



UNIRIO

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Instituto de Biociências

Índices de Qualidade para avaliação do tratamento biológico em Estações de
Tratamento de Esgotos com co-tratamento de chorume

Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos, à obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Orientadora: Elisabete F. A. Palermo

Rio de Janeiro

2019

FARIAS, Danielle Vicente de

**ÍNDICES DE QUALIDADE PARA AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO BIOLÓGICO
EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS COM CO-TRATAMENTO DE
CHORUME – 2019 36f**

Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso

Orientadora: Elisabete F. A. Palermo

1- IQTA 2- Lodos ativados 3- Chorume

I. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

II. Índices de Qualidade para avaliação do tratamento biológico em Estações de
Tratamento de Esgotos com co-tratamento de Chorume

Danielle Vicente de Farias

ÍNDICES DE QUALIDADE PARA AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO BIOLÓGICO
EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS COM CO-TRATAMENTO DE
CHORUME

Monografia do Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Instituto de Biociências da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos, à obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Aprovada em (23/07/2019)

(Elisabete F. A. Palermo, Doutora em Ciências Biológicas (Biofísica) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, Professora Adjunta da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil)

(Rafael da Rocha Fortes, Doutor em Biociências Nucleares - Ecologia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, pesquisador e docente da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil)

(Cristiane Juliano Mathias, Doutora em Bioquímica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e Analista da Qualidade da Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro)

AGRADECIMENTOS

Agradeço e dedico esta dissertação, primeiramente à minha fé, que permitiu que mesmo com problemas graves de saúde eu me reerguesse para concluir esse ciclo.

Agradeço à minha família, e às amigas Ana Carla Martins, Catarina Rebello e Cristiane Mathias pelo apoio nos momentos em que mais precisei nesta jornada.

Agradeço em especial aos professores e orientadores Carlos Augusto Figueiredo e Elisabete Palermo pela atenção e pronta disponibilidade para me ajudar e orientar.

RESUMO

A produção de resíduos sólidos urbanos e sua dificuldade de gerenciamento são grandes consequências das atividades industriais intensivas, domésticas e agrícolas, e principalmente do crescimento populacional. Nos aterros sanitários, um produto da deposição dos resíduos sólidos é o chorume: um lixiviado gerado pela degradação e que contém alta carga orgânica poluidora, requerendo então, tratamento adequado. O objetivo principal deste trabalho foi avaliar o desempenho de um sistema de lodos ativados de uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETEs) com co-tratamento de chorume, já que é sabido que este tratamento convencional não remove macrocompostos, como por exemplo hormônios, e metais pesados presentes no chorume. Utilizaram-se fontes secundárias, como artigos publicados, legislações e normas técnicas, e resultados físico-químicos e biológicos. O trabalho avalia a eficiência da implementação de índices de qualidade relativos a esta etapa do tratamento, através do Índice de Qualidade do Tanque de Aeração (IQTA). Com este estudo pode-se observar que a predominância de resultados médios de IQTA, que corresponde à uma atividade biológica decrescente, podem ter influência do envio de chorume altamente tóxico para a ETE. Observou-se também que a implementação do IQTA otimizou a visualização e interpretação dos resultados analíticos pelo setor operacional, possibilitando tomadas de decisões mais ágeis para uma possível correção do processo.

Palavras-chave: IQTA, Lodos ativados, Chorume.

ABSTRACT

The production of solid urban waste and its management difficulty are large consequences of intensive industrial, domestic and agricultural activities, and population growth. In landfills, a product of the deposition of solid waste is the leachate: a leachate generated by the degradation and contains high polluting organic load, thus requiring adequate treatment. The main objective of this work was to evaluate the performance of an activated sludge system of a Sewage Treatment Station (ETEs) with slurry co-treatment, however, the Conventional treatment of these does not remove macro compounds, such as hormones, and heavy metals present in slurry. Secondary sources were used, such as published articles, laws and technical standards, and physicochemical and biological. Other objective of this study was to evaluate the efficiency of the quality indexes related to this stage of treatment, through the Quality Index of the Aeration Tank (IQTA). With this study it can be observed that the prevalence of IQTA mean results, which corresponds to a decreasing biological activity, may have influence of the sending of highly toxic slurry to the ETE. It was also observed that the implementation of IQTA optimized visualization and interpretation of the analytical results by the operational sector, enabling more agile decision making for a possible correction of the process.

Keywords: IQTA, activated sludge, slurry.

LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

Figura 1. Fluxograma do tratamento de uma Estação de Tratamento de Esgotos. (Adaptado Von Sperling, 2001).....	16
Figura 2. Estrutura de floco em dois níveis: microestrutura e macroestrutura.....	18
Figura 3: Conceito x Microfauna.....	27
Figura 4: Conceito x Oxigênio Dissolvido (mg/L)	28
Figura 5: Conceito x Sólidos em Suspensão Voláteis (mg/L)	28
Figura 6: Conceito x pH	29
Figura 7: Gráfico obtido, mostrando as cinco faixas de IQTA	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Desempenho do processo em sistemas de lodo ativados, indicado por grupos dominantes de micro-organismos (Adaptado CETESB, 2012).....	19
Tabela 2. Micro-organismos indicadores de boas condições de depuração (Adaptado CETESB, 2012).....	20
Tabela 3: Conversão dos valores de IBL em quatro classes de qualidade e seus respectivos diagnósticos. (Adaptado de Madoni, 2004).....	23
Tabela 4. Desempenho do tanque de aeração considerando o valor do IQTA obtido.....	25
Tabela 5: Tabela de pesos definidos em conformidade com setor operacional.....	27
Tabela 6: Exemplo de cálculo para o IQTA	29
Tabela 7: Atributos estatísticos para as variáveis avaliadas no IQTA.....	30

SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT.....	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE.....	Estação de Tratamento de Esgotos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBL.....	Índice Biótico do lodo
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IQA.....	Índice de Qualidade de Água
IQTA.....	Índice de Qualidade do Tanque de Aeração
NBR.....	Norma Brasileira
OD.....	Oxigênio Dissolvido
PNRS.....	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNSB	Pesquisa Nacional do Saneamento Básico
SSV.....	Sólidos em Suspensão Voláteis
TDH.....	Tempo de Detenção Hidráulica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Revisão da literatura.....	13
1.1.1 Resíduos Sólidos	13
1.1.2 Aterros sanitários.....	13
1.1.3 Caracterização do chorume	14
1.1.4 Estação de Tratamento de Esgotos.....	15
1.1.5 Sistemas de lodos ativados	17
1.1.6 Índices de Qualidade de Tanque de Aeração.....	21
2 OBJETIVOS	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1 Avaliação dos resultados analíticos	27
5 CONCLUSÕES.....	34
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional e a elevada geração de esgotos domésticos existe uma importante preocupação quanto ao tratamento e à sua destinação, as suas consequências sobre o meio ambiente, à qualidade das águas, e seus usos benéficos. Sendo assim, os estudos, critérios e projetos relativos ao tratamento e disposição final dos esgotos devem garantir a melhoria dos usos e qualidade dos corpos receptores (JORDÃO & PESSOA, 2011).

Uma maneira de evitar o lançamento de esgoto doméstico diretamente em rios, contribuindo para a poluição do meio ambiente e evitar seus danos é através de sistemas de tratamento. Um dos principais e frequentes sistemas utilizados em tratamento de esgotos é o tratamento biológico de lodos ativados, em que vários organismos interagem entre si, formando o lodo biológico e degradando matéria orgânica.

A produção de resíduos sólidos urbanos e sua dificuldade de gerenciamento são também grandes consequências das atividades industriais intensivas, domésticas e agrícolas, e principalmente do crescimento populacional. A disposição indevida desses resíduos como plástico, papel, vidro e materiais orgânicos, pode causar além de degradação ao meio ambiente, como a contaminação do solo e corpos hídricos, um grande impacto na saúde pública, favorecendo a proliferação de doenças, e a salubridade do ambiente habitado.

Os mais recentes dados de 2008 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), disponíveis na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), apontavam que 99,96% dos municípios brasileiros têm serviços de manejo de resíduos sólidos, 22,54% dos municípios destinavam seus resíduos para aterros controlados; 27,68% depositavam em aterros sanitários; e 50,75% ainda recorriam a vazadouros a céu aberto, os lixões, onde frequentemente inúmeras pessoas trabalhavam como catadores em condições precárias e insalubres.

Segundo o Diagnóstico de Resíduos Sólidos do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), o lixo gerado em aterro é constituído por: 60% de matéria orgânica, 15% de papel, 8% de plástico, 2% de metal, 2% de vidro e 13% de outros materiais, como folhas e entulhos.

Diferente dos vazadouros a céu aberto que são dispostos sem nenhuma impermeabilização ou drenagem, os aterros exigem maiores áreas, têm um custo operacional mais elevado, e apesar de ainda oferecerem riscos de poluição ao solo e águas

subterrâneas, ainda assim causam menos impacto à saúde pública e ao meio ambiente. Os aterros controlados preveem apenas cobrir os resíduos sólidos com uma camada de terra ou outro material de forração, sem o tratamento de efluentes. Esse sistema de deposição de resíduos reduz a presença de insetos e outros vetores transmissores de doenças (SPILLMANN, 2010).

No aterro sanitário o solo é impermeabilizado, há sistemas de drenagem para líquidos e gases produzidos. Os resíduos são cobertos com terra e, em seguida, compactados. Como nos aterros controlados e vazadouros a céu aberto não há impermeabilização, as substâncias resultantes da degradação dos resíduos infiltram o solo, podendo atingir águas subterrâneas, em que os contaminantes poderão persistir por vários anos após o encerramento das atividades do aterro (RIGUETTI, 2015).

Nos aterros sanitários, um produto da deposição de resíduos sólidos é o chorume, que segundo a definição da NBR 8419 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos é um líquido produzido pela decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos, que tem como características a cor escura, o mau cheiro, a elevada DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) (ABNT, 1992), e a elevada carga poluidora, requerendo tratamento adequado.

Com o requerimento da extinção de lixões e a criação de novos aterros sanitários, previsto na Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 – também conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) houve uma grande demanda de tratamento de chorume, e uma alternativa que se tornou viável foi seu co-tratamento deste em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), partindo da premissa da diluição da elevada concentração de matéria orgânica e compostos inorgânicos (HAMADA *et al.*, 2004). Porém, a capacidade metabólica dos micro-organismos degradarem substâncias tóxicas é limitada e o tratamento convencional de uma ETE não foi condicionado para remover a concentração de determinados contaminantes, compostos recalcitrantes e, especialmente, metais pesados do chorume. Deve-se considerar que a qualidade do efluente obtido numa Estação de Tratamento de Esgotos operada pelo processo de tratamento por lodos ativados depende, dentre outros fatores, da qualidade da microbiota presente no lodo ativado e da eficiência de remoção da matéria orgânica no tanque de aeração.

1.1 Revisão da literatura

1.1.1 Resíduos Sólidos

Segundo o Artigo 7º da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, um dos objetivos da PNRS é o tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; a adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais; e a redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos.

Segundo o parágrafo único do artigo 13 Lei Nº 12.305, podem ser considerados como resíduos sólidos, os domiciliares originários de atividades domésticas, os resíduos de limpeza urbana, os resíduos de estabelecimentos comerciais e por prestadores de serviços, resíduos industriais gerados nos processos produtivos e instalações industriais, e por fim, os resíduos gerados nos serviços de saúde e os resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Quanto à periculosidade, o mesmo artigo define como resíduo perigoso aqueles que apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental de acordo com leis, regulamentos e normas, ou seja, aqueles com características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade. Como anteriormente mencionado, os não enquadrados em resíduos perigosos, são definidos como não perigosos pela Lei 12.305/10.

A Norma Brasileira NBR 10.004 - Classificação de resíduos sólidos define resíduos sólidos ou semissólidos como aqueles que “resultam da atividade da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição” (NBR 10.004, 2004). Os resíduos podem ser divididos em duas classes: a Classe I, designada para os resíduos perigosos, e a Classe II de resíduos não perigosos, subclassificada em IIA (resíduos não inertes) e IIB (resíduos inertes).

1.1.2 Aterros sanitários

A NBR 8419 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos da ABNT define que aterro sanitário é: “uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos sem causar danos à saúde pública e à segurança, minimizando os

impactos ambientais. Este método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se for necessário”. A disposição final de resíduos sólidos em aterros está sob a responsabilidade do poder municipal.

O aterro sanitário produz, a partir da decomposição da matéria orgânica, reações químicas e biológicas, dióxido de carbono, H₂ e acetato, responsáveis pela produção de metano pelas bactérias metanogênicas; os lixiviados, e resíduos mineralizados. O aterro sanitário é o local onde são destinados resíduos não perigosos de classe IIA e IIB. Entretanto, sendo a velocidade de produção de resíduos pela população e suas atividades, maior que a sua degradação, há a necessidade de espaço cada vez maior para comportar os rejeitos. A cada camada de resíduo depositado é produzido gás e percolato o chorume, que se acumula no fundo das câmaras formadas.

Para Rigueti, uma problemática dos aterros sanitários é o destino do chorume coletado, pois é um efluente altamente tóxico. Normalmente, o chorume sofre recirculação no próprio aterro, processo que reduz a quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos, ou é enviado para Estações de Tratamento de Esgotos. Esse co-tratamento, porém, não é eficiente para chorume maduro, que apresenta nitrogênio amoniacal e substâncias húmicas de degradação e diferentes metais pesados (RIGUETTI *et al.*, 2015).

No Rio de Janeiro, um relatório do Tribunal de Contas alerta para o risco de vazamento de chorume no aterro sanitário de Seropédica, na região metropolitana. Uma vez que as lagoas de estabilização do aterro estão com sua capacidade total armazenada devido ao aumento significativo de produção de chorume. A possibilidade de vazamento de chorume, podendo contaminar os lençóis freáticos, é uma das principais razões, para o aumento de envio de chorume bruto para o tratamento em Estações de Tratamento de Esgotos.

1.1.3 Caracterização do chorume

A caracterização físico-química e biológica do chorume é extremamente variável, pois está relacionada a natureza do resíduo sólido, fatores climáticos, tempo de disposição, atividade da microfauna, a idade do aterro, e o índice pluviométrico, uma vez que, em períodos chuvosos, a diluição interfere diretamente nas características do

percolado. O chorume pode conter altas concentrações de sólidos suspensos, compostos orgânicos dissolvidos, ácidos graxos, macrocompostos inorgânicos como cálcio, carbonatos e amônia, e metais pesados, potencialmente tóxicos, oriundos principalmente de pilhas e tintas. A solubilidade do metal no chorume depende do pH e da solubilidade do elemento químico, que aumenta com o decréscimo do pH.

O chorume de aterro novo, com idade menor que 5 anos, possui alta concentração de sólidos dissolvidos e de matéria orgânica (indicadora de poluição), como Demanda Bioquímica de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio (DQO), além de diversos compostos altamente tóxicos. O chorume mais antigo contém uma carga orgânica menor, e é rico em nitrogênio amoniacal. A redução dessa biodegradabilidade se dá pela conversão dos compostos em metano e dióxido de carbono. A maior parte do nitrogênio encontrado no chorume está na forma de amônia, que pode causar numerosos problemas ambientais, como por exemplo, a eutrofização de águas.

1.1.4 Estação de Tratamento de Esgotos

Segundo a NBR 9648 – Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário, o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas deve receber tratamento adequado em sistemas de tratamento separador.

O tratamento de esgotos convencional é classificado em seguintes níveis:

- a) tratamento preliminar;
- b) tratamento primário;
- c) tratamento secundário.

Na figura 1, pode-se observar um fluxograma de tratamento de uma ETE, que se inicia com o tratamento preliminar de gradeamento, que tem a finalidade de reter materiais sólidos grosseiros, tanto orgânicos quanto inorgânicos. A etapa protege as bombas e tubulações do processo. Em seguida, no desarenador, ocorre o processo de sedimentação discreta e gravitacional de materiais como areia, silte, e cascalhos, onde a velocidade de decantação é constante. Os efluentes das caixas de areia seguem para os decantadores primários.

Os sólidos removidos por sedimentação nos decantadores são encaminhados para os adensadores por gravidade, e o efluente primário, através de vertedouros e calha coletora, segue para o tratamento secundário.

O sistema secundário ou biológico de tratamento é composto por tanques de aeração de lodo ativado ou reatores anaeróbios, onde uma alta concentração de flocos microbianos promove a degradação dos compostos; difusores de ar como fonte de oxigênio para a atividade bacteriana; decantadores secundários que separam os flocos microbianos, por sedimentação gravimétrica; e elevatória de recirculação de lodo ativado e de excesso de lodo, onde o lodo sedimentado é recirculado para o tanque de aeração, permitindo que este opere com elevada concentração microbiana. O lodo em excesso é direcionado para estabilização nos digestores e o efluente tratado lançado no corpo receptor.

Segundo a Resolução CONAMA 430/2011 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes e complementa a Resolução 357/2005, são estabelecidos os seguintes padrões de lançamentos:

- a) pH entre 5 e 9;
- b) Temperatura: inferior a 40°C;
- c) Materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff;
- d) Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO 5 dias, 20°C: máximo de 120 mg/L;
- e) Substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg/L; e
- f) Ausência de materiais flutuantes.

O sistema de tratamento da fase sólida é composto principalmente por adensadores por gravidade, digestores anaeróbios, centrífugas para desidratação do lodo digerido e secador térmico.

A primeira etapa de tratamento do lodo é o adensamento, um processo físico de concentração de sólidos no lodo que reduz sua umidade e seu volume, facilitando as etapas seguintes de tratamento. Nos digestores ocorre a estabilização do lodo misto (primário e secundário). O lodo digerido alimenta um tanque de acumulação de lodo, típico da digestão anaeróbia, e deste tanque o lodo segue para as etapas de desidratação e desaguamento na centrifugação, que é um processo de separação sólido/líquido.

A desinfecção ou higienização do lodo é necessária se houver a utilização como fertilizante agrícola, pois o processo de digestão anaeróbia não reduz o nível de patógenos a níveis aceitáveis. Por fim, o lodo centrifugado passará pelo secador térmico antes de ser destinado à destinação final em aterro sanitário.

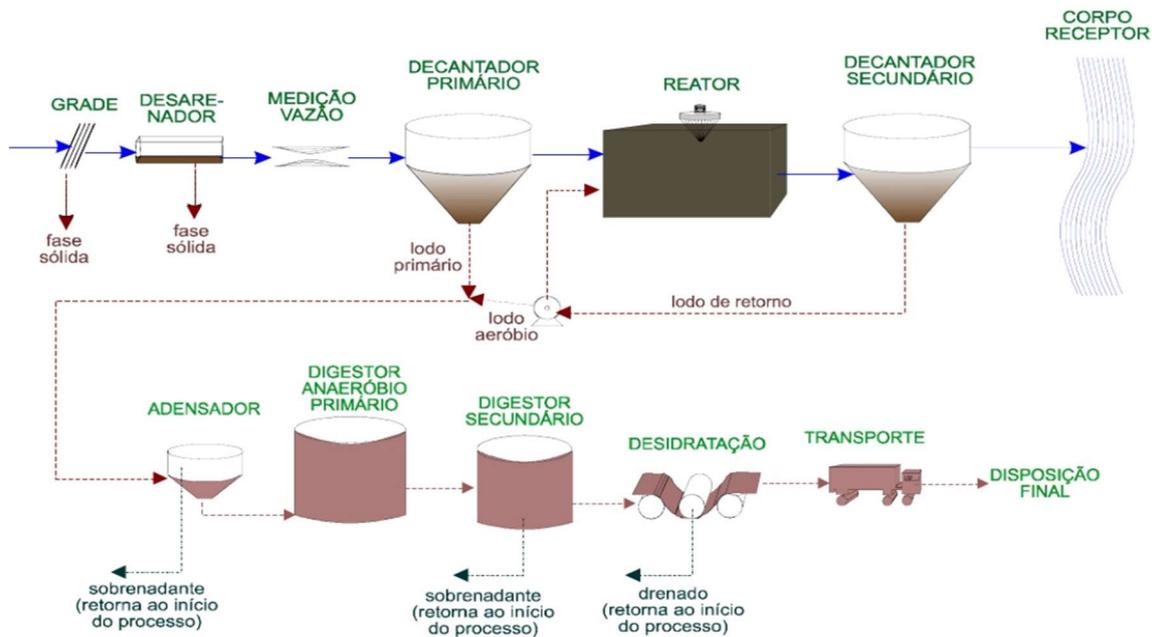


Figura 1. Fluxograma do tratamento de uma Estação de Tratamento de Esgotos. (Adaptado Von Sperling, 2001).

1.1.5 Sistemas de lodos ativados

Segundo CETESB (2012), o processo de lodos ativados é constituído por um tanque de aeração e uma unidade de separação dos sólidos, como por exemplo decantadores de gravidade zonal ou de massa. No tanque de aeração ocorre floculação e oxidação através de aeração artificial, para intensificar as atividades metabólicas das bactérias. O efluente pré-decantado e o lodo ativado são misturados e aerados nos tanques de aeração, e seguem para posterior separação em decantadores por sedimentação. A floculação facilita a separação da biomassa do efluente tratado, e o seu excesso retorna para o tanque de aeração ou para a etapa de tratamento de sólidos de uma ETE. Os microrganismos presentes no tanque de aeração degradam a matéria orgânica, que é assimilada como alimento e fonte de energia, através dos processos oxidativos.

Alguns parâmetros importantes para a operação de sistemas aeróbios são:

pH

A faixa ótima para um sistema de lodos ativados está entre pH 6,0 e 8,0. Na literatura é indicado que valores de pH entre 6,5 e 8,5 as bactérias, essenciais para o eficiente tratamento, predominam sobre os fungos; para valores menores que 6,5, os

fungos competem com as bactérias. Já baixos valores de pH causam a desfloculação do lodo e a dominância de micro-organismos filamentosos.

Temperatura

Os sistemas de lodos ativados podem ser conduzidos com temperaturas entre 10 e 40°C, sendo que a temperatura de maior atividade microbiana é 35°C. O aumento da temperatura eleva a atividade biológica até essa faixa de valor ótimo. Para valores acima desta faixa ocorre uma desnaturação térmica das enzimas e a atividade biológica diminui. A cada 10°C de aumento de temperatura, a atividade metabólica duplica até um valor máximo, a partir do qual a célula perde a viabilidade rapidamente.

Nutrientes

Os nutrientes são importantes para a síntese celular. Os principais requeridos são o nitrogênio e o fósforo, fornecidos em excesso em esgotos domésticos. Uma relação DBO:Nitrogênio:Fósforo de 100:5:1 é requerida para obter-se uma boa floculação e estabilização das bactérias no sistema de lodos ativados.

Oxigênio Dissolvido

Para um processo de lodos ativados é recomendada uma concentração de 1 a 4 mg/L de Oxigênio Dissolvido e o mínimo de 0,5 mg de OD/L (VON SPERLING, 2005) para que ele não se torne um parâmetro limitante ao crescimento de micro-organismos. Teores abaixo de 0,8 mg/L por exemplo, começam a formar zonas anóxicas, que afetam negativamente o processo, e favorecem ao intumescimento filamentosos dos lodos ativados. Esse é um dos problemas mais frequentes no processo, sendo chamado também de *bulking* filamentosos, em que bactérias filamentosas, devido à sua relação área/volume alongam-se para fora dos flocos em busca de condições favoráveis de oxigenação para seu crescimento.

O lodo ativado é constituído por fragmentos orgânicos e por diversas bactérias, amebas, fungos, protozoários e micrometazoários. A estrutura do floco é dividida em dois níveis: microestrutura e macroestrutura. A microestrutura é a adesão microbiana e floculação e a macroestrutura é constituída por organismos filamentosos, que formam uma rede dentro dos flocos sobre a qual os micro-organismos aderem (Figura 2). Em equilíbrio, essas bactérias propiciam a formação de grandes flocos e com boa resistência mecânica.



Figura 2. Estrutura de floco em dois níveis: microestrutura e macroestrutura.

O sistema de lodos ativados possui uma população de micro-organismos diversa e característica. As bactérias apresentam-se como livres, formadoras de flocos e filamentosas. As primeiras apresentam elevada turbidez no efluente, e prejudicam o processo de depuração devido a elevada demanda de oxigênio que provocam. As bactérias formadoras de flocos agregam-se em grupos, formando flocos biológicos pesados e bem formados. Já as bactérias filamentosas presentes no interior do floco possuem alta capacidade de consumir matéria orgânica, e com isso, são responsáveis pela produção de um efluente final de boa qualidade.

Os fungos não são encontrados frequentemente em lodos ativados e são tão eficientes quanto as bactérias no que se refere à estabilização da matéria orgânica, mas, devido à sua característica filamentosa, podem levar ao *bulking*, quando em grande número no sistema.

As amebas são células sem parede firme, geralmente não possuem forma definida e a sua ingestão de partículas de alimento por fagocitose é um processo demorado. As amebas se locomovem através de pseudópodes, são organismos lentos (0,5–3 $\mu\text{m}/\text{seg}$) e têm condições de competir com outros micro-organismos somente quando a disponibilidade de alimento é elevada, como por exemplo no início do processo de formação de lodos ativados em uma ETE.

Os protozoários são unicelulares e sua principal função é a clarificação do efluente, podendo ser divididos em grupos como os ciliados e os flagelados.

Os micrometazoários são formados por várias células agrupadas, que formam tecidos que possuem diferentes funções. Este grupo engloba todos os organismos com característica de crescimento lento, capacidade regenerativa, e devido à sua complexidade

de estrutura celular são suscetíveis a variações ambientais. Representantes deste grupo são os rotíferos, nematóides e tardígrades.

Uma análise complementar do processo pode ser feita a partir das tabelas 1 e 2:

Tabela 1. Desempenho do processo em sistemas de lodo ativados, indicado por grupos dominantes de micro-organismos (Adaptado CETESB, 2012).

Grupo predominante	Desempenho
Pequeno flagelados	Fraco
Pequenos ciliados livre natantes	Médio
Grandes ciliados livre natantes	Médio
Ciliados predadores de floco	Bom
Ciliados fixos e predadores de floco	Bom
Ciliados fixos	Decrescendo
Amebas nuas	Muito fraco
Amebas com teca	Bom

Tabela 2. Micro-organismos indicadores de boas condições de depuração (Adaptado CETESB, 2012).

Micro-organismos	Características do processo
Predominância de flagelados e rizópodes (Protozoários)	Lodo jovem, característico de início ou idade do lodo baixa
Predominância de flagelados (Protozoários)	Deficiência de aeração, má depuração e sobrecarga orgânica
Predominância de ciliados pedunculados e livres (Protozoários)	Boas condições de depuração
Predominância de Arcella (Ameba)	Boa depuração
Predominância de Aspidisca (Bactérias predadoras de flocos)	Nitrificação
Predominância de Trachelophyllum (Protozoário - ciliado livre)	Alta idade do lodo
Predominância de Vorticella e baixa concentração de ciliados livres (Protozoários)	Efluente de má qualidade
Predominância de Aeolosoma (Anelídeos)	Excesso de oxigênio dissolvido
Predominância de filamentos (Bactérias)	Intumescimento do lodo ou <i>bulking</i> filamentoso

1.1.6 Índices de Qualidade de Tanque de Aeração

O uso de índices de qualidade é amplamente utilizado como uma ferramenta analítica, tanto para a caracterização de processos quanto para produtos, sendo inclusive, estimulado por normas técnicas, como ABNT NBR ISO 9001 - Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos e ABNT NBR ISO/IEC 17025 - Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração.

A qualidade do efluente obtido numa ETE operada pelo processo de tratamento por lodos ativados depende da qualidade biótica presente no lodo ativado. Na literatura, encontra-se um grande acervo acerca das comunidades presentes nas mais diversas ETEs de lodos ativados em todo o mundo (VAZOLLÉR, 1989; MADONI, 1994; SALVADÓ, 2001), e diversos trabalhos correlacionam os parâmetros operacionais com a microbiota e com a qualidade final do efluente (MADONI, 1994; BENTO, 2005).

Baseando-se em um conceito amplamente utilizado para a qualificação das águas

de um corpo hídrico, o chamado Índice de Qualidade de Água – IQA (CETESB, 2013), foi desenvolvido um novo índice para avaliação do processo ocorrido no sistema de lodos ativados, denominado Índice de Qualidade do Tanque de Aeração – IQTA.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar o desempenho de um sistema de lodos ativados de uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETEs) com co-tratamento de chorume, todavia que o tratamento convencional desta não é capaz de remover macrocompostos, como por exemplo hormônios, e metais pesados presentes no lixiviado do aterro sanitário.

Este trabalho avalia também a aplicabilidade de um índice de qualidade que contemplasse os principais parâmetros a serem observados no sistema de tanques de aeração de uma Estação de Tratamento do Estado do Rio de Janeiro, como a microbiota presente no lodo ativado, as concentrações de oxigênio dissolvido (OD), sólidos em suspensão voláteis (SSV) e pH.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados dados operacionais e analíticos referentes aos meses de janeiro a dezembro de 2018 de uma Estação de grande porte do Rio de Janeiro. A ETE possui tratamento preliminar (grades e caixas de areia), primário (decantadores por gravidade) e biológico por lodos ativados. Ela recebe uma vazão afluyente de 2000 L/s, apresenta uma carga orgânica de 51.948 kg de DBO/d e o Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) é de 12h.

Madoni (1994), em seu trabalho, realizou a correlação entre condições operacionais e a microfauna encontrada nos tanques de aeração de 44 ETEs por lodos ativados, definindo grupos indicadores de boa e má eficiência depurativa dos sistemas. Dentre os indicadores de uma boa depuração (positivos), encontram-se os ciliados predadores de flocos, ciliados fixos e tecamebas, enquanto os indicadores de má depuração (negativos) seriam os pequenos flagelados, os ciliados livre-natantes, *Vorticella microstoma* e *Opercularia* spp. A partir deste estudo, o autor desenvolveu um Índice Biótico do Lodo (IBL) relacionado às características do sistema. A determinação do IBL baseia-se em relações entre os grupos positivos e os negativos, considerando-se a densidade e o número de unidades taxonômicas presentes no tanque de aeração (BENTO, 2005). Os valores do IBL correspondem a uma das 4 classes para a caracterização do lodo e a qualificação do efluente, como visto na tabela 3.

Tabela 3: Conversão dos valores de IBL em quatro classes de qualidade e seus respectivos diagnósticos. (Adaptado de Madoni, 2004).

Valores de IBL	Classe	Diagnóstico
8 – 10	1	Um lodo muito bem colonizado e estável, ótima atividade biológica; alta eficiência depurativa.
6 – 7	2	Um lodo bem colonizado e estável, atividade biológica boa; desempenho bom.
4 – 5	3	Depuração biológica insuficiente no tanque de aeração; desempenho medíocre.
0 – 3	4	Depuração biológica pobre no tanque de aeração; baixo desempenho.

As amostras analisadas no período em estudo eram compostas da mistura dos 4 tanques de aeração, que possuem um retorno de lodo em comum, sendo coletados 100 mL de cada tanque. Para a determinação de microfauna e pH esses volumes foram transformados em uma amostra única contendo 400 mL de lodo ativado.

A determinação de OD foi realizada em campo nos 4 tanques, e a de Sólidos em Suspensão Voláteis (SSV) em laboratório, a partir de amostras de cada tanque de aeração.

As medidas da concentração de oxigênio dissolvido foram realizadas em campo, com o oxímetro modelo HQ30d, marca Hach, segundo método eletrométrico 4500-O G da APHA (2017), que mede a pressão parcial do oxigênio na amostra, através de uma célula polarográfica. Foram medidos ODs em cada câmara de aeração dos quatro tanques existentes, sendo, posteriormente, obtida uma média global a ser considerada para a avaliação do IQTA.

As medidas de pH foram realizadas em laboratório a partir de análise da mistura dos 4 tanques, em medidor multiparâmetro HQ430d, marca Hach, segundo método normalizado 4500-H⁺ B d. O método eletrométrico de determinação é composto por um eletrodo conectado ao equipamento, que permite a conversão do valor de potencial do eletrodo em unidades de pH.

As análises para a obtenção das concentrações de Sólidos em Suspensão Voláteis foram realizadas de acordo com o método gravimétrico 2540 E em que a concentração de sólidos é quantificada através de filtração, secagem, e calcinação da amostra retida no filtro. Para esse parâmetro, também foi obtida uma média global, enquadrada de acordo com o projeto para o sistema de lodos ativados da ETE.

As análises microbiológicas foram realizadas em microscópio óptico com contraste de fase, modelo Axiolab, da marca ZEISS. As análises qualitativas se deram através de lâmina e lamínula, enquanto as quantitativas foram efetuadas em câmara de Sedgewick-Rafter. Os organismos foram identificados até o grau de gênero, sempre que possível, e classificados de acordo com os seguintes grupos morfológico-funcionais: ciliados predadores de floco, ciliados sésseis, ciliados livre-natantes, tecamebas, flagelados e micrometazoários. Após isso, procedeu-se à verificação do IBL de Madoni, um dos fatores em que se baseia o estudo do IQTA.

O valor do IQTA é determinado como o produtório ponderado da qualidade das variáveis selecionadas elevadas aos seus respectivos pesos, segundo a equação 1:

$$IQTA = \prod_{i=1}^n q_i^{wi} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

IQTA: Índice de Qualidade do Tanque de Aeração;

n: Número de variáveis que entram no cálculo do índice

q_i : Qualidade do parâmetro selecionada, obtida pela curva específica de conceito (0 a 100);

w_i : Peso atribuído ao parâmetro em função de sua importância na qualidade (entre 0 e 1).

Os limites numéricos de IQTA podem ir de zero a 100, onde baixos valores indicam má qualidade e valores altos expressam boa qualidade.

O conceito de cada parâmetro (q_i) foi obtido por meio da curva de critérios de pontuação, sendo que, para cada resultado analítico, foi gerado um conceito correspondente. Essa curva foi elaborada considerando-se os resultados obtidos em laboratório e em campo. O conceito e o peso relativo (w_i) de cada parâmetro foram definidos em conformidade com o setor operacional e com a literatura.

Se por acaso, um dos resultados de algum dos parâmetros não estiver disponível, o cálculo do IQTA é inviabilizado.

Foram consideradas cinco faixas para índices de qualidade do tanque de aeração, demarcadas por cores para melhor visualização do desempenho, conforme visto na tabela 4.

Tabela 4: Desempenho do tanque de aeração considerando o valor do IQTA obtido.

$90 \leq \text{IQTA} \leq 100$	DESEMPENHO EXCELENTE - ALTA EFICIÊNCIA DEPURATIVA
$70 \leq \text{IQTA} < 90$	DESEMPENHO BOM - ATIVIDADE BIOLÓGICA EM BOAS CONDIÇÕES
$40 \leq \text{IQTA} < 70$	DESEMPENHO MÉDIO - ATIVIDADE BIOLÓGICA DECRESCENTE
$20 \leq \text{IQTA} < 40$	DESEMPENHO FRACO - NECESSIDADE DE AÇÕES CORRETIVAS
$0 \leq \text{IQTA} < 20$	DESEMPENHO RUIM - DEPURAÇÃO BIOLÓGICA POBRE

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação dos resultados analíticos

Os resultados utilizados para a avaliação do desempenho do tanque de aeração e a aplicabilidade de um índice de qualidade foram gerados a partir de ensaios realizados em campo ou em laboratório, totalizando 68 amostras para os parâmetros Microfauna, Oxigênio Dissolvido, Sólidos em Suspensão Voláteis e pH.

A partir dos resultados obtidos observou-se que em apenas um dia o Oxigênio Dissolvido, com 5,65 mg/L, ultrapassou o valor recomendado para um processo de lodos ativados (1–4 mg/L). Resultados maiores que o desejável apresentam custos para o processo. Recomenda-se desligar um dos difusores, no variador de frequência, para diminuir a concentração de OD.

No período de monitoramento observou-se que no mesmo dia uma baixa concentração de Sólidos em Suspensão foi encontrada, 1409 mg/L. Uma possível razão é o elevado OD propiciar a oxidação da matéria volátil. Os Sólidos em Suspensão Voláteis variam de acordo com o projeto elaborado por engenheiro calculista, sendo normalmente encontrados valores próximos de 3000 mg/L em sistemas de lodos ativados convencionais. Valores abaixo são comumente encontrados em dias chuvosos e quando acima deve-se atuar na vazão de recirculação e descarte.

Os resultados de pH apresentaram valores constantes no período em estudo, não ultrapassando o valor ótimo recomendado para sistemas de lodos ativados, com pH entre 6,0 a 8,0.

Segundo Madoni (1994), um sistema que apresente a dominância de ciliados predadores de floco, ciliados sésseis (exceto as espécies *Vorticella microstoma* e *Opercularia* spp) ou de tecamebas é indicativo de um bom tratamento do efluente.

Para fins de cálculo do IQTA, os diagnósticos obtidos para a variável “Microfauna” foram comparados às classes de qualidade 1, 2, 3 e 4, e seus respectivos diagnósticos estabelecidos por Madoni.

Com os resultados analíticos, observou-se que não houve a determinação de classe 4, com diagnóstico de depuração biológica pobre no tanque de aeração e baixo desempenho. E apenas 7 resultados enquadrados na classe 3, com diagnóstico de depuração biológica insuficiente no tanque de aeração e desempenho medíocre. É possível relacionar esse resultado valores de Oxigênio Dissolvido menores que 2 mg/L nos tanques de aeração nos mesmos dias.

Os pesos relativos para cada parâmetro, definidos juntamente com o setor operacional de acordo com sua importância para o desempenho do tanque de aeração são vistos na tabela 5.

Tabela 5: Tabela de pesos definidos em conformidade com setor operacional.

Parâmetro	Peso
Microfauna	0,50
Oxigênio Dissolvido (OD)	0,30
Sólidos em Suspensão Voláteis (SSV)	0,10
pH	0,10

A qualidade de cada variável do IQTA foi definida conforme a curva de qualidade, ou curva média de variação do parâmetro. A qualidade relativa da i -ésima variável (q_i) varia de 0 a 100 e foi obtida do respectivo gráfico de qualidade padrão (conceito), em função de sua concentração ou medida e apoiados à literatura.

O q_i escolhido de acordo com o valor de cada determinação química ou biológica pode ser observado nas figuras 3, 4, 5 e 6 a seguir.

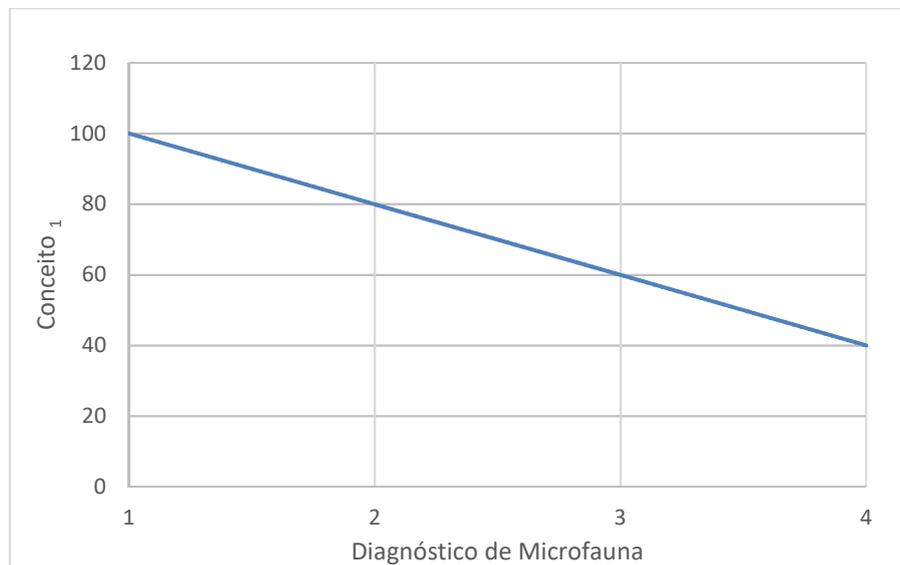


Figura 3: Conceito x Microfauna.

Nota 1: Para resultados de Classe 1, foi considerado q_3 igual a 100.

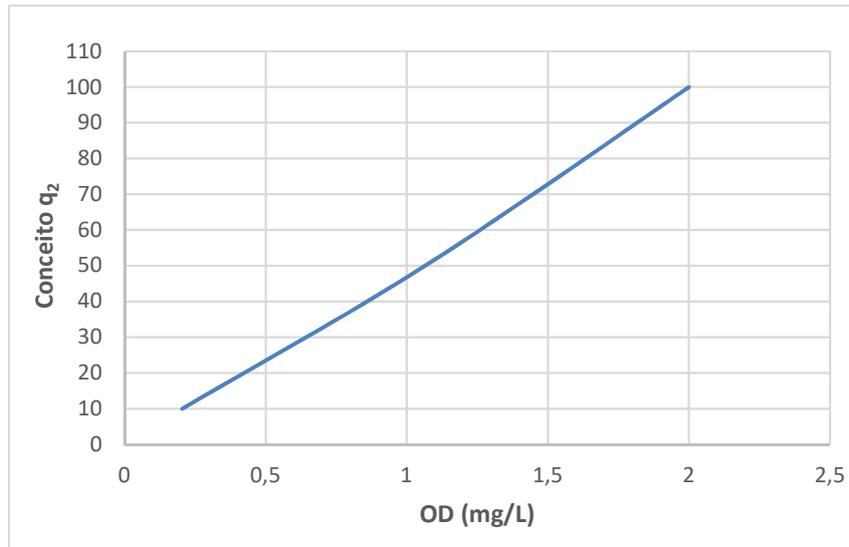


Figura 4 : Conceito x Oxigênio Dissolvido (mg/L).

Nota 2: Para concentrações de OD superior a 2, foi considerado q_1 igual a 100.

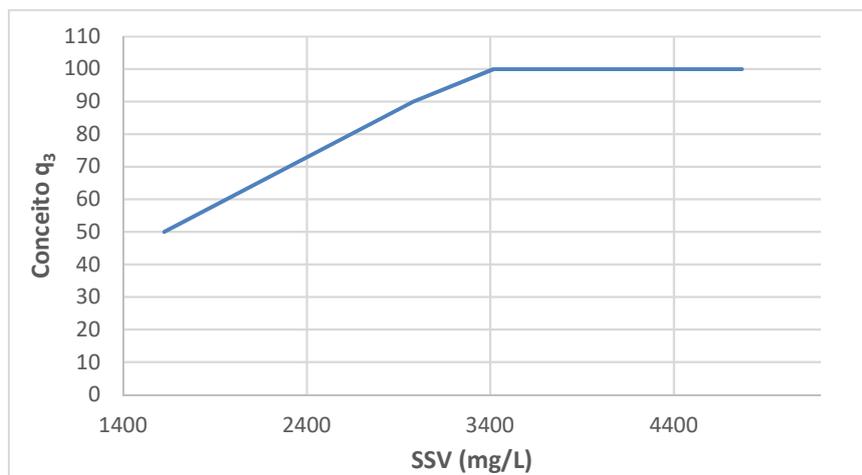


Figura 5: Conceito x Sólidos em Suspensão Voláteis (mg/L).

Nota 3: Para concentrações de SSV superior a 3400, foi considerado q_2 igual a 100.

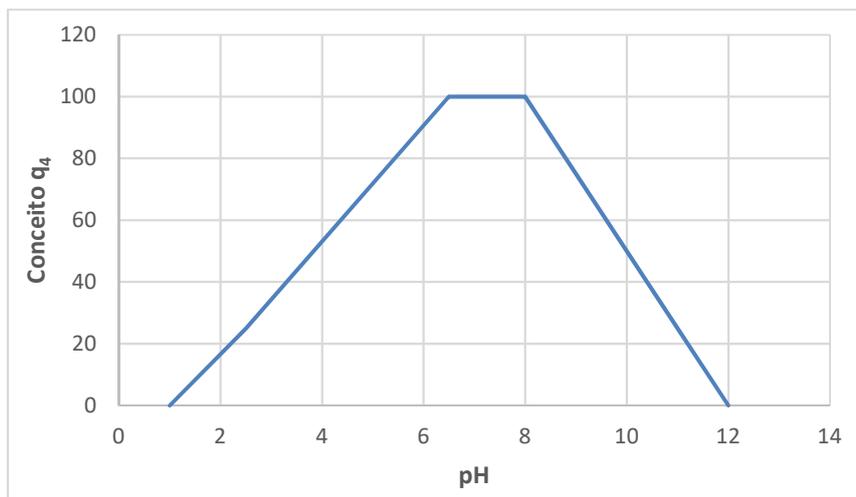


Figura 6: Conceito x pH.

Nota 4: Para medidas que estão fora da faixa ótima encontrada em todos os resultados analíticos (pH entre 6,0 e 8,0) e conceito 100, foi determinada, com base na literatura, a variação de q_4 .

Um exemplo de cálculo pode ser visto na tabela 6, aplicando o produtório das variáveis.

Tabela 6: Exemplo de cálculo para o IQTA.

Parâmetro	Exemplo de resultado analítico	Conceito obtido através das curvas (q_i)	Peso relativo (w_i)	$q_i^{w_i}$	$IQTA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$
Microfauna	2	80	0,50	8,94	
OD	1,5 mg/L	70	0,30	3,58	
SSV	3600 mg/L	100	0,10	1,58	
pH	6,54	100	0,10	1,58	

Com os valores de IQTA calculados, pode-se traçar um gráfico considerando as cinco faixas de qualidade para o tanque de aeração, visando um melhor acompanhamento do processo. A figura 8 mostra as faixas de desempenho operacional e a linha obtida de acordo com as análises semanais realizadas.

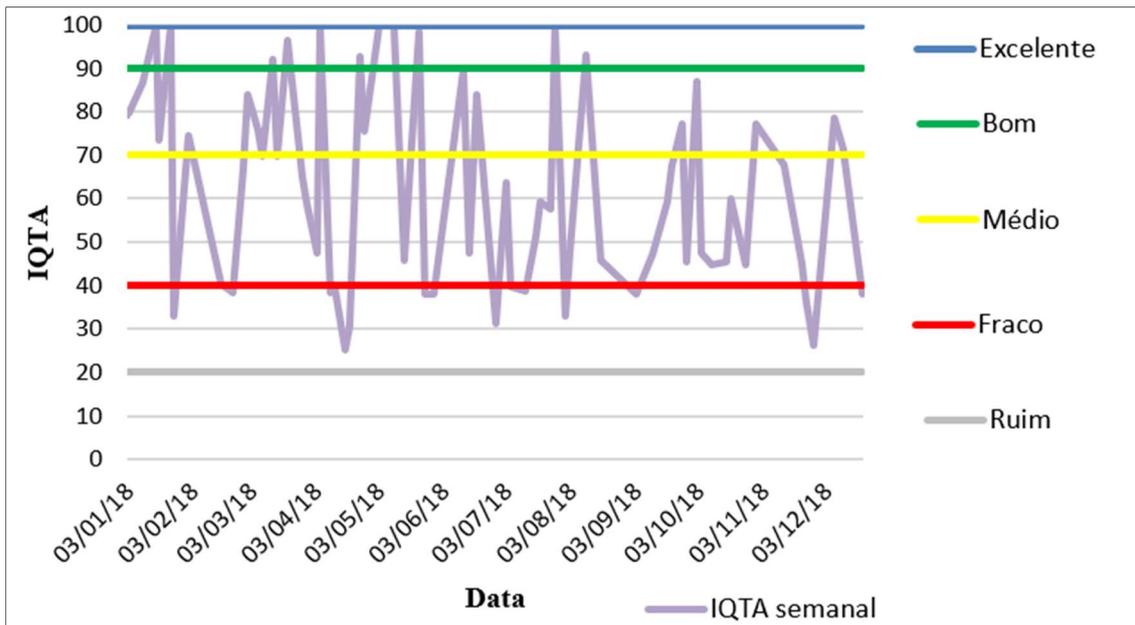


Figura 7: Gráfico obtido, mostrando as cinco faixas de IQTA.

Pode-se inferir do gráfico na figura 8 que, em nenhum momento, o processo atingiu um desempenho considerado “ruim”. Sendo que dos 68 resultados de IQTA, 35% encontraram-se com desempenho médio ($40 \leq IQTA < 70$), indicando atividade biológica decrescente. Nos dias em que foi observado desempenho “fraco”, foram encontradas concentrações baixas de Oxigênio Dissolvido entre 0,17 e 0,59 mg/L, o que favorece uma restrita atividade biológica e prejudica as bactérias formadoras de flocos.

Os valores obtidos nessa faixa de desempenho geralmente foram observados em períodos em que os sopradores da unidade se encontravam em manutenção. Já os valores obtidos na faixa de desempenho “médio” atuaram como alerta para o pronto restabelecimento do processo.

As medidas determinadas de tendências centrais e de dispersão para as variáveis utilizadas no estudo estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7: Atributos estatísticos para as variáveis avaliadas no IQTA (Determinados através de *Microsoft Excel*).

Variáveis	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
Microfauna	1,59	1,00	1,00	3,00	0,67	42,46
OD	0,93	0,65	0,17	5,65	0,88	95,10
SSV	4487,44	4405,00	1408,75	6827,50	1022,32	22,78
pH	6,72	6,67	6,30	7,17	0,16	2,32

Para o cálculo do coeficiente de variação, utilizou-se a equação 2, a seguir:

$$CV (\%) = \frac{s}{X} \times 100 \quad \text{equação (2)}$$

Onde,

CV: Coeficiente de variação;

s: Desvio padrão;

X: Média dos dados.

A partir da tabela 7 pode-se verificar que o parâmetro OD possuiu resultado mínimo de 0,17 mg/L, máximo de 5,65 mg/L e o maior coeficiente de variação (95,10%) entre as variáveis, sendo então o parâmetro que exige maior controle do setor operacional.

O pH é um fator determinante para a população de micro-organismos, para os quais a faixa ideal é entre 6,0 e 8,0, sendo que em condições extremas como pH elevado pode ocorrer a precipitação de fósforo, tornando-o indisponível, e pH baixo ocorre o incistamento de certos protozoários. Observa-se também, pelos valores de mínimo, máximo e desvio padrão que o pH é uma variável controlada no processo, estando em todo o período de estudo dentro da faixa ótima de trabalho.

Pode-se observar também que os compostos recalcitrantes presentes no chorume proveniente do aterro, como metais pesados e macrocompostos podem ter efeitos acumulativos e tóxicos em longo prazo no co-tratamento com a Estação de Tratamento de Esgoto, principalmente na fase sólida da ETE. Fase sólida esta que, ou retorna para o tanque de aeração ou, após tratamento de adensamento e centrifugação, segue para o aterro novamente, formando um novo ciclo desses compostos. É recomendado para a eficaz avaliação desta influência monitorar o IQTA nos próximos anos, pois o volume de chorume vem aumentando significativamente, estando próximo de 1,0 % em relação à vazão da ETE. Um acompanhamento complementar sugerido é a determinação de metais no lodo ativado do tanque de aeração.

Os metais pesados reagem com ligantes difusores e com macromoléculas, possuindo propriedades de bioacumulação nos organismos e ambientes, e de biomagnificação na cadeia alimentar. Isto provoca distúrbios nos processos metabólicos e danos aos sistemas biológicos de todos os seres vivos (RIGUETI *et al.*, 2005), causando problemas à saúde, como doenças carcinogênicas, danos ao sistema nervoso central, e aos demais aparelhos. O chumbo, por exemplo, pode causar disfunção renal, anemia,

problemas pulmonares, paralisia e encefalopatia. O chumbo é absorvido pela proteína ligante do cálcio e se depositando nos ossos. Ele afeta também todos os órgãos do corpo humano, inclusive o sistema nervoso central e periférico (CORT *et al.*, 2008). O mercúrio pode causar gengivite, estomatites, lesões cerebrais e neurológicas entre outros males, mesmo se ingerido em pequenas quantidades.

O cádmio entra nas células sanguíneas, acumula-se nos rins, no fígado e nos músculos. Cromo, manganês e zinco são elementos essenciais, mas, em excesso, são nocivos à saúde e ao equilíbrio do ambiente. O cromo, no estado de oxidação hexavalente (Cr^{6+}) não tem função metabólica e é potencialmente tóxico. Manganês em excesso pode causar doenças degenerativas, e o excesso de zinco leva à interação competitiva com outros minerais essenciais à saúde (RIGUETI, 2005).

5 CONCLUSÕES

Neste estudo pode-se verificar que a implementação do IQTA tornou mais eficaz a visualização e interpretação dos resultados analíticos pelo setor operacional da ETE., otimizando a interface laboratório-operação e possibilitando tomadas de decisão mais ágeis para uma possível correção do processo.

Observou-se também que a predominância de resultados médios de IQTA, que corresponde à uma atividade biológica decrescente, pode ter influência do envio de chorume altamente tóxico para a ETE. Sugere-se continuar o monitoramento do tanque de aeração, realizando inclusive análises para determinação de metais totais e dissolvidos. Sendo assim, o envio de chorume dos aterros para Estações de Tratamento de Esgotos por tempo indeterminado é preocupante, tanto por questões operacionais, quanto para a saúde e ao meio ambiente.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8419 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, 1992.
2. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 9648 – Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário, 1986.
3. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO 9001 – Sistema de gestão da Qualidade - Requisitos, 2015.
4. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.004 – Classificação de resíduos sólidos, 2004.
5. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO/IEC 17025 - Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração, 2017.
6. APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23^a ed., Métodos 4500 H+ e 4500-O G, 2017.
7. BENTO, A. P. Caracterização da Microfauna em Estação de Tratamento de Esgotos do Tipo Lodos Ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo. *Engenharia sanitária ambiental*, v.10, n.4, p. 329-338, 2005.
8. BRASIL. Lei Nº 12.305 dispõe da Política Nacional de Resíduos Sólidos, de 2 de agosto de 2010.
9. BRASIL. Lei nº 9.605 dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências, de 12 de fevereiro de 1998.
10. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Legislação Ambiental Básica*. Ministério do Meio Ambiente. Consultoria Jurídica. Brasília: UNESCO, 2008.
11. BRITO, Núbia Natália de; CONEGLIAN, Cassiana M. R.; GUSSAKOV, Karim Cazeris; PELEGRINI, Ronaldo; SERAFIM, Aline Camillo; SILVA, Fabiano; SOBRINHO, Geraldo Dragoni e TONSO, Sandro. *Chorume, impactos ambientais e possibilidades de tratamentos*. Centro Superior de Educação Tecnológica (CESET) – UNICAMP 2003.
12. CETESB. Índices de qualidade das águas, Apêndice C, 29 p., 2013.
13. CETESB. *Microbiologia de Lodos Ativados*. Caderno da Gestão do Conhecimento – Atualização Profissional. ETGC, São Paulo, 266 pp, 2012.
14. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução Nº 237 que dispõe de licenciamento ambiental e suas atividades, de 19 de dezembro de 1997.

15. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução Nº 404 que estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos, de 12 de novembro de 2008.
16. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução Nº 430 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes e complementa, 2011.
17. CORT, Elisabete Paula Dalla; ALBERTI, Vanessa; ROTTA, Mariza; BECEGATO, Valter; MACHADO, William C. Polônio & ONOFRE, Sideney Becker. Níveis de metais pesados presentes no chorume produzido em aterros sanitários da região sudoeste do Paraná. Revista eletrônica do curso de Geografia do campus Jataí – UFG. N.11. Julho/dezembro, 2008.
Disponível em: <http://scienzebiologiche.unipr.it/didattica/att/e05b.file.pdf>. Acesso em 17/07/2018.
18. DE MARCO, N., GABELLI, A., CATTARUZZA, C., PETRONIO, L. *Performance of biological sewage treatment plants: some experiences on municipal plants in the province of Pordenone (Italy)*. In *Biological Approach to Sewage Treatment Process: Current Status and Perspectives* (Edited by Madoni P.), Centro Bazzucchi, Perugia, p. 247-251, 1991.
19. HAMADA, Jorge; SILVA, Celso Luiz da; GIACHETI, Heraldo Luiz. Análise crítica de sistemas para tratamento de chorume de aterros para resíduos sólidos urbanos. Congresso brasileiro de ciência e tecnologia em resíduos e desenvolvimento sustentável, 2004.
20. IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Diagnóstico de Resíduos Sólidos do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2012.
21. JORDÃO, E. P., PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 6ª ed., ABES, Rio de Janeiro, 969 pp, 2011.
22. MADONI, P. Applicazione dell' Indice Biotico del Fango (S.B.I.) nel Processo di Depurazione a Fanghi Attivi. Dipartimento di Scienze Ambientali, 2004. Disponível em: <<http://scienzebiologiche.unipr.it/didattica/att/e05b.file.pdf>>. Acesso em 20 out. 2018.
23. MADONI, P. *A sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analysis*. *Water Research*, v. 28, p. 67–75, 1994.

24. MATHIAS, Cristiane Juliano; FARIAS, Danielle Vicente. Índices de Qualidade para avaliação do tratamento biológico em ETEs. 30º Congresso Abes. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2019.
25. RIGUETTI, Priscilla Fracalossi; CARDOSO, Cláudia Andréa Lima; CAVALHEIRO, Alberto Adriano; LENZI, Ervim; FIORUCCI, Antonio Rogério; SILVA, Margarete Soares da. Manganês, zinco, cádmio, chumbo, mercúrio e crômio no chorume de aterro sanitário em Dourados, MS, Brasil. Rev. Ambient. Água vol.10 no.1. DOI 10.4136. São Paulo, 2015.
26. SALVADÓ, H., MAS, M., MENÉNDEZ, S., GRACIA, M. P. *Effects of Shock Load of Salt on Protozoan Communities of Activated Sludge*. Acta Protozoologica, v. 40, p. 177–185, 2001.
27. VAZOLLÉR, R. F. Microbiologia de Lodos Ativados (Séries Manuais). CETESB, São Paulo, 23 pp, 1989
28. VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R. F. Lodo de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Org.) Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, 2001. 484 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6). cap. 2, p. 17-67.