

## **ANÁLISE DE SISTEMA DE LODOS ATIVADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA: TRATABILIDADE E MICROFAUNA**

**Ana Carolina Vecchio Reis <sup>1\*</sup>**

**Yasmine Costa Moreira <sup>1</sup>**

**Paula de Oliveira Lima <sup>2</sup>**

**Sue Ellen Costa Bottrel <sup>3</sup>**

**Edgard Henrique de Oliveira Dias <sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Estudante de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora

<sup>2</sup> Gestora da Qualidade, Perfeita Alimentos Ltda

<sup>3</sup> Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Juiz de Fora

\* anavecchio94@gmail.com

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Faculdade de Engenharia, UFJF. Rua José Lourenço Kelmer, s/n, Campus da UFJF. Juiz de Fora, MG. CEP 36.036-330

Perfeita Alimentos Ltda. Rua Hélio Tomás, 155, Bairro Cerâmica. Juiz de Fora, MG. CEP 36.080-320

### **RESUMO**

A necessidade de se adequar às regulamentações ambientais tem levado muitas empresas a buscarem sistemas de tratamento para seus efluentes. Por apresentarem boa eficiência, os sistemas biológicos têm sido bastante empregados no tratamento de águas residuárias. O sistema por lodos ativados é o sistema biológico mais empregado, a nível mundial, no tratamento de efluentes. Apesar de ter capacidade para alcançar quase 100% de eficiência em termos de matéria orgânica biodegradável, este sistema requer controle de operação rigoroso, pois os micro-organismos, responsáveis pela depuração do efluente bruto, são sensíveis a variações de parâmetros operacionais e características do efluente. Nesse sentido, este estudo teve por objetivo analisar a estação de tratamento de efluentes industriais (ETEI), em início de operação, da indústria alimentícia Perfeita Alimentos Ltda, localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Paraibuna, em Juiz de Fora – MG. Foram feitas análises de parâmetros físico-químicos e também da microfauna dos efluentes bruto e tratado e do lodo biológico. Os valores médios encontrados para as eficiências de remoção de DQO e DBO foram 42% e 32%, respectivamente, e a concentração média de SST encontrada no efluente tratado foi de 456 mg/L. Esses resultados não atenderam às condições de lançamentos de efluentes exigidas na regulamentação ambiental cabível e mostraram que o sistema em estudo não está correspondendo ao esperado. Os resultados encontrados para a microfauna revelaram que houve dominância de protozoários ciliados livre natantes. Além disso, calculou-se do Índice Biótico do Lodo (IBL), encontrando IBL igual a 3, que classifica o lodo como instável e o tratamento com depuração biológica e eficiência muito baixas. Os resultados da análise da microfauna corroboraram os resultados encontrados para os parâmetros físico-químicos. Por fim, o trabalho confirmou que a ETEI exige um controle operacional complexo, sendo necessário a continuação de outros estudos para identificar variáveis de controle, como idade do lodo, vazões afluente e efluente, dentre outras.

**Palavras-chave:** Lodos ativados; Indústria de alimentos; Parâmetros físico-químicos; Microfauna.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria alimentícia é destaque em todo cenário mundial e o crescimento de sua atividade faz alerta a preservação ambiental. O grande potencial poluidor dessa indústria, relacionado à intensa geração de resíduos sólidos e/ou líquidos, é alvo de restrições, cada vez mais severas, impostas por regulamentações ambientais. Dessa forma, a busca por tecnologias de tratamento de efluentes industriais é uma preocupação de diversos setores (BENINCÁ, 2012).

O sistema de lodos ativados é um exemplo de tecnologia de tratamento de efluentes urbano e industrial e é o mais empregado quando são necessários baixos requisitos de área e elevada qualidade do efluente final (MILOSKI, 2015). Por se tratar de um sistema biológico, sua operação é delicada e a variação de parâmetros operacionais interfere na microbiota do lodo. A intensa atividade biológica desenvolvida pelo processo é favorecida pela variedade de micro-organismos, e a microbiota existente é um bom indicador da qualidade do efluente e da eficiência do tratamento (BENTO *et al.*, 2005).

Deve-se ter atenção com o início da operação de uma estação de tratamento de efluentes por lodo ativados, principalmente com relação ao lodo biológico. O acompanhamento de suas características físico-químicas e microbiológicas é de extrema importância para subsidiar tomadas de decisões que garantam a eficiência do tratamento (CASTRO, 2011).

Embora encontre-se muitos estudos sobre lodos ativados para o tratamento de esgoto doméstico, ainda há ausência de informações na literatura para efluentes de algumas tipologias de indústrias de alimentos, por exemplo para o setor de panificação.

Dentro desse contexto, esse trabalho envolveu o estudo do processo de lodos ativados implantado em uma indústria de alimentos situada na Bacia Hidrográfica do Rio Paraibuna, no município de Juiz de Fora – MG, que apresenta como principal produto o pão de queijo. Resultados de análises de monitoramento da qualidade do efluente bruto e tratado na Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI) mostraram que a eficiência desejada ainda não está sendo alcançada. Nesse sentido, foram realizadas algumas alterações na ETEI e em seguida foi dado o *re-start* no sistema.

## 2. OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo analisar o período inicial de operação de sistema de lodos ativados da ETEI da indústria alimentícia em questão, a partir do acompanhamento de parâmetros físicos e químicos dos efluentes bruto e tratado, bem como do lodo biológico presente no tanque de aeração. Adicionalmente, a caracterização microbiológica do lodo, através da identificação e quantificação dos grupos dominantes que compõem a sua microfauna, também auxiliou na análise do sistema, uma vez que foi possível obter o Índice Biótico do Lodo (IBL).

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho constituiu no monitoramento da ETEI de uma indústria de alimentos no município de Juiz de Fora – MG em início de operação. A produção média mensal da empresa é de 474 toneladas, sendo o produto principal o pão de queijo. O consumo de água é proveniente da rede pública de abastecimento e também de captação própria (poço artesiano). Em média, 1,05 litro de água é consumido para cada quilograma de produto fabricado.

A ETEI é composta por três tanques de 20.000 L cada. O tratamento se inicia no primeiro deles, que funciona como um tanque de equalização, onde é realizada, quando necessária, a correção do pH pela adição de hidróxido de sódio. O primeiro tanque é dotado de agitador mecânico para evitar a sedimentação de sólidos. O efluente então segue, por gravidade, para o próximo tanque (de aeração), o reator biológico, no qual há um aerador mecânico. Por fim, a terceira etapa ocorre quando o efluente vai para o último tanque, que funciona como um decantador

secundário. Há um sistema de recirculação do lodo e remoção do lodo excedente. Vale ressaltar que o gerenciamento do lodo excedente é feito através de desaguamento mecanizado por meio de um filtro prensa.

As coletas dos efluentes bruto e tratado foram realizadas por um período de três meses, totalizando cinco datas de amostragem. As amostras de duas coletas, com intervalo de um mês entre elas, foram analisadas no Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), enquanto as amostras das outras três coletas, também com um intervalo de aproximadamente um mês entre elas, foram destinadas a um laboratório terceirizado pela indústria alimentícia.

Foi realizada a amostragem simples na entrada do tanque de equalização, para o efluente bruto ( $E_B$ ), e na saída do decantador secundário, para o efluente tratado ( $E_T$ ). Todos os parâmetros foram analisados de acordo com as metodologias propostas no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* - SMEWW (APHA, 2012). A Tabela 1 os apresenta, assim como as respectivas referências metodológicas utilizadas. Os resultados desses parâmetros foram apresentados em gráficos tipo *box-plot* ou diagramas de caixa.

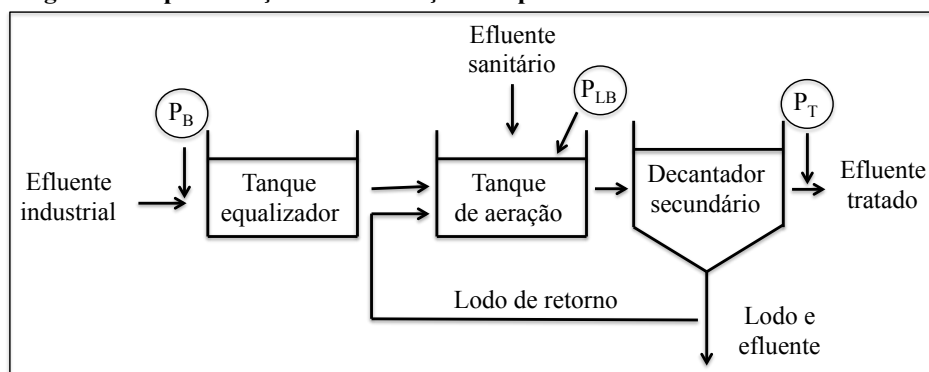
**Tabela 1: Parâmetros analisados em cada amostra.**

| Parâmetro   | Unidade | Código do Método <sup>(*)</sup> |
|-------------|---------|---------------------------------|
| pH          | -       | 4500 – H + B                    |
| Temperatura | °C      | 2550 B                          |
| SST         | mg/L    | 2540 D                          |
| SSed        | mL/L    | 2540 F                          |
| DQO         | mg/L    | 5220 D                          |
| DBO         | mg/L    | 5210B                           |

<sup>(\*)</sup>*Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012)

Além dos efluentes bruto e tratado, foram coletadas amostras do lodo biológico no interior do tanque de aeração para análise do Índice Volumétrico do Lodo (IVL) no LAQUA, segundo metodologia proposta por von Sperling (2016). A Figura 1 apresenta a localização dos pontos nos quais foram coletadas amostras dos efluentes bruto ( $P_B$ ) e tratado ( $P_T$ ) e do lodo biológico ( $P_{LB}$ ).

**Figura 1: Representação da localização dos pontos de coleta na ETEI em estudo.**



De acordo com von Sperling (2016), o volume ocupado por 1g de sólidos totais do lodo após 30 minutos de sedimentação define o IVL. Sendo assim, o IVL representa uma avaliação mais simples da sedimentabilidade do lodo, quando comparado às curvas de sedimentação. A partir do valor do IVL encontrado, foi possível determinar

as características de sedimentabilidade do lodo. Quanto maior o seu valor, ou seja, maior o volume ocupado pelo lodo, pior sua sedimentabilidade (Tabela 2).

**Tabela 2: Interpretação aproximada do resultado do IVL.**

| Sedimentabilidade | IVL (mL/g) |
|-------------------|------------|
| Ótima             | 0 – 50     |
| Boa               | 50 – 100   |
| Média             | 100 – 200  |
| Ruim              | 200 – 300  |
| Péssima           | > 300      |

**Fonte:** Adaptado de von Sperling (2016)

Para a caracterização biológica do lodo presente no tanque de aeração (lodo biológico), foram realizadas coletas em três datas distintas e as amostras foram analisadas no Laboratório de Protozoologia do Instituto de Ciências Biológicas (ICB) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). A observação microscópica do lodo foi feita em primeiro momento com os organismos *in vivo*, sob microscópio Olympus BX51 com contraste interferencial diferencial (DIC). Esta etapa envolveu a caracterização geral da amostra, avaliando a estrutura dos flocos e a diversidade das populações microbianas.

A análise quantitativa foi realizada em câmara de Sedgwick-Rafter. Esta câmara possui formato retangular (50 x 20 mm), com 1 mm de profundidade, área de 1.000 mm<sup>2</sup> e volume útil de 1 mL. Antes de ser colocada na câmara, cada amostra foi homogeneizada e diluída (fator de diluição = 4) em água mineral e 1 mL desta diluição foi então pipetada para preencher lentamente a câmara de quantificação. Então, colocou-se esta câmara em microscópio ótico, no aumento de 20x, e foi feita a contagem de 100 campos distribuídos aleatoriamente na câmara. Para encontrar o número de micro-organismos presentes em 1 mL de amostra, utilizou-se critério proposto pela CETESB (1985), que considera o número de micro-organismos contados na câmara, a sua profundidade, a área de um campo (igual a 1 mm<sup>2</sup>) e o número de campos contados. Tendo posse desses dados, utilizou-se a Equação 1 para calcular o número de micro-organismos:

$$\text{Nº de micro-organismos/mL} = \frac{C \times 1.000\text{mm}^3/\text{mL} \times \text{fator de diluição}}{A \times D \times F}$$

**Equação 1**

Onde:

C = número de micro-organismos contados;

A = área de um campo (mm<sup>2</sup>);

D = profundidade da câmara (mm);

F = número de campos contados.

Seguindo a metodologia proposta por Madoni (1994) e tendo posse do número de micro-organismos por litro, do grupo ou táxon dominante de micro-organismos na amostra, do número de táxons encontrados e da abundância de flagelados, obteve-se o Índice Biótico do Lodo (IBL). Com o IBL e auxílio da Tabela 3, pôde-se estimar em qual classe de qualidade o lodo de cada amostra estava, além de avaliar a eficiência do tratamento.

**Tabela 3: Conversão do IBL em quatro classes de qualidade do lodo e respectivas eficiências do tratamento.**

| Valor do IBL | Classe | Características                                                                       |
|--------------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 8 – 10       | I      | Sistema muito bem colonizado com excelente atividade biológica, excelente eficiência. |
| 6 – 7        | II     | Lodo estável e bem colonizado, atividade biológica em declínio e boa eficiência.      |
| 4 – 5        | III    | Insuficiente depuração biológica no tanque de aeração e eficiência média.             |
| 0 – 3        | IV     | Fraca depuração biológica no tanque de aeração e eficiência muito baixa.              |

Fonte: Adaptado de Madoni (1994).

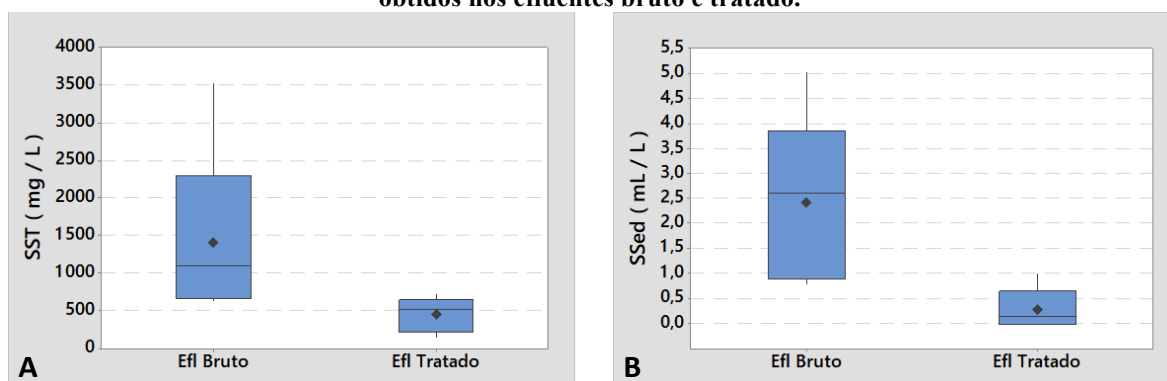
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. EFLUENTES BRUTO E TRATADO

Os resultados obtidos para o parâmetro pH no efluente bruto variaram entre 6,90 e 7,80, com valor médio igual a 7,30. Esses valores mostram que o efluente da indústria alimentícia está próximo da neutralidade. O efluente tratado também, sendo o valor mínimo de 6,70 e o máximo de 7,77, resultando em uma média de 7,40. Com relação à temperatura, para o efluente bruto os valores variaram entre 18,2°C e 22,4°C, com média igual a 20,5°C, e para o efluente tratado a média foi de 22,4°C, com mínima de 18,6°C e máxima de 24,4°C.

As concentrações dos sólidos em suspensão totais (SST; Figura 2.A) e dos sólidos sedimentáveis (SSed; Figura 2.B) dos efluentes bruto e tratado estão apresentadas na Figura 2. A concentração média encontrada de SST no efluente bruto foi de 1.409 mg/L, o que indica uma concentração elevada, pois se aproxima daquela encontrada em abatedouros (1.515 mg/L), considerada uma das indústrias com maior potencial poluidor (YANO e GOMES, 2013). Para o efluente tratado, a concentração média de SST foi de 456 mg/L, o que resultou em uma remoção média de 68%. De acordo com a Deliberação Normativa conjunta COPAM/CERH-MG n.º 01, de 5 de maio de 2008 (MINAS GERAIS, 2008), na qual firma-se a concentração de até 100 mg/L de SST para lançamento de efluentes em corpos hídrico, as concentrações de SST do efluente tratado não atenderam ao padrão normativo em nenhuma das amostras analisadas.

**Figura 2: Diagramas de caixa dos valores de sólidos suspensos totais (A) e sólidos sedimentáveis (B) obtidos nos efluentes bruto e tratado.**



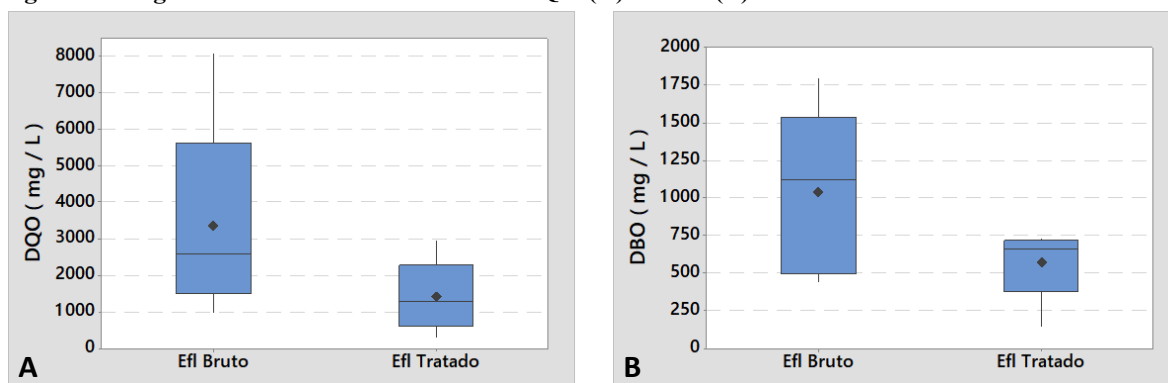
Pode-se observar uma variação considerável nos teores de SSed no efluente bruto, com concentração mínima de 0,8 mL/L e máxima de 5,0 mL/L. Esse fato mostra que a característica do efluente industrial pode variar ao

longo do tempo e ainda que a chegada desses sólidos ao primeiro tanque pode estar afetando a capacidade volumétrica deste.

Em termos dos parâmetros DQO (Figura 3.A) e DBO (Figura 3.B), pode-se observar que houve melhora da qualidade do efluente após o tratamento (Figura 3). A eficiência de remoção média de DQO foi de 42%, o que é abaixo do esperado para este tipo de tratamento, que pode chegar a 90% para efluentes domésticos (von SPERLING, 2016). No caso da remoção de DBO, a eficiência de remoção média foi de 32%, também aquém da eficiência capaz de se atingir em sistemas de lodos ativados tratando esgotos municipais (von SPERLING, 2016).

A DBO média encontrada no efluente tratado foi igual a 572 mg/L. Tal valor apresenta-se bem acima do padrão de lançamento disposto na DN COPAM/CERH-MG n.º 01/2008 (MINAS GERAIS, 2008): até 60 mg/L ou eficiência de remoção mínima de 75% e média anual igual ou superior a 85%. A elevada variação da DBO no efluente bruto, no qual foram encontradas concentrações mínima e máxima de 550 mg/L e 1.787 mg/L, respectivamente, pode ser uma causa para a elevada concentração de DBO no efluente tratado. Outras suposições, como o desbalanceamento de nutrientes e a inibição por substâncias tóxicas, a exemplo do cloro utilizado na higienização de equipamentos e assoalho da indústria, podem também estar associadas à baixa eficiência de remoção média encontrada (von SPERLING, 2016).

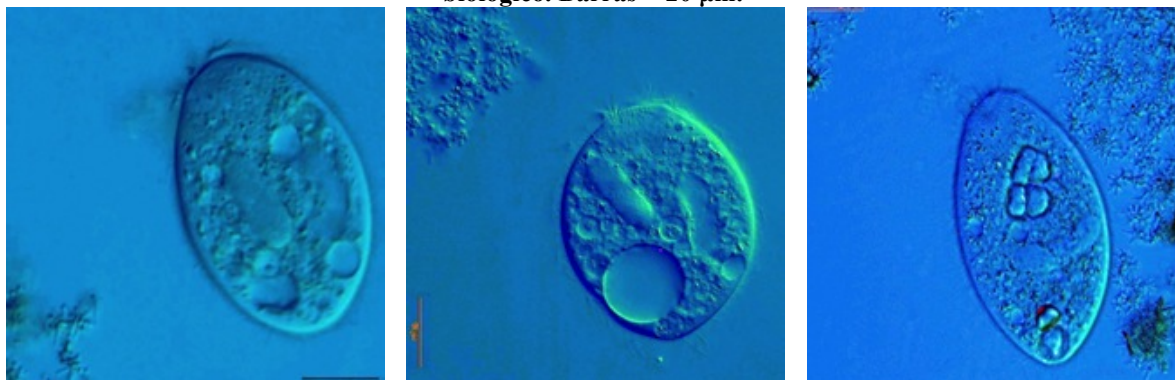
**Figura 3: Diagramas de caixas dos valores de DQO (A) e DBO (B) obtidos nos efluentes bruto e tratado.**



#### 4.2. LODO BIOLÓGICO

Durante a caracterização do lodo biológico da ETEI monitorada, foram identificados alguns micro-organismos, como protozoários ciliados livre natantes e ciliados sésseis, tecamebas, nematóides e rotíferos. Ao todo, 8 táxons foram encontrados no lodo biológico. Os ciliados livre natantes (Figura 4) foram, dentre os grupos que compõem a microfauna do lodo biológico, os organismos mais frequentes durante o estudo. Em duas das três amostras coletadas, eles corresponderam a aproximadamente 55% e 58% dos organismos observados em relação à comunidade.

**Figura 4: Fotomicrografias *in vivo* de protozoários livre natantes ciliados encontrados no lodo biológico. Barras = 20  $\mu$ m.**



A Tabela 4 apresenta os resultados da análise quantitativa, na qual foi calculada a densidade dos grupos (nº de indivíduos/L) em cada amostra observada. Baseado na microfauna encontrada nas amostras de lodo biológico da ETEI monitorada, pôde-se obter o Índice Biótico do Lodo (IBL). O grupo dominante encontrado foi o dos ciliados livre natantes e sua densidade foi menor do que  $10^6$  indivíduos/L. Ao todo, foram encontrados 8 táxons e, apesar de não ter sido calculada a abundância de flagelados, determinou-se que esta seria menor que 10 indivíduos/L, uma vez que não se encontrou um número considerável de organismos desse grupo. Com essas afirmações, e seguindo a metodologia proposta por Madoni (1994), o IBL obtido foi igual a 3, que corresponde à classe IV (Tabela 3), onde o lodo é considerado instável, e o tratamento com depuração biológica muito baixa no tanque de aeração e eficiência muito baixa (MADONI, 1994). Tal fator corrobora as baixas eficiências de remoção de matéria orgânica observadas no presente trabalho.

**Tabela 4: Densidades dos grupos componentes da microfauna presente no lodo biológico (LB).**

| Reino    | Grupo      | Densidade (indivíduos /L) |                   |
|----------|------------|---------------------------|-------------------|
|          |            | 1º dia                    | 2º dia            |
| Protozoa | Flagelados | -                         | -                 |
|          | Tecamebas  | $5,2 \times 10^5$         | $4,4 \times 10^5$ |
|          | Ciliados   | $8 \times 10^5$           | $6 \times 10^5$   |
| Animalia | Rotíferos  | $8 \times 10^4$           | -                 |
|          | Nematóides | $4 \times 10^4$           | -                 |

## 5. CONCLUSÕES

A ETEI da indústria de alimentos em questão ainda não alcançou a eficiência de tratamento desejada, o que resultou em lançamentos de efluentes com concentração de DBO de até 1.787 mg/L. A fim de controlar essa variação, algumas medidas podem ser implantadas, como o aumento da idade do lodo e da biomassa, a partir da redução da vazão de descarte de lodo excedente e a utilização do primeiro tanque como equalizador (von SPERLING, 2016).

Com relação às análises quantitativa e qualitativa da microfauna do lodo biológico, a dominância de ciliados livre natantes indicam uma produção de efluente tratado de má qualidade e pode estar relacionada à fase inicial de operação da ETEI, na qual o lodo biológico encontra-se instável, gerando um sistema com eficiência muito baixa. O valor do IBL encontrado igual a 3 corrobora a má qualidade do lodo e as baixas eficiências do tratamento observadas. A concentração média de DBO encontrada no efluente tratado, que mostrou-se acima do padrão de



lançamento disposto na DN COPAM/CERH-MG n.º 01/2008 (MINAS GERAIS, 2008), subsidia a existência de relação entre as características microbiológicas do lodo biológico e as físico-químicas do efluente tratado.

Cabe ressaltar também que o estudo realizado sobre a microfauna mostrou a importância de haver o monitoramento desta variável, uma vez que os organismos componentes refletem as condições de depuração do sistema. O presente estudo alerta sobre a necessidade de se ter treinamentos em microbiologia de lodos ativados destinados à capacitação de profissionais responsáveis pela manutenção desses sistemas.

Por fim, o estudo feito na ETEI da indústria de alimentos confirma que o sistema de tratamento de efluentes por lodos ativados exige um controle operacional complexo, no qual a variabilidade das características do afluente dificulta a sua implementação. Assim, acredita-se que o trabalho contribuiu para o levantamento de tais questões no estudo de caso realizado, subsidiando tomadas de decisões em etapas futuras no que diz respeito a alterações no processo de tratamento e operação da ETEI com o intuito de otimizar o tratamento dos efluentes. Porém, sugere-se em trabalhos futuros a verificação de relação entre as concentrações de nutrientes e matéria orgânica no efluente bruto, bem como estudos sobre a viabilidade de inoculação de lodo biológico na etapa de *start* ou *re-start* de lodos ativados tratando efluentes de indústrias alimentícias.

## 6. AGRADECIMENTO

À Perfeita Alimentos Ltda., por abrir suas portas e oferecer a sua ETEI como objeto de estudo para esse trabalho. Ao Laboratório de Protozoologia do Instituto de Ciências Biológicas (ICB) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), em especial ao professor Roberto Júnio Dias, por toda disponibilidade. À técnica Iramaia pela ajuda e pelo apoio em todos os momentos. Aos professores Edgard Dias e Sue Ellen Bottrel, pela paciência e pelos ensinamentos. Às colegas, Paula Lima e Yasmine Moreira, por todo apoio.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20 ed. Washington: APHA, 2012, 1496p.

BENINCÁ, C. *Degradação do corante alimentício Ponceau 4R e tratamento de efluente de uma indústria de alimentos utilizando processos oxidativos avançados*. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná, PR, 2012.

BENTO, A. P. et al. Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.10, n.4, p. 329 – 338, out/dez, 2005.

CASTRO, A. D. J.; PINHEIRO, A.; GINORIS, Y. P. Aplicação do Método de Soluções de Problemas (PDCA) em um sistema de tratamento de efluentes de indústria frigorífica de aves. *Ami-Água*, v.6, n.3, p. 221-238, 2011.

CETESB – Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Manual Técnico da Microbiologia para Sistemas de Lodos Ativados Operando com Esgoto Doméstico*. 43 p. São Paulo, SP, 1985.

MADONI, P. A Sludge Biotic Index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analysis. *Water Resources*, v.28, n.1, p. 67-75, 1994.

MILOSKI, J. *Caracterização da microbiota envolvida nos processos anaeróbios (lodos ativados) e anaeróbios (UASB) de uma Indústria de alimentos*. Dissertação de mestrado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, RJ, 2015.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Executivo*, Belo Horizonte, 2008.





von SPERLING, M. *Princípios de tratamento de águas residuárias: Lodos Ativados*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 4. ed. rev. e ampl. – Belo Horizonte, MG, 2016.

YANO, A. A.; GOMES, L. A. Uso de cloro no controle de bactérias filamentosas em lodos ativados de indústria frigorífica. *Ami-Água*, v.8, n.2, p. 146-156, 2013.