medida diariamente, porém apenas na superfície das lagoas. Isto porque foi verificado que esse parâmetro varia apenas 1 a 2 °C com a profundidade.

Como as amostras realizadas pela indústria são realizadas de forma simples, uma coleta por mês, percebeu-se a necessidade de amostragens compostas e com maior frequência. A produção na indústria varia semanalmente, afetando diretamente na quantidade e qualidade de efluente produzido. O intuito das coletas foi perceber essas variações de acordo com a produção e calcular uma eficiência média com maior precisão. Como as coletas foram realizadas entre o verão e o outono, pretende-se ajustar a eficiência para o restante do ano, com base em temperaturas médias e histórico de precipitação.

Foi escolhida uma periodicidade de coleta e análise quinzenal, devido à sazonalidade de geração de efluentes depender da produção da indústria, que varia semanalmente e devido ao tempo de detenção da lagoa anaeróbia ser de 15 dias. O período total de coleta compreendeu 4 meses, sendo 7 dias amostrados. Os parâmetros de pH, vazão e temperatura do líquido foram analisados *in loco*, no momento das coletas. Outras características do ambiente foram também colhidas, afim de se obter um maior detalhamento do ambiente e correlacionar com a eficiência da lagoa e a geração de biogás. Observações referentes ao ambiente foram anotadas, como presença de odor, formação de bolhas na superfície da lagoa, ventos, temperatura ambiente e condições climáticas.

Também foi avaliado o tipo de produto produzido ou manipulado durante o dia de coleta, devido à variação da composição do biogás conforme a matriz orgânica a ser biodegradada.

A amostragem realizada foi do tipo composta (Equação 1) e manual, com um total de 10 coletas entre 7:30 e 21:00 horas - intervalo de 1:30 hora entre as coletas. Esse regime de coletas foi escolhido devido ao período de funcionamento da indústria, que é das 5:00 às 21:30. As maiores cargas de efluente são geradas das 9:00 às 17:00 com a produção e também após às 20:00 com a lavagem de equipamentos, recipientes e do ambiente de trabalho.

#### Cálculo dos volumes parciais da amostragem composta

$$v_i = \Delta' \cdot QI_i$$

Equação 1

Onde:

$v_i$  : volumes parciais de amostragem;

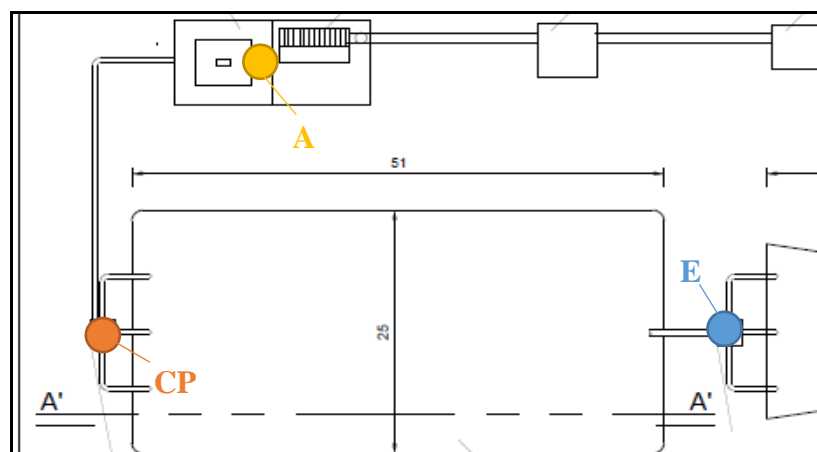
$\Delta' = V_{fc} / \sum QI_i$  : fator de redução de coleta;

$QI_i$  : vazão instantânea no momento da coleta;

$V_{fc}$  : Volume final de coleta.

Em adicional, foi identificada a necessidade de medir a influência do decantador Dortmund no processo para estipular melhor a eficiência da lagoa na remoção de DQO, Sólidos Totais e Sólidos Suspensos. Foram coletadas amostras na caixa de passagem (CP-01) - após o decantador - em 03 dias de análise. A amostragem nesse caso também foi composta, com 04 coletas entre as 7:30 e 21:00 - intervalos de 4:30 horas entre as coletas.

A Figura 2 abaixo indica os locais onde foram realizadas as coletas, sendo “A” a chegada do efluente recalcado após a peneira hidrostática, anterior ao decantador Dortmund; “CP” indica a caixa de passagem anterior à lagoa anaeróbia, onde foram realizadas apenas três coletas; e “E” é a caixa de passagem após a lagoa anaeróbia, onde foi realizado o método balde e cronômetro.



**Figura 2 – Indicação dos pontos de coleta “A”, “CP” e “E”.**

As amostras foram armazenadas em uma câmara frigorífica da fábrica a temperaturas de 2 a 4°C durante o período de coleta e até a entrega das amostras no laboratório no dia seguinte. O procedimento de análise foi conduzido pelo LANAE. Os parâmetros analisados e os métodos são mostrados na Tabela 3. Os métodos de ensaio foram feitos conforme instruções de APHA *et al.* (2012). Os resultados advindos da LANAE e obtidos em campo serão anotados, computados e tabelados.



**Tabela 3 – Parâmetros a serem analisados nas amostras de efluente e afluente e métodos.**

Parâmetro	Método	Local
DQO	8000 Hach	LANAE
pH	Direto, pHmetro portátil PG1400 calibrado	<i>In loco</i>
Sólidos Totais	SMWW 2540 B	LANAE
Sólidos Suspensos	SMWW 2540 D	LANAE
Q <sub>entrada</sub>	Indireto: avaliação do consumo de água e controle do tempo de bombeamento	<i>In loco</i>
Q <sub>saída</sub>	Direto: balde e cronômetro	<i>In loco</i>
Temperatura	Direto, termômetro	<i>In loco</i>

A medição de vazão do tratamento se dá por meio de uma Calha Parshall após a lagoa de polimento, porém a mesma não caracteriza o regime de entrada e saída da lagoa facultativa anaeróbia, devido a variações no tempo de concentração nas duas lagoas. Por esse motivo, optou-se por calcular a vazão de entrada da lagoa por meio do cálculo do volume total recalado pela bomba no dia da coleta. A vazão de recalque foi multiplicada pelo tempo de funcionamento da bomba ao longo do dia, dividido pelo período de funcionamento da fábrica (Equação 2).

$$Q_{\text{entrada}} = (t \cdot Q_{\text{bomba}}) / T \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

t: tempo total que a bomba esteve ligada durante o dia de coleta;

Q<sub>bomba</sub>: vazão de bombeamento (60m<sup>3</sup>/h);

T: período diário de funcionamento da fábrica (16,5 horas).

A vazão de saída da lagoa anaeróbia, por outro lado, foi aferida através do método do balde e cronômetro, na caixa de passagem instalada entre as duas lagoas (CP-02). Com um balde de volume máximo 18L, foi recolhido o volume de água entrando na caixa de passagem por um tempo determinado. Os intervalos de tempo utilizados variaram de 1 a 10 segundos. Sabe-se que o cálculo com um tempo de coleta maior determina melhor a vazão, mas durante algumas aferições as vazões estiveram próximo ou superior a 18 L/s, não sendo possível executar o método com intervalos maiores nesses casos.

## ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE METANO E ENERGIA

Para estimar a vazão de metano produzida na lagoa, utilizar-se-á a Equação 3, que considera a produção de sólidos no meio e permite o ajuste das condições de temperatura e pressão, conforme descrito por Metcalf & Eddy (2003), Andreoli *et al.* (2003) e Borhz *et al.* (2010) para sistemas de tratamento anaeróbico.

$$DQO_{CH_4} = Q_{\text{méd}} * [(S_o - S) - Y * S_o] \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

DQO<sub>CH<sub>4</sub></sub>: Carga de DQO removida convertida em metano (kgDQO/dia);

Q<sub>méd</sub>: Vazão média do sistema (m<sup>3</sup>/dia);

S<sub>o</sub>: DQO afluente (kgDQO/m<sup>3</sup>);

S: DQO efluente (kgDQO/m<sup>3</sup>);

Y: Coeficiente de produção de sólidos no sistema em termos de DQO, indicado de 0,11 a 0,23 kgSSV/kgDQO aplicada (utilizou-se 0,15 kgSSV/kgDQO);

Como se trata de um gás, é preciso normalizar o cálculo para as condições normais de temperatura e pressão (CNTP), através da Equação 4 e Equação 5.

$$Q_{CH_4} = DQO_{CH_4} / f(T) \quad \text{Equação 4}$$

$$f(T) = P * K_{DQO} / R * T \quad \text{Equação 5}$$



Onde:

$Q_{CH_4}$ : Produção volumétrica de metano ( $m^3/dia$ );

$f(T)$ : Fator de correção de temperatura e de conversão massa/volume ( $kgDQO/m^3$ );

$P$ : Pressão atmosférica (1 atm);

$K_{DQO}$ : DQO equivalente a 1 mol de metano (6400  $kgDQO/mol$ );

$R$ : Constante dos gases (8,314  $Pa.m^3/mol.K$ );

$T$ : temperatura média do reator ( $273 + T$ ) (K).

O valor de  $f(T)$  resultou em 2,6  $kgDQO/m^3$ , utilizando-se 23 °C como temperatura média do reator, sendo a temperatura média medida no efluente de saída da lagoa anaeróbia.

O potencial de geração de energia elétrica é estimado com base na vazão de metano e considerando um teor energético de 10  $kWh/m^3CH_4$  e a eficiência elétrica do conjunto moto-gerador de 36% (SILVEIRA *et al.*, 2015). A partir disso, a energia elétrica a ser gerada é calculada através da Equação 6 a seguir.

$$P = Q_{CH_4,disponível} \cdot EA_{específica} \cdot \eta_{elétrico} \quad \text{Equação 6}$$

Onde,

$P$ : Potencial de geração de energia elétrica ( $kWh/d$ );

$Q_{CH_4}$ : Vazão de metano ( $m^3/d$ );

$EA$ : Energia específica do metano;

$\eta_{elétrico}$ : Eficiência elétrica do motogerador.

A potência elétrica do motor será calculada dividindo por 3 horas, considerando a geração somente no horário de ponta (das 18 às 21 horas) onde a tarifa de energia é mais cara (três vezes maior do que a tarifa fora de ponta).

O potencial de geração de energia térmica é calculado com base no Poder Calorífico Inferior (PCI). O metano puro pode alcançar um PCI de aproximadamente 8.100  $kcal/Nm^3$ , segundo Ross et al. (1996). O biogás, por possuir na sua composição o  $CO_2$  e umidade, tem um PCI menor, sendo de aproximadamente 5.300  $kcal/Nm^3$  quando atinge a porcentagem de 65% de metano. A Tabela 4 a seguir apresenta a comparação em termos de energia do biogás com outros combustíveis.

**Tabela 4 – Equivalência energética de 1 $m^3$  de biogás a 65% de metano.**

Combustível	Equivalência	Unidade
Gás natural	0,6	$m^3$
Gasolina	0,628	L
Madeira parcialmente seca	1,602	kg

Fonte: Adaptado de Ross et al. (1996).

## RESULTADOS DO LEVANTAMENTO DE DADOS PARA ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA

Em sequência ao trabalho, foram estudadas as alternativas tecnológicas para utilização do biogás como fonte de energia para a indústria. Após a instalação do gasômetro sobre a lagoa facultativa anaeróbia para captação do gás, os usos previstos analisados foram como fonte de calor para a caldeira e como fonte de energia elétrica.

Na caldeira, foi avaliado o potencial em forma de calor do biogás produzido e quanto combustível poderá substituir. Foi levantado o consumo médio de madeira utilizada na caldeira e os gastos relacionados.

Na geração de energia elétrica, foi realizado o cálculo do potencial de energia elétrica com a quantidade de metano gerada pela lagoa. Também foram levantados os custos relacionados à energia elétrica da indústria.

### Utilização do Biogás para Geração de Energia Térmica

Alguns processos realizados na indústria necessitam de calor, como é o caso do descasque, branqueamento, exaustão, cozimento, esterilização, dissolução de açúcares e pasteurização. Para isso, há uma caldeira instalada na indústria há 25 anos, utilizada anteriormente em um hospital da região. Originalmente era movida a óleo diesel e foi adaptada para utilização de lenha como combustível.

O período de funcionamento da caldeira é das 4:30 às 16:30 de segunda a sexta-feira (200hmês). A lenha é adicionada à máquina térmica a medida que a fábrica demanda vapor para suas atividades. Essa demanda é bastante variável, podendo tanto quatro ou mais processos necessitarem de vapor ao mesmo tempo quanto não ser necessário nenhum vapor. Essa variação resulta em expurgo ocasional de vapor, pela válvula de escape.

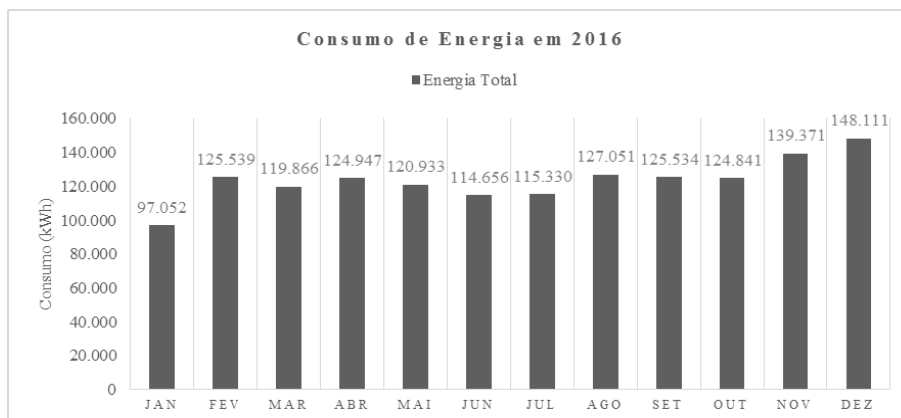
A quantidade de vapor gerado mensalmente é, em média, de 376,8 toneladas, (1,884 ton/h). O combustível utilizado atualmente é a lenha de Eucalipto, comprada de fornecedores de cidades próximas. Em 2016, consumiu-se uma média de 314 m<sup>3</sup> de lenha por mês, totalizando 3.771 m<sup>3</sup> no ano. O valor pela lenha é de R\$ 45,00 /m<sup>3</sup>, sendo, portanto, o custo mensal médio com o combustível de R\$ 14.130,00.

#### Utilização do Biogás para Geração de Energia Elétrica

Dados obtidos na indústria mostram que o consumo médio mensal é de 123.603 kWh/mês para todas as atividades da fábrica. No horário de ponta, das 18:00 às 21:00, especificamente, utiliza-se uma média de 8.724 kWh/mês, sendo parte obtida por um gerador de energia e parte da concessionária, como medida de redução de custos. Já o horário de ponta teve variação de quase 7.000 kWh entre o maior consumo, em outubro/2016, e o menor, em janeiro/2016.

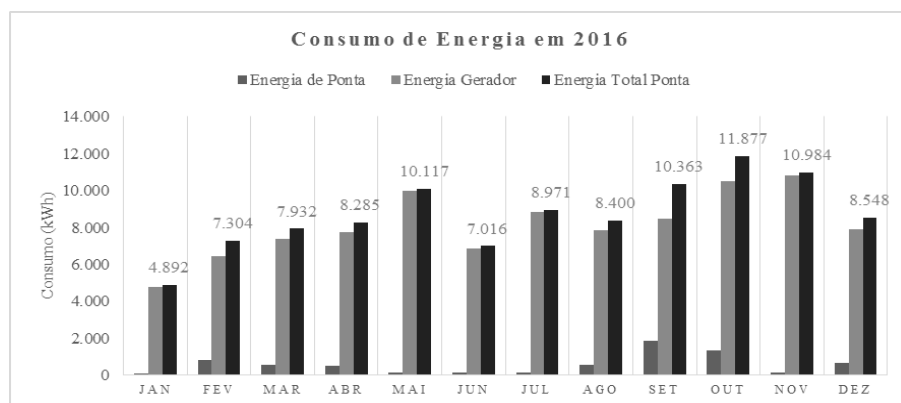
O gerador movido a óleo diesel comum está instalado há 14 anos na empresa e é uma composição de gerador WEG com motor Cummins com 450 KVA de capacidade nominal. Em torno de 85 a 97% da demanda de energia no horário de ponta é suprida pelo gerador, e o restante é proveniente da concessionária.

A Figura 3 a seguir mostra a variação do consumo total de energia ao longo dos meses de 2016. O maior gasto foi registrado no mês de dezembro, com consumo mensal de 148.111 kWh e o menor em janeiro, com 92.160 kWh/mês. A Figura 4, abaixo, mostra o gasto total no horário de ponta da empresa, a produção de energia pelo gerador e o consumo direto da concessionária nesse horário.



**Figura 3 – Consumo mensal de energia elétrica no ano de 2016.**

Fonte: Dados obtidos da empresa.



**Figura 4 – Consumo mensal de energia elétrica no ano de 2016.**

Fonte: Dados obtidos da empresa.

A concessionária de energia local é a CELESC, que possui uma tarifa chamada horosazonal verde, de R\$ 0,30126/kWh, por kWh consumido em horário comum e R\$ 1,04231/kWh no horário de ponta ou de pico (das 18:00 às 21:00), na categoria em que a indústria está enquadrada. Dessa forma, é gasto em média R\$ 37.847,55 por mês com a energia total obtida da concessionária. Com o combustível do gerador, são gastos mensalmente uma média de 3.181 litros de diesel comum, que a um preço de R\$ 3,838 por litro (ANP, 2017), soma um gasto de R\$ 12.206,76 mensais.

## RESULTADOS

### RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE LÍQUIDO

O mau cheiro, proveniente do ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S) era mais perceptível no final da tarde ou logo antes de eventos de chuva. Isso pode ser relacionado à inversão térmica que ocorre na atmosfera nesses momentos, impedindo a dispersão do biogás, acumulando-o próximo à superfície da Terra.

A Tabela 5 a seguir mostra os resultados laboratoriais dos 07 dias de coleta para os parâmetros de DQO, Sólidos Totais, ST Fixos, ST Voláteis, Sólidos Suspensos Totais, SS Fixos e SS Voláteis, para os três pontos de coleta e as eficiências de remoção. A descrição dos dias de coleta, com a produção de cada dia, temperatura ambiente, condições climáticas, odor e outras informações relevantes podem ser vistas no Apêndice A.

**Tabela 5 - Resultados das análises de DQO, Sólidos Totais e Sólidos Suspensos aferidos ao longo das coletas e cálculo de eficiências.**

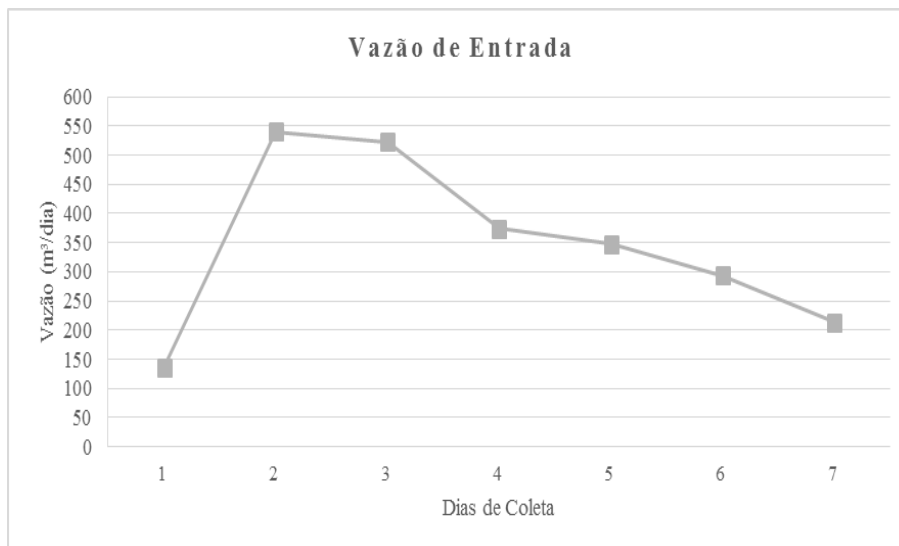
Local/ Descrição  Parâmetro	Decantador (Ponto A)*	Caixa de Passagem anterior à lagoa (Ponto CP)*,**	Caixa de Passagem posterior à lagoa (Ponto E)*	Remoção no decantador (A-CP)**	Eficiência decantador**	Remoção lagoa (CP"- E)**	Eficiência lagoa**
DQO (mg/L)	2124,0	1653,8	687,0	456,0	22,14%	966,8	58,7%
ST (mg/L)	4186,0	2741,0	2613,3	1391,7	38,57%	381,0	13,9%
STF (mg/L)	2854,0	1912,8	2058,0	1205,8	41,40%	100,8	5,3%
STV (mg/L)	1304,0	959,1	548,0	185,8	26,4%	443,1	45,1%
SST (mg/L)	406,7	306,7	106,0	118,3	27,84%	143,7	68,5%
SSF (mg/L)	68,0	58,8	14,0	16,7	13,51%	32,0	76,2%
SSV (mg/L)	283,3	220,0	80,0	126,0	41,33%	93,0	60,9%
Observações							
Valores em mg/L, exceto indicações de porcentagem							
*Resultados das análises							
**Calculado							

Tendo em vista a grande variação dos resultados nos últimos três dias de coleta, percebe-se que a média de eficiência do decantador pode não ser representativa. As discussões realizadas neste subitem levarão em consideração essa variação.

### Vazão

A vazão média (Figura 5) foi de 374 m<sup>3</sup>/dia, porém houve variações expressivas (136 a 540 m<sup>3</sup>/dia), que dependem muito da quantidade e qualidade de produção. Em 02 dias específicos houve grande variação da vazão na saída da lagoa anaeróbia. No segundo dia de coleta, a vazão de saída esteve alta devido a chuvas intensas e à grande produção de cogumelos nas duas semanas anteriores à coleta, que incrementaram o volume da lagoa. No dia 04, houve limpeza da fábrica às 13:30, devido a cursos que ocorreram com os funcionários nessa data. Esse dia também foi o que apresentou maior precipitação, sendo que também houve pancadas de chuva no dia 01 (das 17:00 às 19:00), no dia 06 (ao longo do dia) e no dia 07 (somente próximo às 12:00). No

dia 05 é observado um pico de vazão às 10:30, que não teve relação com chuvas ou produção de alimentos que demandam quantidades elevadas de água. Nesse dia houve problemas operacionais na ETA, que pode ter levado a um perfil atípico na vazão.



**Figura 5 – Vazão média de entrada nos dias de coleta.**

### **Demanda Química de Oxigênio (DQO)**

Com uma eficiência média de 22,1% de remoção de DQO no decantador, a eficiência média de remoção resultou em 58,7% na lagoa anaeróbia. Considerou-se a média das eficiências obtidas nos 07 dias de coleta, diminuída da eficiência de remoção da DQO média do decantador. A remoção média de DQO do decantador, calculada a partir dos resultados dos dias 5, 6 e 7, foi de 456 mg/L, variando de 282 a 647 mg/L. Em porcentagem, resultou em eficiências de remoção de 11,9 a 52,2%.

A eficiência de remoção de DQO no sistema decantador Dortmund e lagoa anaeróbia foi regular nas três primeiras coletas, com média de 68,1%. O quarto dia de coleta foi o dia com maior entrada de DQO, mas a eficiência de remoção de DQO teve uma queda para 55,3%. Esse dia foi atípico na fábrica, em virtude de palestras da vigilância sanitária que ocorreram durante todo o período com funcionários, sendo realizada a limpeza das máquinas e ambiente no início da tarde.

A partir do quinto dia de coleta (18/04/17), iniciaram-se as coletas também na caixa de passagem após o decantador, o que auxiliou na estimativa de eficiência da lagoa anaeróbia. Esse período corresponde à safra de pepino, em que a fábrica concentra esforços na limpeza, seleção, preparo e envase de pepino em salmoura e picles. O uso de água tratada e de vapor diminuem, pois não há cozimento de matéria prima.

No sexto dia de coleta houve uma grande baixa na entrada de DQO e na eficiência de remoção, sendo que a lagoa anaeróbia removeu apenas 35,8% da DQO (de 592 para 380 mg/L). Também pode ser relacionado à mudança do inóculo entre o quinto e o sexto dia de coleta. Esse procedimento é feito sempre que se inicia a safra de pepino. Um indicador dessa instabilidade da lagoa quanto às mudanças no ambiente é a variação do pH na saída, com uma média de 6,93, variou de 6,80 a 7,02, o que não ocorreu nos demais dias de análise.

A Figura 6 a seguir relaciona a vazão de entrada com a DQO de entrada do efluente. A partir do gráfico, observa-se que não há uma regularidade entre as duas grandezas. Mesmo relacionando com os dias de maiores chuvas, e, portanto, maiores contribuições de água pluvial no afluente, não foi possível estabelecer uma relação. Os dias de maior chuva foram o 4 e o 6, com pancadas curtas de chuva nos dias 1 e 7.

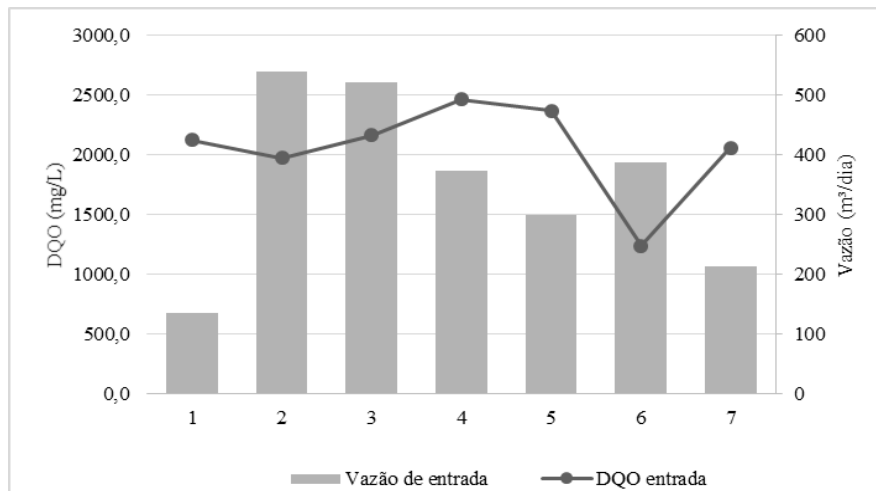


Figura 6 – Vazão e DQO de entrada no sistema (ponto A).

## pH

O pH de entrada no sistema é bastante variável, dependendo das atividades da fábrica (Figura 7). Na produção, são utilizados diversos compostos ácidos em produtos, como vinagre. Durante eventos de limpeza, usam-se compostos básicos, como soda cáustica. Percebe-se que ao final da tarde, às 16:30, o pH de entrada é mais elevado, na faixa de 10 a 12, enquanto durante o dia ele pode chegar a 4. Percebe-se que no quarto dia de coleta a limpeza foi iniciada mais cedo, pois as 13:30 houve aumento do pH.

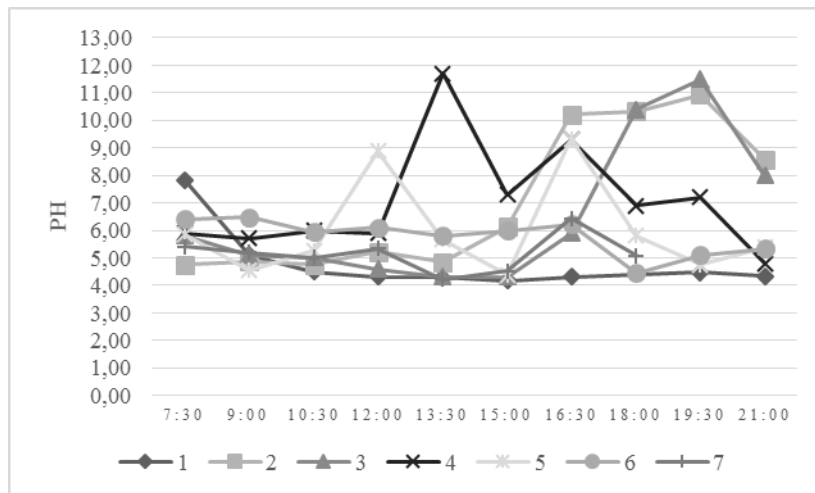


Figura 7 – pH médio afluente (ponto A) ao longo dos dias de coleta.

O pH na caixa de passagem CP-02 (saída da lagoa anaeróbia) mostrou bastante estabilidade durante os dias de coleta e no geral foram de 6,22 a 7,25 (Figura 8). A média geral do pH efluente ficou em 6,6, sendo ideal que fosse mais próximo a normalidade.

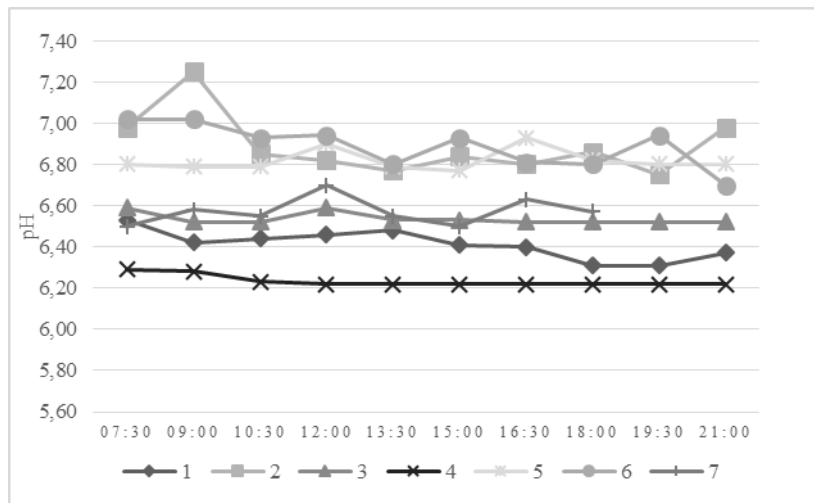


Figura 8 – pH médio na saída da lagoa anaeróbia (ponto E) ao longo dos dias de coleta.

### Temperatura

Quanto à temperatura do afluente, observou-se que ao longo dos dias houve uma variação de 2 a 13°C, dependendo do uso de vapor na fábrica. No quinto dia de coleta foi observada as maiores temperaturas, com pico às 15:00, com 35°C no afluente. A média geral da temperatura de entrada foi de 25°C. Já na saída, as temperaturas variaram muito pouco ao longo dos dias, de 1 a 3°C. As menores temperaturas foram registradas no sétimo dia de coleta, em maio/2017, época com temperaturas ambientes menores.

A temperatura do efluente na saída da lagoa anaeróbia esteve próxima a 27 °C no verão (campanhas de 1 a 4), o que indica grande estabilidade das condições da lagoa e padrões propícios à digestão anaeróbia. Já no outono (campanhas de 5 a 7), a temperatura caiu para uma média de 22°C. A Figura 9 mostra a temperaturas médias de entrada e saída da lagoa anaeróbia aferidas ao longo das campanhas de coleta.

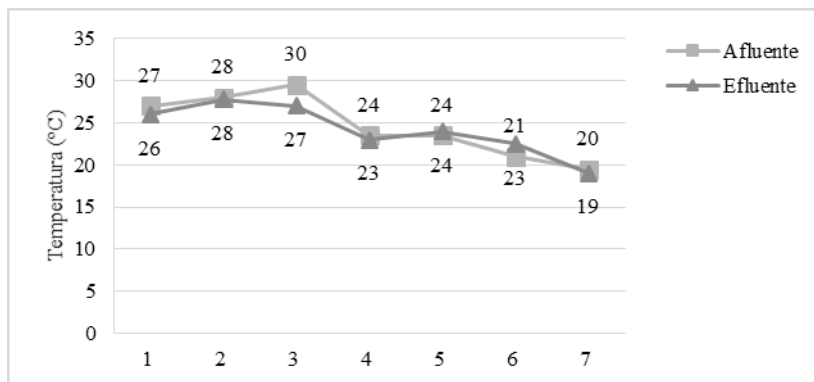


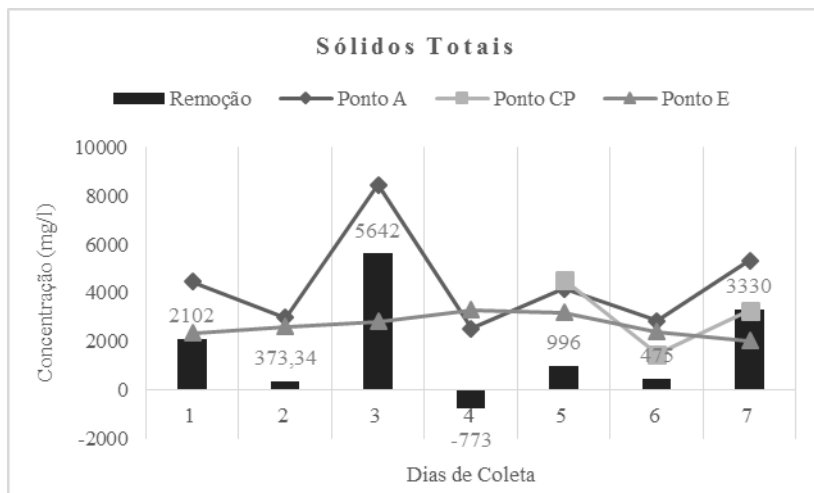
Figura 9 – Temperaturas médias do afluente e efluente.

### Sólidos

Quanto aos resultados de sólidos totais, suspensos, fixos e voláteis, observou-se uma grande variação nos valores, tanto na entrada do sistema, quanto na saída. A eficiência de remoção tanto no decantador e na lagoa anaeróbia variou bastante, apresentando inclusive valores negativos – amostras da saída com valores de sólidos maiores que a entrada.

No ponto A, os sólidos totais obtiveram uma média de 4.186 mg/L, variando de 2.542 a 8.472 mg/L. No ponto E os resultados foram mais homogêneos, com uma média de 2.613 mg/L. No decantador, a estimativa de remoção de sólidos totais foi de 38,6% e na lagoa anaeróbia, de 13,9%.

A Figura 10 a seguir apresenta os resultados nos pontos coletados para os sete dias analisados. No quarto dia houve maior concentração de sólidos na saída da lagoa do que na entrada. Isso pode ser relacionado à precipitação que ocorreu durante todo o dia de coleta. Como as águas pluviais são coletadas juntamente pelas estruturas de coleta de efluentes da indústria, a concentração de entrada foi a mais baixa registrada.



**Figura 10 – Resultados de Sólidos Totais (ST) dos pontos de monitoramento ao longo da campanha de coleta.**

Dentro de sólidos totais, a parcela de Sólidos Totais Fixos foi superior à de Sólidos Totais Voláteis em todas as amostras. Na chegada do efluente ao decantador (ponto A), a média de STF foi de 2.854 mg/L (69% dos ST), enquanto a média de STV foi de 1.304 mg/L (31%). A bibliografia aponta que a normalidade se dá em uma proporção de 55% STV e 45% STF.

A presença de sólidos voláteis indica a parcela orgânica de sólidos, que pode ser biodegradada. Fazendo-se a relação STV/ST, obteve-se uma média de 0,09 no ponto A e 0,04 no ponto E, indicando pouca concentração de sólidos biodegradáveis em relação a sais e materiais inorgânicos (fixos).

A remoção de Sólidos Totais Voláteis teve grande variação na eficiência ao longo dos dias de coleta. A média foi de 45,1%, para a lagoa anaeróbia, o que é considerado baixo. O decantador removeu uma média de 26,4% de STV.

A parcela de Sólidos Dissolvidos Totais foi maior do que a parcela de Sólidos Suspensos Totais, o que foi perceptível no aspecto do efluente, que possuía cor e baixa turbidez.

No geral, tanto o decantador quanto a lagoa anaeróbia obtiveram valores insatisfatórios de eficiência de remoção de sólidos totais. A lagoa anaeróbia possui uma média de ST de saída bastante elevada, o que pode estar relacionado à falta de limpeza do lodo de fundo. A autodepuração do lodo requerida com a adição de microorganismos não é suficiente, pois existe uma parcela considerável de sólidos biodegradáveis entrando no sistema.

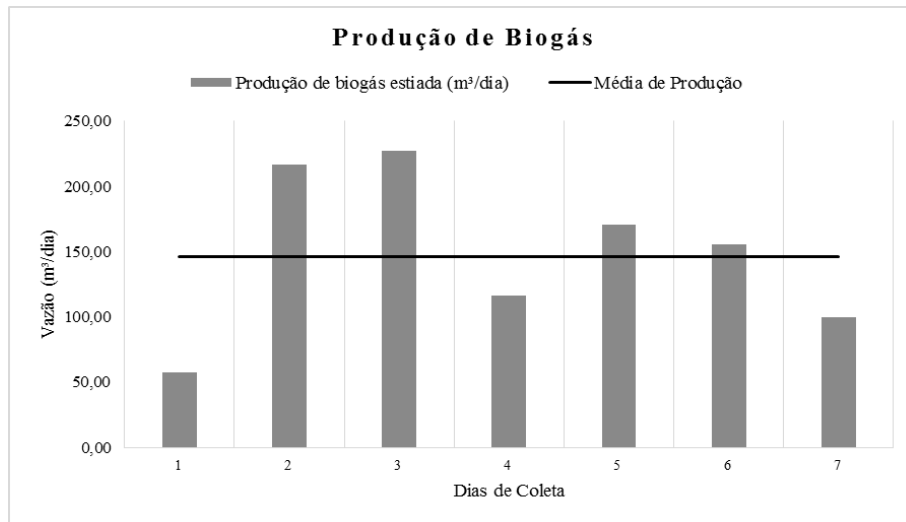
## ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

A vazão e composição do biogás foram estimados, uma vez que não há uma cobertura da lagoa para captar diretamente o biogás produzido. Com base nas análises, verificou-se uma eficiência de remoção de DQO média de 58,7% na lagoa anaeróbia.

Foi estimada, com base nas Equações 4, 5 e 6, uma produção média mensal de metano na lagoa anaeróbia de 95,1 m<sup>3</sup>/dia. Considerando o biogás formado com uma composição de 65% de metano, a produção média de biogás pela lagoa foi estimada em 146,3 m<sup>3</sup>Biogás/dia, que variou de 57,3 a 227,5 m<sup>3</sup>Biogás/dia. A Figura 11 a seguir apresenta a estimativa de biogás gerado pela lagoa nos dias de coleta.



Extrapolando-se, com os dados de DQO de entrada no decantador medidos em 2016 pela empresa, as temperaturas médias mensais e utilizando as eficiências médias calculadas, a produção anual de biogás foi estimada em 44.475 m<sup>3</sup> a 65% de metano.



**Figura 11 – Estimativa de produção de biogás (65% CH<sub>4</sub>) nos dias de coleta.**

## ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA ENTRE AS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

Tanto para utilização para produção de energia térmica, na caldeira flamotubular mista instalada na indústria e na utilização para produção de energia elétrica, com a injeção do combustível em um motor gerador é necessária a instalação da lona de cobertura na lagoa anaeróbia, para armazenamento e captação do biogás gerado.

Previu-se um volume de armazenamento de 250 m<sup>3</sup>, observando que o volume máximo de biogás gerado calculado foi de 227,5 m<sup>3</sup>/dia. A lona de cobertura da lagoa dimensionada para esse volume de armazenamento, sendo a área superficial da lagoa de 51 por 25 m, deve ser de 400 m<sup>2</sup> de manta a R\$20,00/m<sup>2</sup>, resultando em R\$ 8.000 (TRIGÁS, 2017).

Além do gasômetro e estruturas de captação, segurança e armazenamento do biogás, é sempre necessário um purificador do biogás antes de utilizar no motor gerador, para eliminar gases corrosivos ao motor e prolongar sua vida útil. Apesar de algumas bibliografias apontarem que é dispensável a purificação para a caldeira para concentrações de H<sub>2</sub>S abaixo de 1000 ppm, alguns fornecedores recomendam realizar a purificação do biogás previamente à caldeira também.

### Produção de Vapor

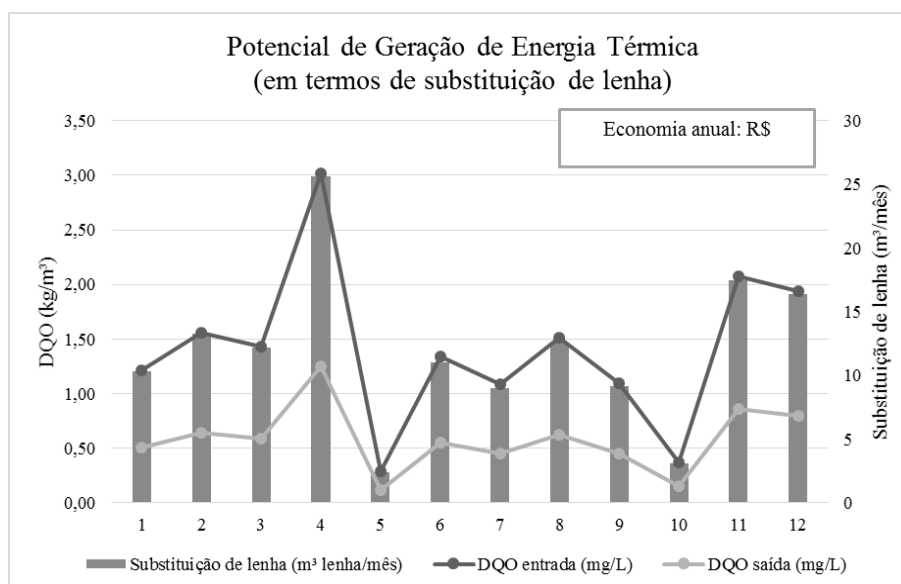
Como a caldeira instalada foi projetada para combustíveis líquidos e adaptada para sólidos, seria necessário levantar custos e analisar a viabilidade técnica da adaptação da caldeira para utilização de biogás. Outra alternativa seria o levantamento de custos para uma nova caldeira, com capacidade de 5 ton/h de geração de vapor, movida a cavaco e biogás.

Comparando o poder energético do biogás a 65% de metano com a lenha, será possível substituir 7.591 kg de lenha por mês. Considerando a densidade do eucalipto como 500 kg/m<sup>3</sup> (IPT, 1989), totaliza 14,1 m<sup>3</sup> de lenha por mês, ou R\$632,59 de economia mensais. A Tabela 6 mostra o potencial para substituição de lenha e potencial de economia financeira nos dias estudados, utilizando-se uma relação de lenha/biogás de 1,602 (ROSS *et al*, 1996) e o preço do m<sup>3</sup> de lenha em R\$ 45,00, segundo informações obtidas na fábrica.

**Tabela 6 – Estimativa de economia financeira para os dias pesquisados com a substituição parcial de lenha por biogás na caldeira.**

DIA	1	2	3	4	5	6	7	Média
Q biogás (m <sup>3</sup> biogás/dia)	57,3	216,6	227,5	116,2	170,5	155,7	100,1	146,3
Substituição de lenha (kglenha/dia)	91,8	347,0	364,4	186,1	273,2	249,4	160,3	234,3
Substituição de lenha (m <sup>3</sup> lenha/dia)	0,184	0,694	0,729	0,372	0,546	0,499	0,321	0,469
Economia (R\$/dia)	8,26	31,23	32,80	16,75	24,58	22,45	14,43	21,09
Qbiogás (m <sup>3</sup> biogás/mês)	1719,6	6498,8	6824,9	3485,1	5115,5	4670,9	3002,0	4387,5
Economia (R\$/mês)	247,93	936,99	984,01	502,48	737,55	673,45	432,83	632,59

Extrapolando-se a produção de biogás para o ano, considerando uma eficiência média de remoção de DQO pela lagoa anaeróbia de 58,7%, os dados de DQO da entrada medidos pela empresa em 2016 e as médias de temperatura mensais em 2016, observa-se uma economia de R\$ 6.412,36 anual com a substituição de 142 m<sup>3</sup> de lenha de Eucalipto por biogás. Desconsideraram-se variações na eficiência da lagoa, de acordo com alterações da carga orgânica de entrada, alterações no pH, entre outros. A Figura 12 abaixo apresenta o resultado mensal da extrapolação para o ano de 2016.



**Figura 12 – Extrapolação da estimativa de potencial energético do biogás a partir dos dados de entrada de DQO para o ano de 2016 para substituição de lenha.**

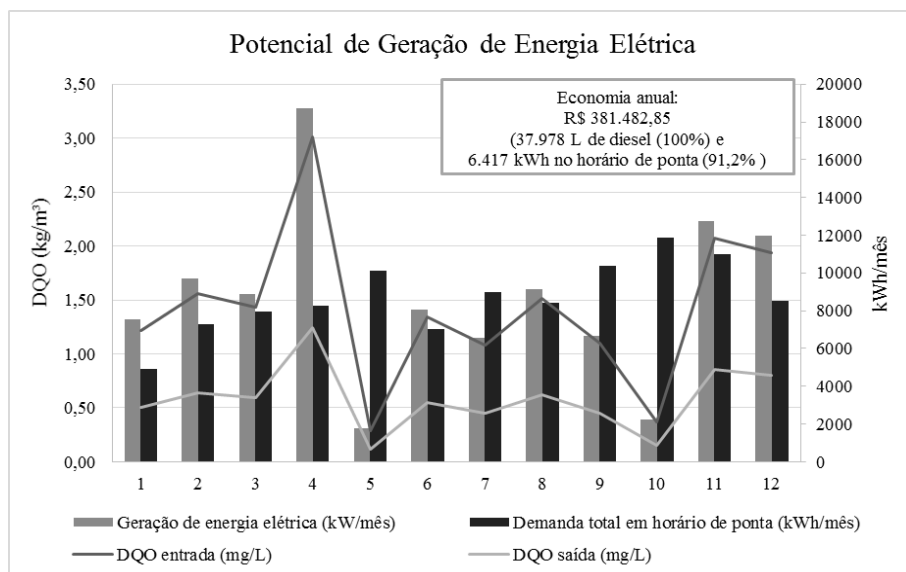
### Produção de Energia Elétrica

Com base na vazão de biogás média de 146,3 Nm<sup>3</sup>/d, calculou-se, considerando uma eficiência do gerador de 36% e um teor energético de teor energético de 10 kWh/m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>, calculou-se uma produção média de energia elétrica de 466,7 kWh/d. Para utilização da energia somente no horário de ponta (3h/dia), calculou-se uma potência instalada do motor-gerador de 156 kW. Para utilização em 16,5 horas, período de funcionamento da fábrica, a potência ficaria em 28,3 kW, o que pode ser considerado como alternativa de uso. Caso for calculado para funcionamento 24h, o tamanho do motor seria menor e inviável, com potência de 19,4 kW

Considerando o consumo médio na ponta de 8.406 kWh/mês, ou seja, 382 kWh/dia (22 dias uteis por mês), 100% da demanda na ponta pode ser fornecida por um motor gerador a biogás. Substituindo o diesel utilizado no motor gerador atualmente, a um preço de R\$ 3,838 por litro (ANP, 2017), soma uma economia de R\$ 12.206,76 mensais.

Extrapolando-se a produção de biogás para o ano, da mesma forma que para o item anterior, resulta-se em um potencial de geração de 104.071 kWh anual, que seria próximo à demanda de energia no horário de ponta atualmente (104.689 kWh anual). Essa energia poderia suprir a energia produzida pelo gerador a diesel

(97.654 kWh/ano) e ainda 91,2% do consumo da concessionária no horário de ponta. A Figura 13 abaixo apresenta o resultado mensal da extrapolação para o ano de 2016.



**Figura 13 – Extrapolação da estimativa de potencial energético do biogás a partir dos dados de entrada de DQO para o ano de 2016 para produção de energia elétrica.**

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A lagoa anaeróbia facultativa possui uma eficiência de remoção de DQO de 58,7%, com média de entrada de 1.653,8 mgDQO/L, que pode ser melhorada a partir da manutenção das condições ideais para as bactérias metanogênicas, sensíveis às condições climáticas.

O sistema de tratamento implantado na indústria possui eficiência adequada para atender os padrões exigidos pela legislação, considerando-se o tratamento complementar com a lagoa de maturação após a lagoa anaeróbia. Ressalta-se, porém, que há melhorias que podem ser feitas, no sentido de manutenção do biodigestor e decantador. Além disso, existem alternativas tecnológicas de melhoria do processo como um todo e para potencializar a produção de biogás, visando o aproveitamento energético.

A instalação do gasômetro refletirá indiretamente no aumento da produção de metano e redução na produção de CO<sub>2</sub>, além de diminuir a emissão de maus odores para a vizinhança. Além disso, caso o gasômetro for opaco, os raios solares não atingirão a superfície da lagoa, impedindo a atividade de microorganismos aeróbicos ou anaeróbicos facultativos. Além disso, com a mudança de regime, a injeção de solução contendo bactérias anaeróbicas facultativas poderá ser alternada conforme instruções do fornecedor.

Supõe-se que a entrada de águas pluviais no sistema afeta o tratamento, porém não foi possível isolar esse evento para análises mais acuradas. Seria necessário coletar amostras durante dias com a mesma característica de produção, de preferência seguidos, e com variação nas condições climáticas.

Conclui-se que os resultados de substituição da lenha na caldeira foram baixos para se dar continuidade à análise de viabilidade técnico-econômica, considerando-se a eficiência atual do tratamento na lagoa anaeróbia. Todavia, aumentando-se a eficiência de remoção de DQO da lagoa para 70%, padrão encontrado na literatura, estima-se um acréscimo em 26% na produção de biogás, resultando em economia de R\$8.070 na substituição de lenha, o que deixaria o projeto economicamente mais interessante para dar continuidade ao estudo.

A utilização do biogás na caldeira pode economizar 142 m<sup>3</sup> de lenha por ano, o que traz benefícios ambientais, evitando o corte de aproximadamente 47 árvores de eucalipto anualmente. Essa medida também pode ser aproveitada para propaganda da marca com “marketing verde”.

Considerando o estudo realizado e o levantamento do potencial energético do biogás para utilização na caldeira e em gerador de energia, conclui-se que a geração de energia elétrica parece, a princípio, mais vantajosa para a indústria. Foi visto que o potencial do biogás formado seria suficiente para suprir o consumo do diesel utilizado em 100% e suprir até 91,2% do consumo de energia da concessionária no horário de ponta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANP – Agência Nacional de Petróleo. Síntese dos Preços Praticados – Blumenau. Disponível em <[http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo\\_Por\\_Municipio\\_Posto.asp](http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Por_Municipio_Posto.asp)>. Acesso em 22 mai. 2017.
2. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods For Examination Of Water And Wastewater. 22 ed. New York: Public Health Association Inc, 2012.
3. CHERNICHARO, C. A. L. Anaerobic reactors. Belo Horizonte: De-partamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 380 p. (Biological Wastewater Treatment Seri-es, v. 4). Published by IWA Publishing, Alliance House.
4. CABRAL, C. B. Avaliação da produção de biogás para fins energé-ticos em reatores anaeróbios tratando esgoto sanitário. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016. 139 p.
5. INTECH. Licenciamento Ambiental de Operação – Cia Hemmer Indústria e Comércio – Projeto de Tratamento de Efluentes. 1993. 45 p. Florianópolis/SC.
6. METCALF; EDDY. Waste water engineering: treatment, disposal and reuse. 4. ed. rev. New York: McGraw-Hill, 2003. 1819 p.
7. OLIVEIRA, R. D. Geração de energia elétrica a partir de biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouros e as possibilidades no mercado de carbono. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade de São Car-los, 2009.
8. PROBIOGAS. Guia técnico ambiental de biogás na agroindústria. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais, Cooperação Alemã para o De-senvolvimento Sustentável (GIZ), 2015a. 160 p.: il.
9. PROBIOGAS. Avaliação de opções para o tratamento de efluentes da produção de biogás. Brasília: Ministério das Cidades, Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável (GIZ), 2015b. 93 p.
10. ROSS, C. C.; DRAKE, T. J.; WALSH, J. L. Handbook of biogas utilization. 2ª ed. Atlanta: U.S. Department of Energy, 1996.
11. SILVEIRA, B. et al. Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto. Brasília, DF.: Ministério das Cidades, 2015. 183 p.
12. TSUTYIA, M. T., SOBRINHO, P. A. Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário. Rio de Janeiro: ABES; 2011, 3 ed. 547 p.
13. VON SPERLING, M. Lagoas de estabilização. Belo Horizonte: De-partamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1996. 134 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v. 3).