

**ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS AERÓBIOS PARA O  
TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ESGOTOS URBANOS**

**STUDY ON THE USE OF AEROBIC SYSTEMS FOR THE BIOLOGICAL TREATMENT  
OF URBAN WASTEWATER**

Maria Clara Ferreira Espindola<sup>1</sup>

Patrícia Borges Silveira<sup>2</sup>

Carlos Fernando Campos<sup>3</sup>

Laryssa Freitas Ribeiro<sup>4</sup>

Cássio Resende de Morais<sup>5\*</sup>

**RESUMO:** O presente trabalho apresenta uma análise sobre a eficiência e a viabilidade dos sistemas aeróbios aplicados ao tratamento biológico de esgoto urbano, considerando aspectos técnicos, ambientais e econômicos. Por meio de uma pesquisa bibliográfica de natureza qualitativa, foram consultadas obras de referência, artigos científicos e documentos oficiais relacionados ao tema, com ênfase nos estudos realizados nas últimas três décadas. O estudo demonstra que os sistemas aeróbios, baseados na ação de microrganismos que degradam a matéria orgânica na presença de oxigênio, destacam-se pela elevada eficiência na remoção de poluentes, atingindo índices superiores a 85% de redução da carga orgânica. Entre os principais métodos analisados, encontram-se os processos de lodos ativados, os reatores com biofilmes e as lagoas aeradas de mistura completa, todos amplamente empregados em estações de tratamento de esgoto de pequeno e médio porte. Observou-se que esses sistemas apresentam vantagens operacionais, como maior estabilidade e menor emissão de odores, embora demandem maior consumo energético devido à necessidade de aeração contínua. A pesquisa evidencia que, em municípios com até 20 mil habitantes, os sistemas aeróbios constituem uma alternativa viável e sustentável, conciliando eficiência no tratamento, baixo impacto ambiental e simplicidade operacional. Conclui-se que a adoção desses sistemas representa um avanço nas políticas públicas de saneamento básico, contribuindo para a

- 
1. Licenciada em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário Mário Palmério – UNIFUCAMP.
  2. Licenciada e bacharelada em Geografia pela Universidade Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP. Mestra e doutora em Geografia pela UNESP.
  3. Licenciado em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário Mário Palmério – UNIFUCAMP. Mestre e Doutor em Genética e Bioquímica pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU.
  4. Graduada em Medicina Veterinária pela Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho (UNESP). Mestra e Doutora em Medicina Veterinária pela UNESP. Coordenadora, Docente e Pesquisadora pelo Centro Universitário Mário Palmério - UNIFUCAMP.
  5. Licenciado em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário Mário Palmério – UNIFUCAMP. Especialista e Biotecnologia Ambiental pelo Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR. Especialista em Toxicologia e Bioquímica pela Faculdade Metropolitana do Estado de São Paulo – FAMEESP. Especialista em Biologia Celular e Molecular pelo Centro Universitário FAVENI - UNIFAVENI. Mestre e Doutor em Genética e Bioquímica pela Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Docente e Pesquisador pelo UNIFUCAMP.
- \*Autor de correspondência: [cassio.1015@hotmail.com](mailto:cassio.1015@hotmail.com)

preservação dos recursos hídricos e para a promoção do desenvolvimento sustentável. Recomenda-se, ainda, o aprofundamento de estudos voltados à redução do consumo energético e à integração dos sistemas aeróbicos com fontes renováveis de energia, visando ampliar sua aplicabilidade em diferentes contextos urbanos.

**Palavras-chave:** Tratamento de esgoto; Sistemas aeróbicos; Saneamento básico; Eficiência ambiental; Sustentabilidade.

**ABSTRACT:** This study presents an analysis of the efficiency and feasibility of aerobic systems applied to the biological treatment of urban wastewater, taking into account technical, environmental, and economic aspects. Through a qualitative bibliographic research, reference works, scientific articles, and official documents related to the topic were reviewed, with emphasis on studies conducted over the past three decades. The findings show that aerobic systems, based on the action of microorganisms that degrade organic matter in the presence of oxygen, stand out for their high pollutant removal efficiency, achieving rates above 85% in organic load reduction. Among the main methods analyzed are activated sludge processes, biofilm reactors, and completely mixed aerated lagoons, all widely used in small- and medium-scale wastewater treatment plants. These systems demonstrate operational advantages such as greater stability and lower odor emissions, although they require higher energy consumption due to continuous aeration. The research highlights that, in municipalities with up to 20,000 inhabitants, aerobic systems represent a viable and sustainable alternative, combining treatment efficiency, low environmental impact, and operational simplicity. It is concluded that the adoption of these systems represents progress in public sanitation policies, contributing to the preservation of water resources and the promotion of sustainable development. Further studies are recommended to explore ways to reduce energy consumption and integrate aerobic systems with renewable energy sources, aiming to expand their applicability in different urban contexts.

**Keywords:** Wastewater treatment; Aerobic systems; Basic sanitation; Environmental efficiency; Sustainability.

## 1. INTRODUÇÃO

O tratamento de esgoto é um dos principais desafios ambientais enfrentados pelas cidades modernas. A liberação inadequada de efluentes urbanos em corpos d'água compromete a qualidade ambiental e representa riscos à saúde pública. Segundo Von Sperling (2014, p. 24), “os sistemas de tratamento biológico são amplamente utilizados devido à sua eficiência na remoção de matéria orgânica e patógenos, reduzindo os impactos ambientais da disposição final do esgoto”.

Ainda de acordo com Von Sperling (2014, p. 25), "o tratamento de esgotos é uma atividade essencial para minimizar os impactos ambientais decorrentes do lançamento de esgoto bruto em corpos hídricos". Para isso, são utilizados diferentes tipos de tratamento, divididos em preliminar, primário, secundário e terciário. Diante do exposto segue detalhamento das principais etapas de um tratamento de esgoto segundo Von Sperling (2014, p. 31):

- Tratamento preliminar: remoção de sólidos grandes e areia para evitar danos aos equipamentos.
- Tratamento primário: sedimentação da matéria orgânica suspensa.
- Tratamento secundário: remoção da matéria orgânica dissolvida por meio de processos biológicos, como lodos ativados.
- Tratamento terciário: remoção de poluentes específicos, como nutrientes e metais pesados.

Dentre os sistemas biológicos, os processos aeróbios destacam-se por sua elevada eficiência na degradação de matéria orgânica, promovida pela ação de microrganismos em presença de oxigênio. De acordo com Metcalf e Eddy (2014, p. 67), os processos aeróbios, como lodos ativados e filtros biológicos, apresentam taxas de remoção de matéria orgânica superiores a 85%, sendo amplamente empregados em estações de tratamento de esgoto (ETEs) ao redor do mundo.

Além da eficiência na remoção de poluentes, os sistemas aeróbios apresentam vantagens operacionais em comparação com processos anaeróbios, como menor geração de odores e maior estabilidade operacional (Henze *et al.*, 2008, p. 45). No entanto, exigem maior consumo energético para a aeração do sistema, o que demanda estudos sobre sua viabilidade econômica e energética em diferentes contextos urbanos (Chernicharo, 2017, p. 33).

Diante da necessidade crescente de soluções sustentáveis para o tratamento dos esgotos urbanos, este estudo consiste em um tema atual, e relevante, sobretudo pela importância de avaliar a aplicabilidade e eficiência dos sistemas aeróbios no contexto urbano. Desta forma, o escopo do trabalho fundamentou-se na apresentação das estratégias de tratamentos biológicos já estudados, visando maior eficiência na remoção de poluentes e a minimização dos impactos ambientais associados ao lançamento de efluentes em corpos hídricos.

Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo analisar a eficiência e viabilidade dos sistemas aeróbios para o tratamento biológico de esgoto urbano, considerando aspectos operacionais, ambientais e econômicos. Da mesma forma, este trabalho apresenta os seguintes objetivos específicos: revisar os principais sistemas aeróbios utilizados no tratamento de esgoto urbano e suas características operacionais; avaliar a eficiência de remoção de matéria orgânica e nutrientes nos sistemas aeróbios; comparar o desempenho dos sistemas aeróbios com alternativas anaeróbias em termos de eficiência e impacto ambiental.

## **2. METODOLOGIA**

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica, de natureza qualitativa, baseada na análise de materiais previamente publicados relacionados ao tema em questão. A pesquisa foi realizada por meio da consulta a livros, artigos científicos, dissertações, teses, e documentos oficiais disponíveis em bases de dados como SciELO, Google Scholar, entre outros. Para as pesquisas em mídias digitais usou-se palavras-chaves: sistemas de tratamento de efluentes urbanos, características de esgotos urbanos, tratamentos biológicos aplicados para esgotos urbanos, características e análise comparativa entre os diversos processos biológicos.

A seleção dos materiais considerou publicações relevantes nos últimos 30 anos, priorizando obras mais atuais e que abordam conceitos, teorias e estudos de casos sobre sistemas de tratamento de efluentes urbanos com foco nos tratamentos aeróbicos. As informações coletadas foram analisadas e organizadas de forma a fundamentar a discussão proposta e responder aos objetivos gerais e específicos estabelecidos abaixo.

Através deste trabalho espera-se fazer uma análise da eficiência e viabilidade dos sistemas aeróbios para o tratamento biológico de esgoto urbano. Neste contexto, também buscou-se fazer considerações sobre os aspectos operacionais e ambientais. Com as informações fornecidas por este trabalho espera-se que o mesmo possa servir como base teórica para tomadas de decisões, para que representantes do poder executivo e também do poder legislativo possam usufruir desta pesquisa para tomada de decisões para melhor suas escolhas para cada situação. De modo geral, conforme pesquisa, a escolha do sistema aeróbio tem sido escolhida por centros urbanos de até 20.000 pessoas devido aos aspectos operacionais e econômicos. Em grandes centros urbanos devido ao relatado nas referências bibliográficas, anteriormente citadas, optam por sistema anaeróbios ou sistemas mistos para o tratamento dos esgotos de suas cidades.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1. USO DA ÁGUA POR CENTROS URBANOS E A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

A quantidade total de água no planeta Terra tem permanecido constante nos últimos 500 milhões de anos. A distribuição dos volumes estocados nos principais reservatórios de água da Terra mostra que 97,5% do volume total constituem os oceanos e mares sendo somente 2,5% é de água doce. Porém, a maior parte dessa água encontra-se congelada nas calotas polares e nas geleiras ou ainda se situa no subsolo. Assim, somente 0,3% da água existente no planeta Terra encontram-se acessível, podendo ser utilizada pelo ser humano para o consumo, irrigação e usos gerais (Felix *et al.*, 2005. p. 48).

Atualmente, com o surgimento de problemas relacionados à escassez e poluição de água nos grandes centros urbanos, há um grande interesse por parte de vários setores econômicos, ambientais e políticos pelo tratamento adequado da água (Sautchuk et al., 2009).

Os processos de tratamento de efluentes antes de serem adotados devem levar em consideração os seguintes fatores: os custos de investimento; a qualidade e a quantidade de resíduo gerado na estação de tratamento de efluente; a qualidade do efluente tratado; a geração de odor; a segurança operacional; a confiabilidade para o atendimento à legislação ambiental, e também a possibilidade de reuso dos efluentes tratados (Giordano, 2004, p. 26).

O processo de tratamento de esgotos tem por objetivo separar a fase líquida da fase sólida, tratando-se separadamente e de forma adequada cada uma destas fases. Dessa forma, tem como objetivo reduzir ao máximo a carga poluidora. Ao final do processo, tanto a fase líquida quanto a sólida devem estar aptas, segundo a **Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 430/2011**, a serem descartadas nos corpos hídricos receptores (fase líquida), aterro sanitário ou outra aplicação específica (fase sólida), sem prejuízo ao meio ambiente. O reuso planejado de águas residuais não é um conceito novo e já é praticado há muitos anos (Schneider, R. P.; Tsutiya, M. T, 2001, p. 60).

A resolução CONAMA nº 430 de 2011 dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 que 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. O lançamento indireto de efluentes no corpo receptor deverá observar

o disposto nas resoluções supracitadas quando verificada a inexistência de legislação ou normas específicas, disposições do órgão ambiental competente, bem como diretrizes da operadora dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário.

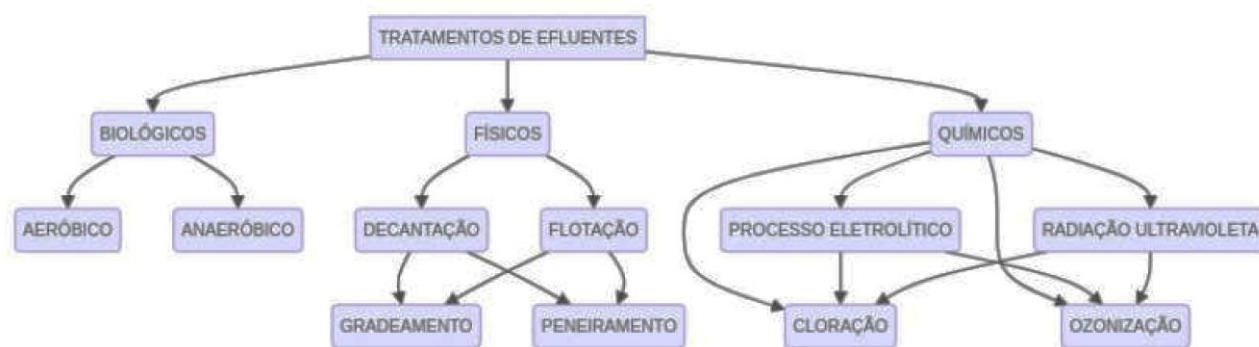
### **3.2. PRINCIPAIS PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES URBANOS**

Historicamente, diversas providências foram adotadas para que tais poluentes não fossem despejados diretamente nos ecossistemas aquáticos. Entre elas, a implantação de estações de tratamento de águas residuais para efluentes urbanos tornaram-se comuns nas cidades em torno do mundo (Oller, L.; Malato, S.; Sáchez -Pérez, J.A., 2011, p. 50).

O princípio dessas estações no passado era a detecção direta de efeitos graves causados pelos poluentes, com isso os impactos negativos de curto prazo sobre os ecossistemas aquáticos eram evitados. Mas a avaliação ambiental, realizada em longo período, revelou que um número considerável de efeitos crônicos era comum. Concomitantemente a quantidade de substâncias poluidoras e seus despejos aumentaram significativamente, fato que levaram à mudança de atitude no tratamento de efluentes urbanos (Vare, 2006, p. 16; Schindler e Smol, 2006, p. 37).

A descarga de efluentes urbanos em quantidades superiores à capacidade de assimilação do corpo receptor ocasiona a contaminação do ambiente e conseqüentemente prejuízos à saúde pública. Especialmente nos ecossistemas aquáticos é comum ocorrer uma diminuição da concentração de OD (oxigênio dissolvido). Em condições extremas, observa-se a mortandade de diversos organismos vivos presentes no ecossistema aquático poluído. De modo geral, os processos de tratamento podem ser classificados, em função de seu mecanismo predominante, em processos físicos, químicos e biológicos (Jordão, E. P.; Pessoa, C. A., 2011, p. 40). Na figura 01 está ilustrada a representação dos processos de tratamento de esgotos urbanos.

**Figura 01:** Fluxograma dos processos de tratamento de efluentes



Fonte: Von Sperling, 1996, p.56

### 3.2.1. Processos Físicos

Os processos físicos se baseiam no fenômeno de separação de fases distintas, aplicáveis, principalmente à substâncias em suspensão ou com densidades distintas do esgoto. Exemplo: areia e gorduras presentes no esgoto, simultaneamente.

Podem ser relacionados como processos físicos: i) remoção de sólidos grosseiros; ii) remoção de sólidos sedimentáveis; iii) remoção de sólidos flutuantes; iv) remoção da umidade do lodo; v) filtração e vi) homogeneização (Oliveira, 2012, p. 67).

### 3.2.2. Processos Químicos

Os processos químicos são aqueles em que há necessidade de dosagem de produtos químicos, e para efluentes sanitários, raramente são adotados isoladamente, sendo utilizados, geralmente, quando os processos físicos ou biológicos, por si só, não são suficientes para obtenção da qualidade desejada para o efluente final (Jordão, E. P.; Pessoa, C. A., 2011, p. 45). São classificados como processos químicos mais comumente adotados no tratamento de esgotos os seguintes: i) floculação; ii) precipitação química; iii) elutriação; iv) oxidação química; v) cloração; e vi) neutralização de pH (Oliveira, 2012, p. 67).

### 3.2.3. Processos Biológicos

O tratamento biológico do efluente é a indução forçada de fenômenos naturais. É um processo de degradação de certas substâncias orgânicas mediante enzimas secretadas por microrganismos. Em geral, podem-se distinguir duas formas de tratamento biológico:

- **Aeróbio:** quando o oxigênio está associado às reações biológicas. O carbono orgânico se converte em CO<sub>2</sub> e lodos. O tratamento biológico aeróbio é uma reprodução do

mecanismo de biodegradação que ocorre naturalmente nos rios, a autodepuração (Vazollér *et al.*, 1999, p. 34).

- **Anaeróbio:** quando as reações bioquímicas têm lugar na ausência de oxigênio em um ambiente redutor. O carbono orgânico se converte em CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (metano) e lodo (Chernicharo, 1997, p. 39). Os principais processos biológicos de tratamento de efluentes por oxidação biológica e digestão de lodo e suas respectivas variantes são: i) Lagoas de Estabilização; ii) lodos ativados; iii) sistemas aeróbios com biofilmes; iv) sistemas anaeróbios; e v) sistemas de disposição no Solo (Von Sperling, 1996, p. 211).

No tratamento biológico, o efluente proveniente do tratamento físico-químico já contendo teores menos elevados de substâncias nocivas necessita sofrer processos de depuração. Para isso, é necessário proporcionar condições favoráveis à oxidação biológica, pois as bactérias são providas de alta carga de matéria orgânica (MO) (Torres, 2005, p. 35).

A eficiência do processo depende da relação da carga orgânica diária e a massa de microrganismos contida no reator. Existem outras relações que são utilizadas, como alimento/microrganismo; disponibilidade de oxigênio; forma de alimentação dos reatores; concentrações de biomassa nos reatores; forma de retenção da biomassa nos reatores (Giordano, 2004, p. 35).

### **3.3. COMPARAÇÕES ENTRE AS CARACTERÍSTICAS DOS TRATAMENTOS AERÓBIOS E OS ANAERÓBIOS**

A principal diferença entre aeróbio e anaeróbio no tratamento biológico de efluentes está na presença ou ausência de oxigênio durante o processo de depuração. Enquanto o tratamento aeróbio depende do oxigênio para a decomposição da matéria orgânica, o tratamento anaeróbio ocorre em ambientes sem oxigênio. Essa distinção influencia diretamente o tipo de microrganismos envolvidos e os produtos finais do processo.

Outra diferença significativa é o tempo de processamento. O tratamento aeróbio tende a ser mais rápido, pois as bactérias aeróbias são altamente eficientes na degradação da matéria orgânica. Já o tratamento anaeróbio, embora mais lento, tem a vantagem de produzir biogás, que pode ser utilizado como fonte de energia renovável, oferecendo um benefício adicional em termos de sustentabilidade e economia.

Por fim, a escolha entre tratamento aeróbio e anaeróbio também depende da natureza dos efluentes e dos objetivos do tratamento. O tratamento aeróbio é geralmente preferido para

efluentes com menor carga orgânica e onde a rapidez é um fator essencial. Já o tratamento anaeróbio é mais indicado para efluentes com alta carga orgânica, especialmente quando há interesse em aproveitar o biogás gerado no processo.

### **3.3.1. Tratamento Aeróbio**

#### **3.3.1.1. Definição e principais características**

Processo biológico que utiliza bactérias e outros microrganismos que necessitam de oxigênio para degradar a matéria orgânica presente nos efluentes.

As vantagens dos sistemas aeróbios são maior eficiência na remoção de matéria orgânica, processo mais rápido e menor odor e menor produção de lodo, comparativamente aos processos anaeróbios.

As desvantagens estão relacionadas ao maior consumo de energia para aeração e maior investimento inicial em equipamentos.

Suas formas mais comuns são: Lodo ativado, biofiltros, lagoas de oxidação. Vale ressaltar que este método é o foco deste trabalho científico.

### **3.3.2. Tratamento Anaeróbio**

#### **3.3.2.1. Definição e principais características**

Processo biológico que utiliza bactérias que não necessitam de oxigênio para degradar a matéria orgânica.

As vantagens são menor consumo de energia, pois não requer aeração, geração de biogás, que pode ser aproveitado como fonte de energia e adequado para efluentes com alta carga orgânica.

As desvantagens são maior tempo de tratamento, possível geração de odores, se não for bem gerenciado e menor eficiência na remoção de matéria orgânica, comparativamente aos processos aeróbios.

Seus sistemas de tratamento são reatores anaeróbios e lagoas anaeróbias.

A escolha entre os métodos aeróbios e anaeróbios depende da natureza do efluente, da capacidade de investimento e da necessidade de aproveitar o biogás gerado.

Em alguns casos, a combinação dos dois processos pode ser a mais adequada para otimizar o tratamento e o aproveitamento dos recursos.

## **3.4. ESTUDO SOBRE OS PRINCIPAIS MÉTODOS DE TRATAMENTO AERÓBIOS**

### 3.4.1. Processo de Lodo Ativado

O sistema de tratamento de esgoto por lodos ativados, segundo Jordão e Pessoa (2011, p. 65) e Von Sperling (2014, p. 30), é um processo biológico amplamente utilizado para remover poluentes e matéria orgânica do efluente. O sistema envolve a aeração do efluente com a introdução de oxigênio por equipamentos mecanizados e a presença de microrganismos aeróbios (bactérias) em um reator de lodos ativados. Nas figuras 02 e 03 são apresentadas uma imagem real de uma estação de tratamento e o procedimento com lodo ativado.

**Figura 02.** Tanques de aeração da estação de tratamento de esgoto ETE processo lodo ativado.



Fonte: Lins, 2023, p. 41,

**Figura 03.** Ilustração esquemática do funcionamento do Sistema de Lodo Ativado



Fonte: Von Sperling, 1997, p.57

Esses microrganismos consomem a matéria orgânica presente no efluente, promovendo sua decomposição em compostos mais simples. Esse processo recebe a denominação de “lodos ativados” justamente por conta das bactérias presentes no próprio lodo dos esgotos (massa sólida) que são recirculados para tratar o efluente. A seguir, é apresentada a descrição dos componentes básicos de um sistema de tratamento por lodos ativados:

- a) Tanque de aeração ou biorreator: o efluente entra no tanque de aeração, onde ocorre a mistura de oxigênio e a interação entre os microrganismos e a matéria orgânica. Isso permite que os microrganismos aeróbios presentes no sistema cresçam e consumam a matéria orgânica dissolvida na água. Os microrganismos aderem aos flocos biológicos, formando aglomerados chamados flocos de lodo ativado.
- b) Decantação secundária: após o processo de aeração, a mistura de líquido e flocos de lodo ativado passa para um tanque de decantação secundária. Nesse tanque, os flocos biológicos, que agora estão aglutinados com a matéria orgânica, se sedimentam, formando lodo.
- c) Reciclagem de lodo: uma parte do lodo sedimentado é reciclada de volta para o tanque de aeração. Isso ajuda a manter uma população saudável de microrganismos no sistema e melhora a eficiência do processo.
- d) Descarte do efluente tratado: o efluente tratado, após passar pelo processo de lodos ativados e decantação, é geralmente mais limpo e com menor concentração de matéria orgânica. Ele pode ser descartado no meio ambiente ou passar por etapas adicionais de

tratamento, se necessário (Von Sperling, 1997, p. 56) e (Torres, D. P. C., 2005, p. 34-39).

Os sistemas de lodos ativados também possuem elevada eficiência no tratamento de esgoto, sendo eficaz na remoção de matéria orgânica, nutrientes e seus poluentes. Esse tipo de tratamento pode ser adaptado para atender a diferentes níveis de carga e características do esgoto e requer menos espaço comparado com outros sistemas de tratamento.

Alguns aspectos que precisam ser observados para escolha de sistemas de tratamento por lodos ativados são que o processo de aeração requer energia para fornecer oxigênio constante ao reator e que deve-se garantir que a carga microbiana não reduza a níveis irreversivelmente a eficiência do processo. Uma deficiência na oxigenação acarretará na formação de zonas anaeróbias na massa líquida o que por consequência pode gerar mau cheiro e queda na eficiência da degradação na matéria orgânica no tanque. Além disso, a operação exige monitoramento cuidadoso e manutenção regular para evitar problemas como a formação de lodo em excesso (Torres, D. P. C., 2005, p. 34-39).

### **3.4.2. Reatores Aeróbios com Biofilmes**

Segundo Jordão e Pessôa (2011, p. 66) e Von Sperling (2014, p. 42) os reatores aeróbios com biofilmes são sistemas de tratamento de esgoto que utilizam uma combinação de processos biológicos aeróbios e o crescimento de biofilmes (camadas de microrganismos aderidos a um substrato sólido) para remover poluentes de efluentes domésticos. Esses sistemas podem ser aplicados em diferentes configurações, como reatores de leito fixo, reatores de leito móvel e reatores de membrana aerada submersa. Abaixo a descrição dos componentes básicos de um sistema de tratamento por reatores aeróbios com biofilmes:

a) Suporte para biofilmes: no reator é fornecido um suporte ou meio poroso no qual os biofilmes podem se desenvolver. Esse suporte pode ser material plástico, mineral (pedras), discos rotativos ou membranas, dependendo do tipo de reator.

b) Oxigenação: o oxigênio é introduzido no sistema para manter condições aeróbias, promovendo o crescimento de microrganismos aeróbios que se aderem ao material suporte do biofilme.

c) Filtração biológica: à medida que o efluente entra em contato com o material suporte, os poluentes são adsorvidos, degradados e removidos pelos microrganismos presentes no biofilme. O meio suporte fornece uma superfície de fixação para os

microrganismos, permitindo uma área maior para formação do biofilme e conseqüentemente uma maior eficiência para o tratamento biológico.

d) Separação de sólidos: após o processo de tratamento, o efluente tratado passa por etapas de decantação ou membranas para separar os sólidos e microrganismos remanescentes do efluente tratado (Lins, 2023, p. 48)

O processo de tratamento por biofilmes aumenta a eficiência do processo devido à alta concentração de microrganismos aeróbios no sistema e ocupa menos espaço em comparação com sistemas convencionais como lodos ativados. Ademais, esses sistemas são mais resistentes a flutuações de carga orgânica e variações de temperatura.

Por outro lado, alguns aspectos precisam ser observados para que um sistema por biofilmes funcione: Os biofilmes exigem manutenção regular em virtude do seu desprendimento e os custos iniciais de instalação podem ser mais elevados devido à necessidade de materiais de suporte para biofilmes. Na figura 04 demonstra uma aplicação de uma estação de tratamento de esgotos por biofilmes em Mateus Leme, Minas Gerais.

**Figura 04** - Estação de tratamento de esgoto com módulos de biofilme no município de Mateus Leme/MG.



Fonte: Lins, 2023, p. 45

### **3.4.3. Sistema de lagoas aeradas de mistura completa – lagoas de decantação**

Uma forma de se reduzir ainda mais o volume da lagoa aerada é aumentar o nível de aeração, fazendo com que haja uma turbulência, tal que, além de garantir a oxigenação, permita ainda que os sólidos sejam mantidos em suspensão. A denominação mistura completa GETEC, v.27, fev.; p. 1- 17/2026

é, portanto, advinda do alto grau de energia por unidade de volume, responsável pela total mistura dos constituintes em toda a lagoa.

Entre os sólidos mantidos em suspensão e em mistura completa se incluem, além de matéria orgânica do efluente bruto, também as bactérias (biomassa). Há, em decorrência, uma maior concentração de bactérias no meio líquido, também de um maior contato matéria orgânica-bactérias. Com isso, a eficiência do sistema aumenta, permitindo que o volume da lagoa aerada seja reduzido (Von Sperling, 1996, p. 99).

No entanto a biomassa permanece em suspensão, vindo a sair junto com o efluente da lagoa, causando uma deterioração da qualidade das águas. Surgiu então, como solução para este problema, a combinação dessa lagoa com uma outra unidade de tratamento para que os sólidos em suspensão (predominantemente a biomassa) possam sedimentar e serem separados. Esta unidade pode ser uma lagoa de decantação, que tem por finalidade permitir a sedimentação e acúmulo de sólidos (Von Sperling, 1996, p. 37).

Na figura 05 está representado um fluxograma de um sistema de lagoas aeradas de mistura completa – lagoas de decantação. Os dispositivos que estão situados antes da lagoa aerada de mistura completa (alto nível de aeração) tem a função de remover sólidos mais grosseiros e regular a vazão que irá entrar no sistema. O afluente entra na lagoa aerada de mistura completa. Como o nível de aeração é alto, as partículas ficam em suspensão, inclusive a biomassa. Sendo assim, é necessário a presença de uma lagoa de decantação para que a biomassa sedimente e seja feita a separação. Logo após passar pela lagoa de decantação, o efluente pode ser destinado ao corpo receptor.

**Figura 05** – Fluxograma de um sistema de lagoas aeradas de mistura completa lagoas de decantação.



Fonte: Von Sperling, 1996. p. 59.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do levantamento teórico realizado sobre a utilização de sistemas aeróbios para o tratamento biológico de esgotos urbanos, foi possível compreender a relevância e a aplicabilidade desses processos no contexto do saneamento básico e da preservação ambiental. O estudo evidenciou que o tratamento de efluentes é uma das etapas mais importantes para o equilíbrio dos ecossistemas urbanos, uma vez que o lançamento inadequado de esgoto nos corpos hídricos compromete diretamente a qualidade da água, a saúde pública e o bem-estar da população.

Os sistemas aeróbios, conforme discutido ao longo do trabalho, apresentam elevada eficiência na remoção de matéria orgânica e de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, quando comparados a processos anaeróbios ou mistos. Essa eficiência está relacionada à atuação de microrganismos que realizam a decomposição da matéria orgânica em presença de oxigênio, promovendo uma degradação mais completa e reduzindo significativamente os impactos ambientais decorrentes do despejo de efluentes sem tratamento adequado.

Observou-se também que, além da eficiência técnica, os sistemas aeróbios oferecem vantagens operacionais importantes, como menor emissão de odores, maior estabilidade do processo e possibilidade de adaptação em diferentes escalas de tratamento. No entanto, o maior consumo energético para a aeração se apresenta como uma limitação que deve ser considerada no planejamento e dimensionamento dessas estações. Assim, torna-se necessário avaliar o equilíbrio entre custo operacional e benefícios ambientais, especialmente em municípios de pequeno e médio porte, onde o investimento em energia elétrica pode representar uma parcela significativa do orçamento.

Os estudos analisados reforçam que a adoção de sistemas aeróbios é especialmente viável em cidades com população de até 20 mil habitantes, pois, nesses casos, a relação entre custo, eficiência e simplicidade operacional é favorável. Já em grandes centros urbanos, observa-se uma tendência à utilização de sistemas anaeróbios ou mistos, em função da necessidade de tratar volumes muito elevados de efluentes e de reduzir gastos energéticos. Dessa forma, a escolha do tipo de sistema mais adequado deve sempre considerar as condições locais, como o tamanho da população, o tipo de esgoto gerado e a disponibilidade de recursos técnicos e financeiros.

Com base nos objetivos propostos, o trabalho alcançou êxito ao demonstrar que os sistemas aeróbios são alternativas tecnicamente eficientes e ambientalmente seguras para o tratamento de esgotos urbanos. Além de contribuir para a melhoria da qualidade da água e

para a redução de poluentes, sua utilização está alinhada aos princípios do desenvolvimento sustentável, promovendo práticas de gestão que unem eficiência operacional e responsabilidade ambiental.

Dessa forma, conclui-se que o uso de sistemas aeróbios representa uma estratégia promissora para o aprimoramento das políticas públicas de saneamento básico, especialmente em cidades que buscam soluções de baixo impacto ambiental e de alta eficiência no tratamento dos efluentes. O presente estudo, ainda que de natureza bibliográfica, reforça a importância da ampliação das pesquisas na área, a fim de que se possam desenvolver tecnologias mais econômicas e adaptadas à realidade brasileira.

Por fim, sugere-se que estudos futuros possam aprofundar a análise comparativa entre os custos energéticos e os benefícios ambientais proporcionados pelos sistemas aeróbios, além de investigar o potencial de integração desses processos com fontes renováveis de energia, como a solar e a eólica. Outra linha de pesquisa relevante seria avaliar o desempenho desses sistemas em regiões com diferentes características climáticas e de composição do esgoto, possibilitando a adaptação e otimização do tratamento biológico de forma mais ampla e eficiente.

## REFERÊNCIAS

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Reatores Anaeróbios**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMG, Belo Horizonte, 1997, p. 37-40.

FELIX, E. P.; CARDOSO, A.. Fatores Ambientais que Afetam a Precipitação úmida. **Química Nova na Escola**, n. 21, maio 2005, p. 47-50.

GIORDANO, G.. **Avaliação ambiental de um balneário e estudo de alternativa para controle da poluição utilizando o processo eletrolítico para o tratamento de esgoto**. 2004. 137 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Ambiental – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004, p. 21-40.

HENZE, M. *et al.* **Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes**. 3. ed. Berlin: Springer, 2008, p. 34-43.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6 ed. Rio de Janeiro, 2011, p. 36-89.

LINS, E. F.. **Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação de sistemas de tratamento de esgotos domésticos no município de Jacareí – SP**, 2023, p. 41-45.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2014, p. 56-68.

OLIVEIRA, S. S. **Remoção microbiológica de nitrogênio, fósforo, DQO e DBO em uma estação de tratamento de efluentes numa fábrica de concentrados de bebidas**. 2012. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Amazonas, Amazonas, 2012, p. 67.

OLLER, I; MALATO, S.; SÁNCHEZ-PÉREZ, J.A. Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination—A review. **Science of the Total Environment**, 2011, p. 41-66.

SAUTCHÚK, C. A.; LANDI, F. D. N.; MIERZWA, J. C.; VIVACQUA, M. C. R.; SILVA, M. C. C.; LANDI, P. D. N.; SCHMIDT, W.. In: **Manual de reúso da Água para as Industriais**. Federação e centro das Indústrias do Estado de São Paulo, São Paulo, 2009, p. 91.

SCHINDLER, D.W; SMOL, J.P.. **Cumulative effects of climate warming and other human activities on freshwaters of Arctic and subarctic North America**. *Ambio*, 2006, p. 35-45.

SCHNEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T.. **Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reúso**. 1ª Ed. São Paulo: Associação Brasileira De Engenharia Sanitária, 2001, p. 60.

TORRES, D. P. C. **Estudo Microbiológico da Influência da adição química de ácido fólico em sistemas de lodos ativados**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – SP, 2005, p. 34-39.

VARE, L. **Who is polluting the Artic?** *Planet Earth*, n.1, 2006, p. 14-25.

VAZOLLÉR, R. F.. “**Microbiologia de Processos Biológicos de Tratamento**”, In: IV Curso de Tratamento Biológico de Resíduos, Florianópolis, SC, 1999, p.34.

VON SPERLING, M.. **Princípios básicos do tratamento de esgotos, volume 2**, Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1996, v.2, p. 56-211.

VON SPERLING, M.. **Lodos ativados**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1997, p. 23-89.

VON SPERLING, M.. **Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: Lodos Ativados**. Vol. 4. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 3ª edição ampliada, 2012, p. 428.

VON SPERLING, M.. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, V.1, 2014, p. 25-87.