



Tratamento de Efluentes Sanitários Domésticos: Estação de Tratamento de Efluentes Sanitários Domésticos Tratamento por Reator Anaeróbio e Lagoas

Treatment of Domestic Sanitary Effluents: Domestic Sanitary Effluent Treatment Plant Treatment by Anaerobic Reactor and Lagoons

Edésio Francisco Da Silva¹

Recebido em: 02.12.2024

Aprovado em: 13.12.2024

Resumo: Este trabalho se propõe a explorar o tratamento de efluentes sanitários domésticos, com ênfase na utilização de reatores anaeróbios seguido de lagoa facultativa e lagoas de maturação. Foi realizada uma revisão bibliográfica, sendo complementada por um estudo de caso aprofundado em uma Estação de Tratamento de Efluentes Domésticos, para atender uma população de 8.865 habitantes. Verificou-se que a utilização de reatores anaeróbios seguidos de lagoas, é altamente eficaz na redução de poluentes. Assim, conclui-se que essa abordagem não é apenas viável, mas também traz benefícios significativos para o meio ambiente. No entanto, é crucial enfatizar a importância de uma regulamentação adequada para assegurar a implementação correta e a manutenção contínua dessas práticas.

Palavras-chave: Saneamento básico, Efluentes domésticos, Tratamento de Efluentes, Saúde Pública, Meio Ambiente.

¹ Discente Faculdade de Engenharia De Minas Gerais-Fheamig

PARAMÉTRICA

Abstract: indicative This work proposes to explore the treatment of domestic sanitary effluents, with emphasis on the use of anaerobic reactors followed by facultative lagoon and maturation lagoons. A literature review was carried out, complemented by an in-depth case study at a Domestic Effluent Treatment Station, to serve a population of 8,865 inhabitants. It was found that the use of anaerobic reactors followed by lagoons is highly effective in reducing pollutants. Thus, it is concluded that this approach is not only viable, but also brings significant benefits to the environment. However, it is crucial to emphasize the importance of adequate regulation to ensure the correct implementation and continuous maintenance of these practices.

Keywords: Sanitation, Domestic Wastewater, Wastewater Treatment, Public Health, Environment.

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos provenientes das atividades diárias em residências, como lavagem, banho, descarga de sanitários e outras tarefas domésticas, são uma fonte considerável de contaminação da água globalmente. Com o crescimento populacional e o aumento das atividades humanas, a necessidade de tratar adequadamente esses resíduos tornou-se uma preocupação ambiental e de saúde pública cada vez mais urgente.

Há uma diversidade de tipos de resíduos domésticos, cuja composição e complexidade variam dependendo das atividades realizadas em cada domicílio e das características socioeconômicas das comunidades. Esses resíduos podem conter diversos contaminantes, incluindo matéria orgânica, nutrientes, substâncias químicas de produtos de limpeza, poluentes emergentes e agentes patogênicos.

Para enfrentar os desafios apresentados pelos resíduos domésticos, uma gama de métodos de tratamento foi desenvolvida e aplicada globalmente. Esses métodos podem envolver processos físicos, biológicos, químicos e tecnologias avançadas, com o objetivo de remover os poluentes e produzir resíduos tratados com qualidade adequada para descarte seguro no meio ambiente ou para reutilização em várias aplicações.

Apesar dos avanços tecnológicos no tratamento de resíduos domésticos, os impactos ambientais da poluição hídrica ainda representam um desafio significativo. Os resíduos não tratados ou tratados inadequadamente podem contaminar corpos d'água superficiais e

PARAMÉTRICA

subterrâneos, resultando na deterioração da qualidade da água, danos à vida aquática e comprometimento dos ecossistemas aquáticos.

Além disso, a poluição hídrica oriunda dos resíduos domésticos pode ter efeitos negativos na saúde pública, aumentando o risco de doenças transmitidas pela água (doenças de veiculação hídrica), como cólera, hepatite e gastroenterite. Portanto, é essencial a implementação de sistemas de tratamento eficazes para mitigar os impactos ambientais e proteger a saúde pública, assegurando a sustentabilidade dos recursos hídricos para as gerações futuras. Este estudo abordará os diferentes tipos de resíduos domésticos, os métodos de tratamento empregados e os impactos ambientais relacionados, demonstrando como é calculada uma estação de tratamento de efluentes sanitários domésticos.

2 A IMPORTÂNCIA DO SANEAMENTO BÁSICO

O saneamento básico, com destaque para as estações de tratamento de efluentes sanitários domésticos, desempenha um papel crucial na promoção da saúde pública e na preservação do meio ambiente. Essas estações são essenciais para remover contaminantes e organismos patogênicos presentes nos esgotos, garantindo a segurança da água e a saúde da população.

Autores como Carlos Tucci, em seu livro "Saneamento Ambiental: Água, Esgoto e Resíduos Sólidos", destacam que o tratamento adequado dos efluentes sanitários é fundamental para prevenir a propagação de doenças transmitidas pela água contaminada, como cólera, hepatite A e outras enfermidades gastrointestinais. Além disso, as estações de tratamento contribuem para reduzir a poluição dos corpos d'água e proteger a biodiversidade aquática.

Em 2022, apenas 56,0% da população brasileira tinha acesso à coleta de esgoto, enquanto 44,0% (mais de 93 milhões de pessoas) não possuía o serviço. Apenas 52,2% do esgoto coletado no Brasil recebia algum tipo de tratamento em 2022. Isso significa que 47,8% do esgoto gerado no país (equivalente a 5,5 mil piscinas olímpicas por dia) era lançado sem tratamento em rios, córregos e mares. A situação é mais crítica na Região Norte, onde apenas 22% do esgoto recebe tratamento (Instituto Trata Brasil, 2024).

O Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab) visa garantir o acesso universalizado ao esgotamento sanitário até 2030, atendendo a pelo menos 88% da população. (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), 2024).

Segundo a ANA (2024), são necessários R\$ 149,5 bilhões para alcançar a universalização, sendo R\$ 101,9 bilhões destinados à coleta e R\$ 47,6 bilhões ao tratamento.

A falta de saneamento básico está relacionada à proliferação de doenças como diarreia, cólera, hepatite A e leptospirose. (Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), 2023). O lançamento de esgoto não tratado nos corpos hídricos causa eutrofização, mortandade de peixes e contamina as fontes de água potável. (Ministério do Meio Ambiente, 2024). A falta de

PARAMÉTRICA

acesso ao saneamento básico afeta principalmente as populações de baixa renda e periféricas, intensificando as desigualdades sociais. (Banco Mundial, 2021).

Portanto, é essencial que haja investimentos contínuos na expansão do saneamento básico, com foco na construção e melhoria das estações de tratamento de efluentes sanitários. Dessa forma, poderemos garantir a saúde e o bem-estar de toda a população brasileira, além de promover a sustentabilidade ambiental.

3 TIPOS DE EFLUENTES SANITÁRIOS DOMÉSTICOS

Os efluentes sanitários domésticos podem ser classificados em diferentes tipos com base em suas características e origens, conforme descrito a seguir.

3.1. Águas Cinzas

São as águas provenientes de atividades domésticas que não incluem materiais fecais. Elas vêm de pias de cozinha, chuveiros, banheiras, máquinas de lavar roupas e lavatórios. As águas cinzas geralmente contêm substâncias como sabão, detergentes, óleos de cozinha e resíduos orgânicos. Segundo Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003), em "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", as águas cinzas representam uma parte significativa do fluxo total de águas residuais domésticas.

3.2. Águas Negras ou Esgoto

São as águas residuais provenientes de banheiros, urinóis e cozinhas, contendo matéria fecal e urina, bem como água de descarga utilizada para transportar esses resíduos. Elas também podem conter substâncias químicas presentes em produtos de limpeza e higiene pessoal. De acordo com Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003) em "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", as águas negras representam uma parte significativa do efluente doméstico e requerem tratamento adequado antes de serem descarregadas no meio ambiente.

3.3. Águas Pluviais

Embora não sejam estritamente efluentes sanitários, as águas pluviais podem se misturar com águas residuais domésticas em sistemas de esgoto combinados. Elas incluem água da chuva coletada de telhados, calhas e superfícies pavimentadas. As águas pluviais podem transportar poluentes, como óleos de automóveis, sedimentos e produtos químicos de fertilizantes, para corpos d'água naturais. Conforme descrito por Hammer, M. J. (2012) em "Water and Waste-Water Technology", a gestão adequada das águas pluviais é essencial para prevenir a poluição e proteger os recursos hídricos.

PARAMÉTRICA**4 MÉTODOS DE TRATAMENTO**

Os métodos de tratamento utilizados para tratar efluentes sanitários domésticos desempenham papéis essenciais na proteção da saúde pública, preservação do meio ambiente e garantia da disponibilidade de recursos hídricos seguros.

Os métodos de tratamento visam remover uma variedade de poluentes orgânicos e inorgânicos presentes nos efluentes sanitários, incluindo matéria orgânica, nutrientes (como nitrogênio e fósforo), metais pesados, substâncias tóxicas e patógenos.

Segundo Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003) em "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", a remoção desses poluentes é crucial para prevenir a contaminação de corpos d'água e proteger a saúde pública.

Os métodos de tratamento reduzem a carga poluente dos efluentes sanitários, o que pode diminuir o impacto negativo sobre os ecossistemas aquáticos receptores e ajudar a atender aos regulamentos ambientais.

Conforme descrito por Hammer, M. J. (2012) em "Water and Waste-Water Technology", a redução da carga poluente também pode beneficiar a qualidade da água potável, pois pode reduzir a necessidade de tratamento convencional da água.

A remoção de patógenos nos efluentes sanitários é fundamental para prevenir a propagação de doenças transmitidas pela água, como cólera, febre tifoide, hepatite e gastroenterite.

Segundo Mara, D. D., & Horan, N. J. (2003) em "Handbook of Water and Wastewater Microbiology", métodos de desinfecção, como cloração, ozonização e radiação ultravioleta, são empregados para garantir a eliminação eficaz de patógenos.

Alguns métodos de tratamento permitem o reúso seguro de água tratada para fins não potáveis, como irrigação agrícola, descarga de vasos sanitários, lavagem de veículos e processos industriais.

De acordo com Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003) em "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", o reúso de água tratada pode conservar recursos hídricos e reduzir a demanda por água potável.

Esses métodos de tratamento têm como objetivo principal proteger a saúde humana, preservar o meio ambiente e promover o uso sustentável dos recursos hídricos.

PARAMÉTRICA**4.1.1.1. Descrição do Tratamento Primário****4.1.1.1.1. Remoção de Sólidos Grosseiros**

O primeiro passo do tratamento primário envolve a remoção de sólidos grosseiros que podem obstruir ou danificar equipamentos de tratamento subsequentes. Isso é frequentemente feito por meio de grades e peneiras.

Segundo Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003) em "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", as grades e peneiras retêm materiais como pedaços de plástico, papel, madeira e outros detritos grandes.

4.1.1.1.2. Sedimentação Primária

Após a remoção dos sólidos grosseiros, o efluente passa por um processo de sedimentação primária, onde ocorre a separação gravitacional de sólidos sedimentáveis.

Conforme descrito por Mara, D. D., & Horan, N. J. (2003) em "Handbook of Water and Wastewater Microbiology", durante a sedimentação primária, os sólidos suspensos mais densos se depositam no fundo do tanque de sedimentação, formando o lodo primário, enquanto os materiais flutuantes, como óleos e graxas, são removidos da superfície.

4.1.1.1.3. Remoção de Materiais Flutuantes

Além da sedimentação, pode ser necessário utilizar sistemas de remoção de materiais flutuantes, como skimmers, para retirar óleos e graxas da superfície do efluente.

De acordo com Hammer, M. J. (2012) em "Water and Waste-Water Technology", a remoção de óleos e graxas é essencial para prevenir problemas de entupimento e deterioração do desempenho em etapas subsequentes do tratamento.

4.1.1.1.4. Disposição de Resíduos

Após a sedimentação e a remoção de materiais flutuantes, os sólidos sedimentáveis acumulados no fundo do tanque de sedimentação, conhecidos como lodo primário, são removidos e podem ser enviados para tratamento adicional ou descarte adequado.

Segundo Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003) em "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", o lodo primário geralmente é submetido a processos de espessamento e digestão anaeróbia antes do descarte final.

Portanto, o tratamento primário de efluentes sanitários domésticos é um processo fundamental que remove sólidos sedimentáveis e materiais flutuantes, preparando o efluente para tratamento adicional.

PARAMÉTRICA

4.1.2. Tratamento Secundário

O tratamento secundário visa remover a matéria orgânica dissolvida e suspensão que não foi eliminada no tratamento primário. Isso é geralmente feito por meio de processos biológicos.

Conforme descrito por Hammer, M. J. (2012) em "Water and Waste-Water Technology", métodos comuns de tratamento secundário incluem o processo de lodos ativados, lagoas de estabilização e reatores anaeróbios.

4.1.2.1. Descrição do Tratamento Secundário

4.1.2.1.1. Processos Biológicos Aeróbios

Uma abordagem comum no tratamento secundário é o uso de processos biológicos aeróbios, onde microrganismos aeróbios metabolizam a matéria orgânica presente no efluente, convertendo-a em formas mais estáveis, como CO₂ e água.

Conforme descrito por Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003) em "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", o processo de lodos ativados é um dos métodos aeróbios mais amplamente utilizados, onde microrganismos suspensos em uma mistura de efluente e lodo reciclado consomem matéria orgânica, resultando na formação de lodo biológico floculento que pode ser separado do efluente em um clarificador.

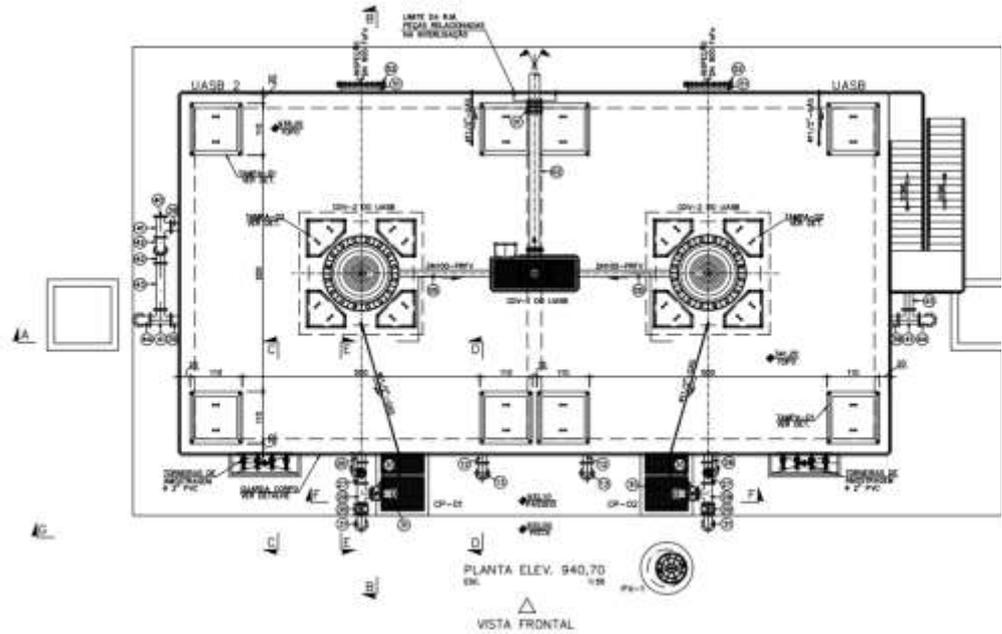
4.1.2.1.2. Processos Biológicos Anaeróbios

Além dos processos aeróbios, os processos biológicos anaeróbios também podem ser empregados no tratamento secundário. Nesses processos, microrganismos anaeróbios degradam a matéria orgânica na ausência de oxigênio, produzindo biogás e lodo digerido.

Segundo Mara, D. D., & Horan, N. J. (2003) em "Handbook of Water and Wastewater Microbiology", reatores anaeróbios de fluxo ascendente (UASB) e reatores de manta de lodo são exemplos comuns de sistemas de tratamento anaeróbio utilizados no tratamento de efluentes sanitários domésticos, conforme ilustrado nas Figura 2 e 3.

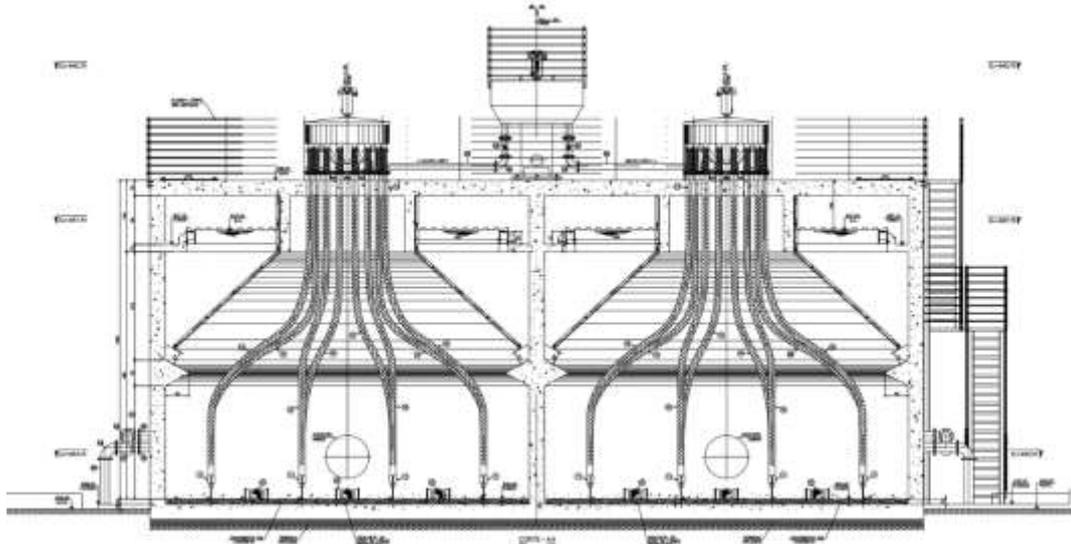
PARAMÉTRICA

Figura 2: Exemplo de um reator anaeróbio de fluxo ascendente, vista em planta.



Fonte: Enprocon (2024)

Figura 3: Exemplo de um reator anaeróbio de fluxo ascendente, vista em corte.



Fonte: Enprocon (2024)

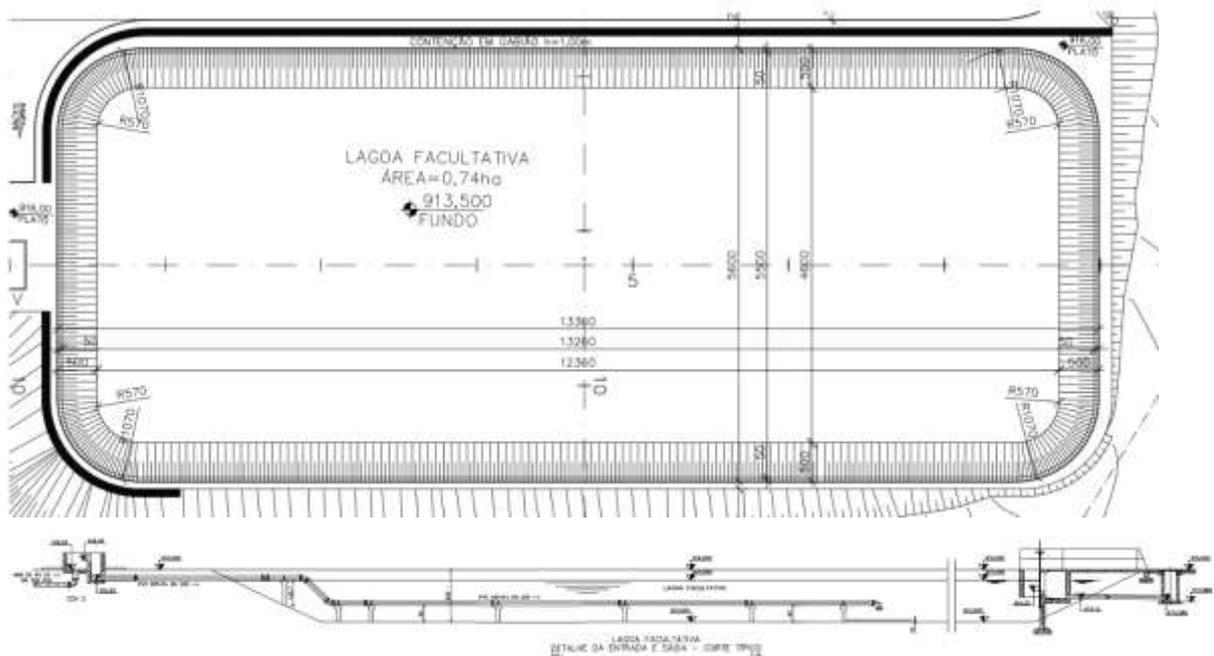
4.1.2.1.3. Lagoas de Oxidação

PARAMÉTRICA

Uma alternativa para o tratamento secundário é o uso de lagoas de oxidação, onde o efluente é despejado em uma lagoa aerada, proporcionando condições favoráveis para o crescimento de micro-organismos aeróbios que degradam a matéria orgânica.

De acordo com Hammer, M. J. (2012) em "Water and Waste-Water Technology", as lagoas de oxidação podem ser eficazes em áreas onde há espaço disponível, topografia favorável e condições climáticas adequadas para promover a atividade microbiana, conforme ilustrado nas Figuras 4 e 5.

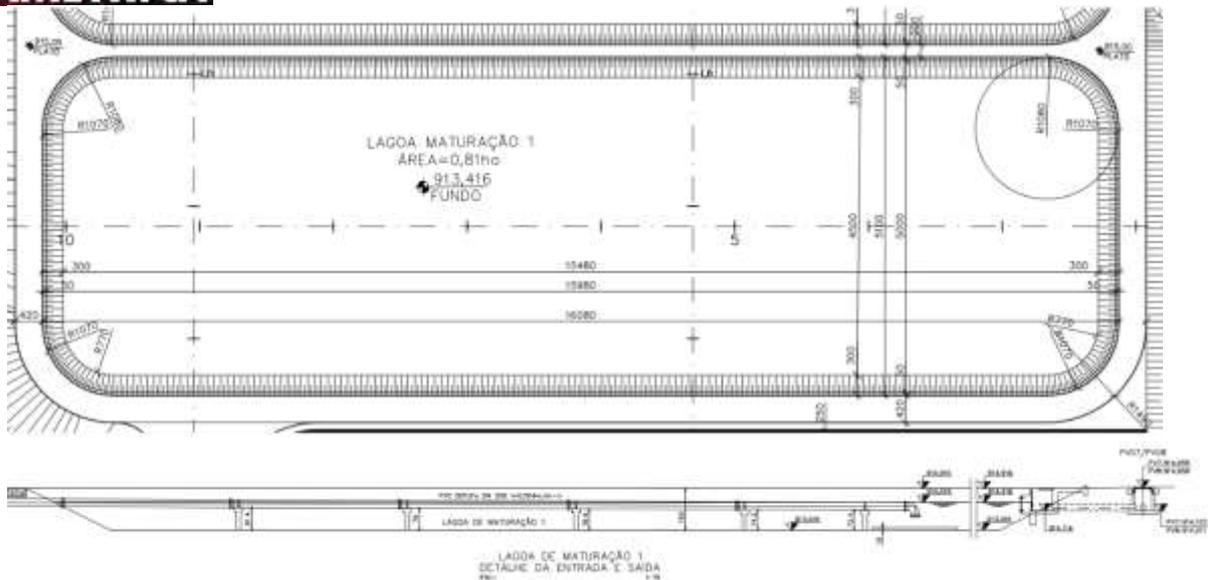
Figura 4: Exemplo de uma lagoa facultativa, vista em planta e corte longitudinal.



Fonte: Enprocon (2024)

Figura 5: Exemplo de uma lagoa de maturação, vista em planta e corte longitudinal.

PARAMÉTRICA



Fonte: Enprocon (2024)

4.1.2.1.4. Remoção de Nutrientes

Em alguns casos, o tratamento secundário também pode envolver a remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo, que podem contribuir para a eutrofização de corpos d'água receptores.

Conforme mencionado por Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003) em "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", métodos como o processo de lodos ativados com remoção biológica de nutrientes (desnitrificação e fosfatação biológica) podem ser empregados para alcançar essa remoção.

Em resumo, o tratamento secundário de efluentes sanitários domésticos emprega uma variedade de processos biológicos para remover matéria orgânica dissolvida e suspensa, tornando o efluente mais seguro para descarte ou reúso.

4.1.3. Tratamento Terciário

O tratamento terciário é aplicado para remover poluentes específicos que não foram adequadamente tratados nos estágios anteriores, como nutrientes, micropoluentes e patógenos.

Segundo Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003) em "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", métodos de tratamento terciário incluem

PARAMÉTRICA

filtração de membrana, adsorção com carvão ativado e desinfecção com cloro ou radiação ultravioleta.

O tratamento terciário de efluentes sanitários domésticos refere-se a um estágio avançado no processo de tratamento de águas residuais, que visa remover poluentes específicos que não foram adequadamente tratados nos estágios anteriores, como nutrientes, micropoluentes e patógenos.

4.1.3.1. Descrição do Tratamento Terciário

4.1.3.1.1. Filtração de Membrana

A filtração de membrana é um método eficaz no tratamento terciário, que envolve a passagem do efluente através de membranas porosas que retêm partículas, bactérias e vírus.

Conforme descrito por Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003) em "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", a filtração de membrana pode produzir um efluente de alta qualidade, livre de sólidos suspensos e patógenos, tornando-o adequado para reúso ou descarga em corpos d'água sensíveis.

4.1.3.1.2. Adsorção com Carvão Ativado

A adsorção com carvão ativado é outra técnica comum no tratamento terciário, onde o efluente é passado através de colunas preenchidas com carvão ativado, que adsorve compostos orgânicos, produtos farmacêuticos e outros poluentes.

Segundo Hammer, M. J. (2012) em "Water and Waste-Water Technology", a adsorção com carvão ativado é altamente eficaz na remoção de micropoluentes e substâncias químicas indesejadas, produzindo um efluente de alta qualidade.

4.1.3.1.3. Desinfecção Avançada

Além dos métodos de filtração e adsorção, a desinfecção avançada é frequentemente empregada no tratamento terciário para garantir a remoção eficaz de patógenos remanescentes no efluente.

Conforme mencionado por Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003) em "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", métodos de desinfecção avançada incluem a utilização de ozônio, radiação ultravioleta (UV) e processos de oxidação avançada, como a ozonização.

PARAMÉTRICA

4.1.3.1.4. Remoção de Nutrientes

Em algumas situações, o tratamento terciário pode envolver a remoção adicional de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, para atender a padrões mais rigorosos de qualidade da água ou para evitar a eutrofização de corpos d'água receptores.

Segundo Mara, D. D., & Horan, N. J. (2003) em "Handbook of Water and Wastewater Microbiology", técnicas como a desnitrificação biológica e a precipitação química podem ser aplicadas para remover nutrientes do efluente.

Em resumo, o tratamento terciário de efluentes sanitários domésticos emprega uma variedade de técnicas avançadas para remover poluentes específicos e produzir um efluente de alta qualidade.

4.1.4. Processos Avançados de Tratamento

Além dos métodos convencionais, há uma variedade de processos avançados de tratamento que podem ser aplicados para atender a padrões mais rigorosos de qualidade da água ou para reutilização.

Conforme mencionado por Mara, D. D., & Horan, N. J. (2003) em "Handbook of Water and Wastewater Microbiology", esses processos podem incluir ozonização, processos de membrana avançados (como osmose reversa) e processos de precipitação química.

Os métodos avançados de tratamento utilizados para tratar efluentes sanitários domésticos desempenham um papel crucial na remoção eficiente de poluentes específicos e na produção de efluentes de alta qualidade.

4.1.4.1. Remoção de Micropoluentes e Substâncias Químicas

Os métodos avançados de tratamento são projetados para remover micropoluentes, como produtos farmacêuticos, hormônios, produtos de cuidados pessoais e outros compostos orgânicos persistentes que podem não ser efetivamente removidos pelos métodos convencionais de tratamento.

Segundo Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003) em "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", técnicas como adsorção com carvão ativado, filtração de membrana e processos de oxidação avançada são eficazes na remoção desses poluentes.

PARAMÉTRICA**4.1.4.2. Desinfecção Avançada e Inativação de Patógenos**

Além da desinfecção convencional, os métodos avançados de tratamento visam a inativação mais eficiente de patógenos, como bactérias, vírus e protozoários, presentes nos efluentes sanitários.

Conforme descrito por Hammer, M. J. (2012) em "Water and Waste-Water Technology", técnicas como ozonização, radiação ultravioleta (UV) e processos de oxidação avançada são capazes de proporcionar uma desinfecção mais completa e rápida.

4.1.4.3. Produção de Efluente de Alta Qualidade para Reúso

Os métodos avançados de tratamento permitem a produção de efluentes de alta qualidade, que atendem a padrões mais rigorosos e são adequados para reúso em diversas aplicações não potáveis, como irrigação agrícola, recarga de aquíferos, uso industrial e descarga em corpos d'água receptores sensíveis.

Segundo Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003) em "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", a filtração de membrana e a desinfecção avançada são essenciais para produzir um efluente de alta qualidade para reúso.

4.1.4.4. Redução do Impacto Ambiental

Ao remover poluentes específicos e produzir efluentes de alta qualidade, os métodos avançados de tratamento ajudam a reduzir o impacto ambiental dos efluentes sanitários, protegendo a qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos receptores.

Conforme mencionado por Mara, D. D., & Horan, N. J. (2003) em "Handbook of Water and Wastewater Microbiology", a aplicação desses métodos contribui para a conservação e preservação dos recursos hídricos.

Esses métodos avançados de tratamento desempenham um papel essencial na produção de efluentes de alta qualidade e na proteção do meio ambiente.

5 IMPACTO AMBIENTAL

O tratamento adequado de efluentes sanitários pode mitigar significativamente os impactos ambientais adversos, protegendo ecossistemas aquáticos, reduzindo a poluição e preservando a qualidade da água.

PARAMÉTRICA

O tratamento adequado de efluentes sanitários visa reduzir a carga poluente liberada nos corpos d'água receptores. Isso é alcançado através da remoção de poluentes como matéria orgânica, nutrientes, metais pesados e substâncias tóxicas presentes nos efluentes.

Conforme descrito por Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003) em "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", métodos de tratamento como sedimentação, processos biológicos e desinfecção são eficazes na redução da carga poluente e na prevenção da deterioração da qualidade da água.

O tratamento adequado de efluentes sanitários protege os ecossistemas aquáticos receptores, minimizando os efeitos adversos da poluição nos habitats aquáticos e na vida selvagem aquática.

Segundo Mara, D. D., & Horan, N. J. (2003) em "Handbook of Water and Wastewater Microbiology", a remoção de nutrientes e matéria orgânica dos efluentes contribui para prevenir a eutrofização (produção excessiva de algas) de corpos d'água, mantendo um equilíbrio saudável nos ecossistemas aquáticos.

O tratamento adequado de efluentes sanitários resulta em uma melhoria significativa na qualidade da água, tornando-a adequada para usos recreativos, abastecimento público, preservação da vida aquática e conservação dos ecossistemas aquáticos.

Conforme mencionado por Hammer, M. J. (2012) em "Water and Waste-Water Technology", métodos de tratamento como filtração de membrana, adsorção com carvão ativado e desinfecção avançada produzem efluentes de alta qualidade que atendem aos padrões de qualidade da água.

O tratamento adequado de efluentes sanitários reduz os riscos à saúde pública associados à contaminação da água por patógenos e substâncias químicas tóxicas, protegendo as comunidades que dependem desses recursos hídricos para abastecimento de água e recreação.

Segundo Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003) em "Wastewater Engineering: Treatment and Reuse", a desinfecção eficaz dos efluentes sanitários ajuda a prevenir a propagação de doenças transmitidas pela água.

Em resumo, o tratamento adequado de efluentes sanitários desempenha um papel crucial na mitigação dos impactos ambientais, protegendo ecossistemas aquáticos, melhorando a qualidade da água e reduzindo os riscos à saúde pública.

PARAMÉTRICA

6 ESTUDO DE CASO

Neste estudo será apresentado o projeto de uma Estação de Tratamento de Efluentes Sanitários Domésticos, desenvolvida para tratar os efluentes gerados por uma população de 8.865 habitantes.

6.1. Estação de Tratamento de Efluentes

Uma estação de tratamento de efluentes sanitários domésticos é uma instalação projetada para remover contaminantes e poluentes do esgoto doméstico e industrial antes que ele seja devolvido ao meio ambiente.

O sistema de esgotos central de um Município localizado na região oeste de Minas Gerais, com uma população de inicial de 8.752 habitantes em 2022, contará com uma Estação de Tratamento, a ser implantada na margem direita do curso d'água sem denominação.

A Estação de Tratamento deverá tratar os esgotos a nível secundário, sendo constituída das seguintes unidades:

- Tratamento Preliminar (grade fina, peneira e caixa de areia mecanizada);
- reatores anaeróbios;
- Lagoa Facultativa;
- Lagoas de Maturação
- Disposição do lodo em aterro controlado.

A Estação de Tratamento deverá atender as seguintes demandas:

- Ano 2.022 8.752 hab Qmed = 17,73 l/s.
- Ano 2.031 8.865 hab Qmed = 17,96 l/s.
- Ano 2.041 8.618 hab Qmed = 17,46 l/s.

Para este sistema são esperados os seguintes limites para os parâmetros básicos:

- DBO5 do efluente < 30 mg/l
- SST < 30 mg/l
- N-amoniaco do efluente > 20 mg/l
- Lodo produzido: 25 a 30 g SST/hab.dia

O sistema de tratamento somente com reator UASB apresenta as seguintes características:

PARAMÉTRICA

- DBO5 do efluente = 60 a 120 mg/l
- SST do efluente = 40 a 80 mg/l
- N-amoniaco do efluente > 30 mg/l
- Lodo produzido: 15 a 20 g SST/hab.dia (estabilizado)

Os efluentes dos reatores não atendem às exigências da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH- MG n.º 1, de 05/05/2008, requerendo tratamento secundário complementar.

O tratamento com a utilização de Reatores UASB seguidos por sistema de lagoas de estabilização reduzindo a carga de coliformes em mais de 90%.

Para redução da carga de coliformes, mesmo considerando a grande diluição do corpo receptor, a eficiência do tratamento deverá ser de no mínimo 99,99%.

O quadro apresentado a seguir ilustra a modulação proposta para as unidades.

Quadro 1: Modulação das unidades.

Unidades	1ª etapa
Reatores UASB	2 módulos
Lagoa Facultativa	1 unidade
Lagoa de Maturação	2 unidades

Fonte: Enprocon (2024)

Na tabela 1, a seguir é apresentado as características do efluente a ser tratado.

Tabela 1: Características do efluente a ser tratado.

ANO	VAZÃO DOMÉSTICA (l/s)			VAZÃO INFIL. (l/s)	VAZÃO INDUST. (l/s)	VAZÃO TOTAL (l/s) (com infiltração)			POPULAÇÃO
	Mínima	Média	Máxima			Mínima	Média	Máxima	
Início 2022	7,09	14,18	25,52	3,55	0,00	10,64	17,73	29,07	8.752
1ª Etapa 2031	7,18	14,37	25,86	3,59	0,00	10,77	17,96	29,45	8.865
Final 2041	6,98	13,97	25,14	3,49	0,00	10,47	17,46	28,63	8.618

PARAMÉTRICA

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fonte: Enprocon (2024)

Na tabela 2, a seguir é apresentado Projeto de implantação da Estação de Tratamento de Efluente Sanitário, ao clicar no link, será aberto o documento em pdf.

Tabela 2: Projeto Implantação Estação de Tratamento

https://drive.google.com/file/d/1H9q85Etf_xS5q8oDG4ySpXKX4qXQy1uj/view?usp=sharing

Projeto Implantação
Estação de Tratamento
de Efluente Sanitário -
Planta

Fonte: Enprocon (2024)

6.1.1. Tratamento Preliminar

O Tratamento Preliminar – TP tem por finalidade dotar os esgotos de características favoráveis às operações subsequentes.

O TP será composto de calha Parshall, gradeamento e desarenador, instalados em linha, com condições de retirar todo o material grosseiro e o sólido fino carregados junto com o efluente. Para auxiliar na retirada do material grosseiro será utilizado um rastelo de limpeza, que será confeccionado em alumínio rebitado, com espessura mínima de 6,35 mm.

6.1.1.1. Medidor ou Calha Parshall

O medidor Parshall, também conhecido como calha Parshall, é um dispositivo hidráulico que tem como principal função a medição do fluxo de líquidos em canais abertos (Di Bernardo & Dantas, 2005). Ele é amplamente utilizado em diversas aplicações, como em rios, canais de irrigação e sistemas de tratamento de água e esgoto.

O design do medidor Parshall é composto por uma seção convergente seguida por uma seção divergente. Esta configuração cria uma restrição no fluxo de água, o que permite que a altura da água no medidor seja correlacionada com a vazão do líquido (Di Bernardo & Dantas, 2005).

Para calcular a vazão em um medidor Parshall, uma fórmula comumente utilizada é $Q=KxH^n$, onde:

Q representa a vazão em metros cúbicos por segundo (m^3/s),

K é o coeficiente de descarga adimensional específico para o medidor Parshall,

PARAMÉTRICA

H_a é a altura da água acima do fundo do canal em metros (m),

n é um expoente, geralmente próximo a 1,5 ou 2,5, que varia de acordo com as características do medidor Parshall (Universidade Federal de Goiás, 2020).

É importante ressaltar que a precisão das medições realizadas com um medidor Parshall pode ser afetada por diversos fatores, tais como a uniformidade do escoamento, a precisão na medição da altura da água e a presença de sedimentos no canal. Portanto, calibrações periódicas são necessárias para garantir a exatidão das estimativas de vazão (Di Bernardo & Dantas, 2005).

Cálculo do medidor:

Medidor Sugerido : $w = 3'' / 7,60 \text{ cm}$

Vazão: Máxima : 53,80 l/s

Mínima : 0,85 l/s

Medidor Adotado : $w = 3''$ ou $w = 7,60 \text{ cm}$

Altura d'água no canal do medidor Parshall - H_a - (m):

$$Q = K \times H_a^n$$

$$n = \dots\dots\dots 1,547$$

$$K = \dots\dots\dots 0,176$$

.. Ano 2022

$$Q_{\text{máx}} = 29,07 \text{ l/s}$$

$$H_{a \text{ máx.}} = 0,312 \text{ m}$$

$$Q_{\text{med}} = 17,73 \text{ l/s}$$

$$H_{a \text{ máx.}} = 0,227 \text{ m}$$

$$Q_{\text{mín}} = 10,64 \text{ l/s}$$

$$H_{a \text{ mín}} = 0,163 \text{ m}$$

.. Ano 2041

$$Q_{\text{máx}} = 28,63 \text{ l/s}$$

$$H_{a \text{ máx.}} = 0,309 \text{ m}$$

$$Q_{\text{med}} = 17,46 \text{ l/s}$$

$$H_{a \text{ máx.}} = 0,225 \text{ m}$$

$$Q_{\text{mín}} = 10,47 \text{ l/s}$$

$$H_{a \text{ mín}} = 0,161 \text{ m}$$

Rebaixamento do Canal Parshall :

A fórmula $\frac{Q_{\text{mín}}}{Q_{\text{máx}}} = \frac{H_{a \text{ mín}} - Z}{H_{a \text{ máx}} - Z}$ é utilizada para calcular o rebaixamento (Z), em um medidor Parshall, onde:

- $Q_{\text{mín}}$ representa a vazão mínima possível medida pelo medidor Parshall.
- $Q_{\text{máx}}$ representa a vazão máxima possível medida pelo medidor Parshall.
- $H_{a \text{ mín}}$ é a altura mínima da água acima do fundo do canal na seção convergente.
- $H_{a \text{ máx}}$ é a altura máxima da água acima do fundo do canal na seção convergente.

PARAMÉTRICARebaixamento a ser feito no Canal Parshall - Z (m)

$$\frac{Q_{\min.}}{Q_{\max.}} = \frac{Ha_{\min} - Z}{Ha_{\max} - Z}$$

$$\frac{10,64}{28,63} = \frac{0,163 - Z}{0,309 - Z} \ggg 0,077 \text{ m}$$

Valor de Z adotado (m) 0,07**6.1.1.2. Caixa de areia ou desarenador**

O desarenador é uma estrutura projetada para remover areia e outros sólidos grosseiros do esgoto bruto antes que ele passe para as etapas subsequentes de tratamento.

Cálculo do desarenador:

Altura máxima da água:

Calcular a altura máxima da água no desarenador é essencial para garantir a eficiência operacional e a remoção adequada de sólidos sedimentáveis. Esta prática é mencionada por diversos autores especializados em engenharia sanitária e tratamento de águas residuais.

Segundo Von Sperling (2019), a altura máxima da água no desarenador deve ser determinada com cuidado para evitar a ressuspensão de sedimentos sedimentados e garantir uma velocidade de escoamento adequada para a sedimentação eficaz dos sólidos.

A altura máxima da água (H_m) no desarenador pode ser calculada subtraindo o rebaixamento (Z) da altura máxima da água acima do fundo do canal (Ha_{\max}). Essa fórmula pode ser representada da seguinte maneira:

$$H_m = Ha_{\max} - Z$$

Onde:

- H_m é a altura máxima da água no desarenador;
- Ha_{\max} é a altura máxima da água acima do fundo do canal;
- Z é o rebaixamento.

Essa fórmula é utilizada para garantir que a altura da água no desarenador seja adequadamente ajustada levando em consideração o rebaixamento causado pela estrutura do desarenador.

PARAMÉTRICA**Altura máxima da água na caixa de areia - H_m (m):**

$$H_m = H_a \text{ máx.} - Z$$

$$H_a \text{ máx} = 0,309$$

$$H_m = 0,309 - 0,070 \gg H_m = 0,24 \text{ m}$$

Área útil da seção transversal (S_u):

A fórmula para calcular a área útil da seção transversal do canal da caixa de areia S_u (m^2) em função da altura máxima da água no desarenador (H_m) e da largura (b) do canal é simplesmente a multiplicação desses dois valores:

$$S_u = H_m \times b \text{ (Von Sperling, M. 2019)}$$

Onde:

- S_u é a área útil da seção transversal do canal da caixa de areia, medida em metros quadrados (m^2);
- H_m é a altura máxima da água no desarenador, medida em metros (m);
- b é a largura do canal da caixa de areia, medida em metros (m).

Essa fórmula é utilizada para calcular a área do canal da caixa de areia com base na altura máxima da água e na largura do canal, permitindo dimensionar adequadamente a estrutura para garantir a remoção eficaz de sólidos sedimentáveis.

Portanto, se faz necessário calcular a largura da caixa de areia (b), para calcularmos b , utilizaremos a fórmula $b = \frac{Q}{H_m \times V_1}$ (Von Sperling, M. 2019).

Onde:

- b é a largura da caixa de areia, medida em metros (m);
- Q é a vazão de água a ser tratada, medida em metros cúbicos por segundo (m^3/s);
- V_1 é a velocidade do escoamento no desarenador, medida em metros por segundo (m/s);
- H_m é a altura máxima da água no desarenador, medida em metros (m).

PARAMÉTRICAVel. arbitrada na caixa de areia: $V1 = 0,30 \text{ m/s}$ Largura da caixa de areia : b

$$b = \frac{Q}{Hm \times V1}$$

$$b = \frac{0,02863}{0,24 \times 0,30} = 0,40 \text{ m}$$

Largura da caixa de areia a ser adotada (m) 0,40

$$Su = Hm \times b \ggg 0,24 \times 0,40 \ggg S 0,10 \text{ m}^2$$

Velocidade do escoamento ($V1$):

Para calcular a velocidade na caixa de areia, podemos utilizar a equação da velocidade média do escoamento, que é dada pela razão entre a vazão (Q) e a área da seção transversal do canal (A):

$$V = \frac{Q}{A} \text{ (Von Sperling, M. 2019)}$$

Sabendo que a área da seção transversal (A) é igual à altura da água no desarenador (Hm) multiplicada pela largura do canal (b), podemos substituir A na equação:

$$V = \frac{Q}{Hm \times b} \text{ (Von Sperling, M. 2019)}$$

Onde:

- V é a velocidade do escoamento na caixa de areia, medida em metros por segundo (m/s);
- Q é a vazão de água a ser tratada, medida em metros cúbicos por segundo (m^3/s);
- Hm é a altura máxima da água no desarenador, medida em metros (m);
- b é a largura do canal da caixa de areia, medida em metros (m).

Essa fórmula permite calcular a velocidade do escoamento na caixa de areia com base na vazão de água a ser tratada, na altura máxima da água no desarenador e na largura do canal.

$$V1 = \frac{0,0291}{0,242 \times 0,40} = 0,30 \text{ m/s}$$

Comprimento da caixa de areia (L):

PARAMÉTRICA

A fórmula apresentada, $L = 25 \times Hm$ (Von Sperling, M. 2019), é utilizada para calcular o comprimento da caixa de areia em função da altura máxima da água (Hm), é uma simplificação comumente utilizada em projetos de tratamento de águas residuais.

Comprimento da caixa de areia - L - (m):

$$L = 25 \times Hm \ggg 25,00 \times 0,24 \ggg 5,98 \text{ m}$$

Comprimento da caixa de areia adotado (m) 6,00

Área da superfície útil da caixa de areia - A_s (m²):

A fórmula apresentada, $A_s = L \times b$ (Von Sperling, M. 2019), é utilizada para calcular a área útil da seção transversal do canal da caixa de areia, onde:

- A_s é a área útil da seção transversal do canal da caixa de areia, medida em metros quadrados (m²);
- L é o comprimento da caixa de areia, medido em metros (m);
- b é a largura do canal da caixa de areia, medida em metros (m).

Essa fórmula é fundamental para determinar a área do canal da caixa de areia, garantindo espaço suficiente para o fluxo de água e a sedimentação adequada dos sólidos.

Área da superfície útil da caixa de areia - A_s - (m²):

$$A_s = L \times b \ggg 6,00 \times 0,40 \ggg A_s = 2,40 \text{ m}^2$$

Taxa de escoamento superficial T_e (m³/m²xdia):

A taxa de escoamento superficial (T_e) é uma medida utilizada para expressar a vazão de água por unidade de área e tempo. É calculada dividindo-se a vazão média (Q_{med}) pela área útil da seção transversal (A_s), e geralmente é expressa em metros cúbicos por metro quadrado por dia (m³/m²xdia).

$$T_e = \frac{Q_{med}}{A_s} \text{ (Von Sperling, M. 2019)}$$

Onde:

- T_e é a taxa de escoamento superficial, medida em metros cúbicos por metro quadrado por dia (m³/m²xdia);

PARAMÉTRICA

- Q_{med} é a vazão média de água a ser tratada, medida em metros cúbicos por segundo (m^3/s) ou em outro intervalo de tempo apropriado;
- As é a área útil da seção transversal do canal da caixa de areia, medida em metros quadrados (m^2).

Essa taxa é importante para avaliar a intensidade do escoamento de água sobre uma determinada área e é comumente utilizada em estudos hidrológicos e projetos de tratamento de águas pluviais e esgoto.

Taxa de escoamento superficial - T_e - ($m^3/m^2 \times dia$):

$$\begin{aligned} \text{Para a vazão média : } Q_{med.} &= 0,017 \text{ m}^3/s \quad 1508,26 \text{ m}^3/dia \\ T_e &= \frac{Q_{med}}{As} \ggg \frac{1508,256}{2,4} \ggg T_e = 628,44 \text{ m}^3 / m^2 \times dia \end{aligned}$$

Quantidade de material retido Vol (m^3):

A quantidade de material retido em uma caixa de areia pode variar dependendo de diversos fatores, como a vazão de entrada, a granulometria do material em suspensão na água e a eficiência de sedimentação da caixa de areia. Não existe uma fórmula única para calcular essa quantidade, pois geralmente é determinada empiricamente por meio de amostragens e análises laboratoriais.

No entanto, é possível estimar a quantidade de material retido com base na eficiência de remoção de sólidos suspensos da caixa de areia. Por exemplo, se soubermos a eficiência de remoção da caixa de areia (em porcentagem) e a vazão de água tratada durante um determinado período, podemos multiplicar a vazão pela eficiência para obter uma estimativa da quantidade de material retido.

Quantidade de material retido = $Q_{med} \times Efic. \text{ de remoção} \times \text{Tempo de operação}$ (Von Sperling, M. 2019)

Q_{med} : 1.508,26 m^3/dia

Período de limpeza: 15 dias

Quantidade de material retido: 0,03 l/m^3

$$\text{Quantidade de material retido} = \left(\frac{1.508,26 \times 0,03}{1000} \right) \times 15 = 0,68 \text{ m}^3$$

Altura do depósito na caixa de areia (H_d):

PARAMÉTRICA

É utilizada para monitorar e controlar a altura do depósito na caixa de areia, garantindo que não exceda a capacidade de armazenamento e comprometa a eficiência de remoção de sólidos suspensos.

A fórmula apresentada, $Hd = \frac{Vol}{As}$ (Von Sperling, M. 2019), é utilizada para calcular a altura do depósito na caixa de areia (hd), onde:

- hd é a altura do depósito na caixa de areia, medida em metros (m);
- Vol é o volume de material retido na caixa de areia, medido em metros cúbicos (m³);
- As é a área útil da seção transversal do canal da caixa de areia, medida em metros quadrados (m²).

Altura do depósito na Caixa de Areia - hd - (m):

$$hd = \frac{Vol}{As} \ggg \frac{0,679}{2,40} \quad hd = 0,2829 \text{ m}$$

Altura do depósito adotada 0,30 m

Gradeamento:

O gradeamento para tratamento preliminar de esgoto é uma etapa fundamental no processo de tratamento de águas residuais, sendo responsável pela remoção de materiais sólidos grosseiros presentes no esgoto. Este processo consiste na passagem do esgoto por grades, que retêm materiais como pedaços de madeira, plásticos, papel, entre outros detritos de grande porte, evitando danos aos equipamentos e obstruções em etapas posteriores do tratamento.

Segundo Cunha e Von Sperling (2019), o gradeamento é a primeira etapa do tratamento preliminar de esgotos, sendo essencial para proteger os equipamentos subsequentes do processo de possíveis danos causados por sólidos grosseiros. De acordo com Amaral et al. (2017), a remoção eficiente desses materiais é crucial para garantir a eficácia e a durabilidade das unidades de tratamento biológico e físico-químico.

Grade mecânica fina:

Para se calcular a eficiência do processo de remoção de sólidos grosseiros pela grade mecânica fina, é utilizada a fórmula $E = \frac{e}{e+t}$ (Von Sperling, M. 2019). Nesse contexto, ela representa a eficiência do gradeamento em capturar os sólidos que realmente precisam ser removidos em relação ao total de sólidos que passam pelo sistema.

- e representa o número de sólidos capturados efetivamente pelo gradeamento (eventos de interesse);

PARAMÉTRICA

- t representa o total de sólidos que poderiam ter sido capturados pelo gradeamento (total de eventos).

Essa fórmula é útil para avaliar a eficácia do gradeamento em reter os sólidos grosseiros presentes na água de entrada. Quanto maior o valor de E , mais eficiente é o gradeamento em capturar os sólidos.

Característica da Grade:

- .. Espessura das barras (t) : 3/8 "
- .. Abertura entre barras (e) : 1,0 cm
- .. Velocidade a ser considerada na grade (m/s) : 0,60

Eficiência

$$E = \frac{e}{e + t} = \frac{0,39370}{0,768701} \gg \gg E \quad 51,2\%$$

Número de canais adotados 1

Grade mecânica grossa:

Para se calcular a eficiência do processo de remoção de sólidos grosseiros pela grade mecânica fina, é utilizada a fórmula $E = \frac{e}{e+t}$ (Von Sperling, M. 2019). Nesse contexto, ela representa a eficiência do gradeamento em capturar os sólidos que realmente precisam ser removidos em relação ao total de sólidos que passam pelo sistema.

- e representa o número de sólidos capturados efetivamente pelo gradeamento (eventos de interesse);
- t representa o total de sólidos que poderiam ter sido capturados pelo gradeamento (total de eventos).

Essa fórmula é útil para avaliar a eficácia do gradeamento em reter os sólidos grosseiros presentes na água de entrada. Quanto maior o valor de E , mais eficiente é o gradeamento em capturar os sólidos.

PARAMÉTRICA**Característica da Grade:**

.. Espessura das barras (t) :	3/8 "
.. Abertura entre barras (e) :	3,0 cm
.. Velocidade a ser considerada na grade (m/s) :	0,60

Eficiência

$$E = \frac{e}{e + t} = \frac{1,18110}{1,556102} \gg E = 75,9\%$$

. Número de canais adotados	1
-----------------------------------	---

Na tabela 3, a seguir é apresentado Projeto do Tratamento Preliminar, ao clicar no link, será aberto o documento em pdf.

Tabela 3: Projeto Tratamento Preliminar

<https://drive.google.com/file/d/1jfOMRvxVDgFd8MdpBdxE8NPhTWo52yOQ/view?usp=sharing>

<https://drive.google.com/file/d/1L7kAwXxiuiEhC7uOzxurvPyD3hROLjl/view?usp=sharing>

Projeto Tratamento Preliminar – Planta, Cortes e Detalhes
Projeto Tratamento Preliminar – Cortes e Detalhes

Fonte: Enprocon (2024)

6.1.2. Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo

É de fundamental importância à partida e a operação do sistema com acompanhamento técnico e monitoramento dos parâmetros envolvidos. Os reatores anaeróbios (UASB) propostos terão as seguintes características:

- Número de Células 2
- Formato: Quadrado
- Comprimento: 7,00 m
- Altura Líquida 5,20 m
- Tempo de Detenção final de plano
 - Vazão média 8,11 m³/h
 - Vazão máxima 4,94 m³/h
- Eficiência na remoção de DBO 70%

PARAMÉTRICA

- Eficiência na remoção de coliformes 30%

O dimensionamento de um reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) envolve um conjunto de etapas interligadas que visam determinar as dimensões e características adequadas para o tratamento eficaz do efluente desejado. Este processo exige rigor técnico e consideração de diversos parâmetros, a fim de garantir a eficiência do sistema e atender às normas e regulamentações pertinentes.

Dados para o cálculo do reator:

Tabela 4: Vazão utilizada no dimensionamento.

	Com Infiltração		Sem Infiltração	
$Q_{\text{máx}} =$	28,63 l/s	103,07 m ³ /h	25,14 l/s	90,50 m ³ /h
$Q_{\text{méd}} =$	17,46 l/s	62,84 m ³ /h	13,97 l/s	50,28 m ³ /h

Fonte: Enprocon (2024)

Células a implantar em Início de Plano	2
Células a implantar em Final de Plano	0
Número final de células (N)	2
Número de células por módulo	2
População por Célula em Início de Plano	4.376
População por Célula em 1ª Etapa	4.433
População por Célula em Final de Plano	4.309
Carga DBO per capita	54,0 gDBO/hab x dia

Cálculo do reator:

Carga Orgânica: Quantidade de matéria orgânica a ser removida por dia, expressa em kg DBO/dia ou kg DQO/dia.

A Carga Orgânica (S_o) representa a quantidade de matéria orgânica presente em um efluente a ser tratado, geralmente expressa em kg de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) por dia (kg DBO/dia) ou kg de DQO (Demanda Química de Oxigênio) por dia (kg DQO/dia). O cálculo da S_o é fundamental para dimensionar e avaliar o desempenho de sistemas de tratamento de águas residuais.

Essa fórmula utiliza dados populacionais e a carga DBO per capita para estimar a S_o . É útil quando se tem informações sobre a população que contribui para o efluente a ser tratado.



$$S_o = \frac{((\text{população (hab)} \times \text{carga DBO per capita (gDBO/hab x dia)} \times 1000))}{86400}$$

(Chernicharo 2007)

Onde:

S_o: Carga Orgânica (kg DBO/dia)

População: Quantidade de habitantes (hab)

Carga DBO per capita: Quantidade média de DBO gerada por pessoa por dia (g DBO/hab x dia)

em Início de Plano	308,56	mgDBO/l =>>>	0,309	kgDBO/m ³
em 1ª Etapa	308,56	mgDBO/l =>>>	0,309	kgDBO/m ³
em Final de Plano	308,55	mgDBO/l =>>>	0,309	kgDBO/m ³

Relação entre DQO/DBO (entre 1,7 a 2,4)..... 1,7

Concentração do DQO afluente (*S_o*)

em Início de Plano	524,54	mgDQO/l =>>>	0,525	kgDQO/m ³
em 1ª Etapa	524,54	mgDQO/l =>>>	0,525	kgDQO/m ³
em Final de Plano	524,53	mgDQO/l =>>>	0,525	kgDQO/m ³

Cálculo da carga afluente média de DQO (*Lo*):

A Carga Afluente Média de DQO (*Lo*) é um parâmetro fundamental para o dimensionamento e operação de sistemas de tratamento de águas residuais, representando a quantidade total de matéria orgânica presente no efluente a ser tratado, expressa em kg DQO (Demanda Química de Oxigênio) por dia (kg DQO/dia). Para a realização do cálculo é utilizada a fórmula a seguir:

$$Lo = So \times Q_{média} \text{ (Chernicharo 2007)}$$

Onde:

Lo: Carga Afluente Média de DQO (kg DQO/dia)

Q_{méd}: Volume de efluente tratado por dia (m³/dia)

So: Concentração de DQO no efluente (kgDBO/m³)

Tabela 5: Resultados para *Lo*.

Lo (kg DQO/dia)

PARAMÉTRICA

2.022	2.031	2.041
803,43	813,81	791,13

Fonte: Enprocon (2024)

Tempo de Detenção Hidráulica (TDH):

O Tempo de Detenção Hidráulica (TDH), também conhecido como Tempo de Retenção Hidráulica (TRH), é um parâmetro crucial para o dimensionamento e operação de reatores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Ele representa o tempo médio que o efluente leva para percorrer todo o sistema de tratamento, desde a entrada até a saída. O TDH é expresso em horas (h) e sua correta determinação garante a eficiência do tratamento anaeróbio e evita problemas como subtratamento ou sobrecarga do reator. Para se determinar o TDH, Chernicharo (2007) recomenda os valores apresentados na Tabela 6, para vazões média (Qmed) e máxima (Qmax) e considerando a temperatura do esgoto.

Tabela 6: Tempos de detenção para projeto de reatores UASB

Temperatura do esgoto - T (°C)	Tempo de detenção hidráulica - TDH (h)	
	Qméd	Qmáx
T > 25	TDH ≥ 6	TDH ≥ 4,0
22 < T < 25	TDH ≥ 7	TDH ≥ 4,5
18 < T < 22	TDH ≥ 8	TDH ≥ 5,5
15 < T < 18	TDH ≥ 10	TDH ≥ 7,0

Fonte: Chernicharo (2007)

Para esgotos domésticos com temperatura em torno de 20°C, é recomendável um tempo de detenção hidráulica da ordem de 8 a 10 horas para a vazão média, e não inferior a 4 horas para a vazão máxima. Portanto, o TDH adotado é de 8 h.

Volume total do Reator:

O Volume do Reator (H), também conhecido como Volume Útil ou Volume de Trabalho, é um parâmetro crucial para o dimensionamento e operação de reatores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Ele representa a capacidade total do reator para armazenar o efluente a ser tratado, expresso em metros cúbicos (m³). A correta determinação do volume do reator garante a eficiência do tratamento anaeróbio, evitando problemas como

PARAMÉTRICA

subtratamento ou sobrecarga do sistema. Para a realização do cálculo é utilizada a fórmula a seguir:

$$V = Q_{méd} \times TDH \text{ (Chernicharo 2007)}$$

Onde:

V : Volume total do reator UASB (m³)

$Q_{méd}$: Vazão média de efluente que entra no reator UASB (m³/h)

Tempo de Detenção Hidráulica - TDH : Tempo médio que o efluente leva para percorrer todo o sistema de tratamento (h)

$$V = Q_{méd} \times TDH = >>> V = 62,84 \text{ m}^3/\text{h} \times 8,00 \text{ h}$$

$$V = 502,72 \text{ m}^3$$

Volume de cada Reator:

Dividindo o volume total do Reator dividido pela quantidade adotada de reatores ou células, tem-se o volume de cada um. O cálculo se dá pela fórmula a seguir:

$$V_U = \frac{V}{N} \text{ (Chernicharo 2007)}$$

Onde:

V_U : Volume do Reator (m³)

V : Volume total do Reator (m³)

N : Número de Reatores

$$V_u = \frac{V}{N} = >>> V_u = 502,72 / 2,00$$

$$= >>> V_u = 251,36 \text{ m}^3$$

Altura do nível d'água de no interior do Reator:

A Altura do Nível de Água (H) no interior do reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) é um parâmetro crucial para o dimensionamento e operação eficiente do sistema. Ela representa a distância vertical entre a superfície do lodo granulado e a zona livre do reator, expressa em metros (m). A correta determinação da altura do nível de água garante a estabilidade do processo de tratamento anaeróbio, evitando problemas como a perda de lodo granulado, a formação de canais preferential flow e a redução da eficiência de remoção

PARAMÉTRICA

de poluentes. Para se determinar o nível d'água no reator, Chernicharo (2007) recomenda os valores apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Profundidades para os reatores

Profundidades	Valores recomendados
Profundidade útil do Reator (m)	4 - 6
Profundidade útil do compartimento de digestão (m)	2,5 - 3,5
Profundidade útil do compartimento de decantação (m)	1,5 - 2,0

Fonte: Chernicharo (2007)

Para o projeto foi adotado a altura do nível d'água (H) de 5,20 m.

Área de cada Reator:

A Área de cada Reator é um parâmetro crucial para o dimensionamento e a eficiência do tratamento anaeróbio. Ela representa a área horizontal da superfície do reator, expressa em metros quadrados (m²), e impacta diretamente na capacidade de tratamento do sistema. A correta determinação da área de cada reator garante a otimização do processo de tratamento anaeróbio, evitando problemas como subtratamento, sobrecarga e perda de biomassa. Para a realização do cálculo é utilizada a fórmula a seguir:

$$A = \frac{V_U}{H} \text{ (Chernicharo 2007)}$$

Onde:

A : Área horizontal da superfície do reator (m²)

V_U : Volume do reator (m³)

H : Altura da superfície do lodo granulado até a zona livre do reator (m)

$$A = \frac{V_U}{H} \quad \Rightarrow \quad A = \frac{251,36}{5,20}$$

$$\Rightarrow \quad A = 48,34 \text{ m}^2$$

Para seção quadrada tem-se as dimensões:

.. Sugerida: 6,95 m
.. Lado: 7,00 m

Área de cada reator 49,00 m²

PARAMÉTRICA

Verificação dos parâmetros adotados

.. Área Total Corrigida (A_t)	98,00	m^2
.. Volume Total Corrigido (V_t)	509,60	m^3

Tabela 8: Tempo de detenção hidráulico corrigido (TDHt)

Vazão	Início	1ª Etapa	Final
	2.022	2.031	2.041
* $Q_{méd}$	7,98	7,88	8,11
* $Q_{máx}$	4,87	4,81	4,94

Fonte: Enprocon (2024)

Cargas aplicadas:

Carga Orgânica Volumétrica:

A Carga Orgânica Volumétrica (COV) nos reatores representa a quantidade de matéria orgânica a ser tratada por unidade de volume do reator por dia, expressa em kg de DQO (Demanda Química de Oxigênio) por metro cúbico por dia ($kg\ DQO/m^3 \cdot dia$). O dimensionamento correto da COV é crucial para a eficiência do processo de tratamento anaeróbio, evitando subtratamento, sobrecarga e a perda de biomassa microbiana. Para a realização do cálculo é utilizada a fórmula a seguir:

$$COV = \frac{Q_{máxhor} \times S_o}{V} \text{ (Chernicharo 2007)}$$

Onde:

 COV : Carga Orgânica Volumétrica ($kgDQO/m^3 \cdot dia$) $Q_{máxhor}$: Vazão (m^3/dia) S_o : Concentração de substrato afluente ($kgDQO/m^3$) V : Volume total do reator (m^3)

$$COV = \frac{2473,68 \times 0,525}{509,60}$$

$$COV = 2,55\ kgDQO/m^3 \times dia$$

Carga Hidráulica Volumétrica:

PARAMÉTRICA

A Carga Hidráulica Volumétrica (CHV) nos reatores representa a vazão de efluente por unidade de volume do reator por hora, expressa em metros cúbicos por hora por metro cúbico ($\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^3$). O dimensionamento correto da CHV é crucial para a eficiência do processo de tratamento anaeróbio, garantindo a ascensão adequada do efluente através da zona de lodo granulado e a retenção adequada de biomassa microbiana. Para a realização do cálculo é utilizada a fórmula a seguir:

$$CHV = \frac{Q_{\text{máxhor}}}{V} \text{ (Chernicharo 2007)}$$

Onde:

CHV : Carga Hidráulica Volumétrica ($\text{m}^3/\text{m}^3\text{xdia}$)

$Q_{\text{máxhor}}$: Vazão (m^3/dia)

V : Volume total do reator (m^3)

$$CHV = \frac{2473,68}{509,60} \quad CHV = 4,85 \text{ m}^3 / \text{m}^3 \text{ x dia}$$

Velocidades superficiais:

As Velocidades Superficiais nos reatores representam a vazão de efluente que ascende por unidade de área da superfície do reator por hora, expressa em metros por hora (m/h). O dimensionamento correto das velocidades superficiais é crucial para a eficiência do processo de tratamento anaeróbio, garantindo a ascensão adequada do efluente através da zona de lodo granulado e a retenção adequada de biomassa microbiana. Para a realização do cálculo é utilizada a fórmula a seguir:

$$v = \frac{Q}{A} \text{ (Chernicharo 2007)}$$

v : Velocidade superficial (m/h)

Q : Vazão (m^3/h)

A : Área da seção transversal do reator (m^2)

Tabela 9: Velocidades calculadas

v (m/h)			
Vazão	2.022	2.031	2.041
$Q_{\text{méd}}$	0,65	0,66	0,64
$Q_{\text{máx}}$	1,07	1,08	1,05

PARAMÉTRICA

Fonte: Enprocon (2024)

Os limites máximos de velocidades ascensionais no compartimento de digestão, para cada vazão, podem ser definidos conforme recomendação de Chernicharo (2007), de acordo com a Tabela 10.

Tabela 10: Velocidades recomendadas

Vazão Afluente	Velocidade Superficial (m/h)
Vazão Média	0,5 - 0,7
Vazão Máxima	0,9 - 1,1
Picos Temporários *	< 1,5

* Picos de vazão com duração entre 2 e 4 horas

Fonte: Enprocon (2024)

Tubulação de entrada por célula:

A tubulação de entrada por célula representa a disposição estratégica dos tubos de entrada de efluente dentro de cada célula do reator, proporcionando uma distribuição uniforme do fluxo e evitando o "fluxo preferencial" que prejudicaria o processo de tratamento. O dimensionamento e a disposição corretos da tubulação de entrada por célula são cruciais para a eficiência do tratamento anaeróbio, garantindo a mistura adequada do substrato com o lodo granulado e a remoção eficiente da matéria orgânica.

Para a determinação do número de tubos de entrada de efluente para a alimentação do processo, deve-se observar a proporção de 01 (um) tubo para cada 04 (quatro) metros quadrados, no máximo, adotando-se preferencialmente a cada 03 (três) metros quadrados.

Este cuidado deve ser tomado a fim de se evitar o fluxo preferencial no leito de lodo, o que prejudicaria o processo pela inadequada mistura substrato – lodo.

Segue dados e resultados dos cálculos:

PARAMÉTRICA

.. Área de fundo da unidade (m ²)	49,00
.. Número de tubos (1 tubo / 3 m ²)	16,33
.. Número de tubos adotado	16
.. Vazão média por tubo (l/s)	0,89
.. Diâmetro da tubulação (DN)	75
.. Velocidade na tubulação (m/s)	0,20
.. Altura máxima do NA sobre o vértice do vertedor triangular (triângulo retângulo) (cm)	5,26
- Câmara de Chedaga no UASB	
.. Largura do vertedor adotado	13 cm
.. Diâmetro interno da câmara de distribuição	66 cm
.. Diâmetro interno adotada da câmara de distribuição	80 cm
.. Diâmetro externo (largura) da câmara de distribuição	134 cm

Eficiência na Remoção:

Remoção de DQO:

A Eficiência de Remoção de DQO (Demanda Química de Oxigênio) representa a porcentagem de matéria orgânica presente no efluente bruto que é removida durante o processo de tratamento anaeróbio. O cálculo preciso da eficiência de remoção de DQO é crucial para avaliar o desempenho do sistema UASB e garantir a qualidade do efluente tratado. Para a realização do cálculo é utilizada a fórmula a seguir:

$$E_{DQO} = 100 \times (1 - 0,68 \times TDH^{-0,35}) \text{ (Chernicharo 1997)}$$

Onde:

E_{DQO} : Eficiência em termos de remoção de DQO (%)

TDH : Tempo de detenção hidráulica para vazão média (h)

$0,68$: Constante empírica

$0,35$: constante empírica

Tabela 11: Eficiência remoção DQO

E _{DQO} (%)		
2.022	2.031	2.041
67,14%	66,99%	67,31%

Fonte: Enprocon (2024)

Remoção de DBO:

PARAMÉTRICA

A Eficiência de Remoção de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) representa a porcentagem de matéria orgânica biodegradável presente no efluente bruto que é removida durante o processo de tratamento anaeróbio. O cálculo preciso da eficiência de remoção de DBO é crucial para avaliar o desempenho do sistema UASB e garantir a qualidade do efluente tratado. Para a realização do cálculo é utilizada a fórmula a seguir:

$$E_{DBO} = 100 \times (1 - 0,70 \times TDH^{-0,50}) \text{ (Chernicharo 1997)}$$

Onde:

E_{DQO} : Eficiência em termos de remoção de DQO (%)

TDH : Tempo de detenção hidráulica para vazão média (h)

$0,70$: Constante empírica

$0,50$: constante empírica

Tabela 12: Eficiência remoção DBO

Tipo	E_{DBO} (%)		
	2.022	2.031	2.041
Teórico	75,23%	75,07%	75,42%
Adotato	70,00%	70,00%	70,00%

Fonte: Enprocon (2024)

Concentração de DQO e de DBO no efluente final:

A Concentração de DQO (Demanda Química de Oxigênio) e DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) no Efluente Final representa a quantidade de matéria orgânica presente no efluente tratado após passar pelo processo de tratamento anaeróbio. A determinação precisa da concentração de DQO e DBO no efluente final é crucial para avaliar a eficiência do sistema UASB e garantir a qualidade do efluente tratado. Para a realização do cálculo é utilizada a fórmula a seguir:

$$S = S_o - \frac{(E \times S_o)}{100} \text{ (Chernicharo 1997)}$$

Onde:

PARAMÉTRICA

S : Concentração de DQO ou de DBO efluente (mg/l)

S_0 : Concentração de DQO ou de DBO efluente (mg/l)

E : Eficiência de remoção do DQO ou de DBO

Tabela 13: Eficiência concentração de DQO e DBO

		S (mg/l)		
Tipo		2.022	2.031	2.041
DQO		172,38	173,16	171,45
DBO		92,57	92,57	92,56

Fonte: Enprocon (2024)

Remoção de Coliforme:

A Eficiência na Remoção de Coliformes no Efluente Final representa a porcentagem de bactérias coliformes presentes no efluente bruto que são removidas durante o processo de tratamento anaeróbio. O cálculo preciso da eficiência na remoção de coliformes é crucial para avaliar a qualidade microbiológica do efluente tratado e garantir a segurança ambiental e a saúde pública. Para se calcular a eficiência na remoção de coliforme, é necessário calcular o coeficiente de decaimento bacteriano (k_b). O Coeficiente de Decaimento Bacteriano (k_b) representa a taxa na qual as bactérias presentes no lodo granulado morrem naturalmente ao longo do tempo que é calculado pela fórmula a seguir:

$$K_b = 2,60 \times (1,19^{t-20}) \text{ (Chernicharo 1997)}$$

Onde:

K_b : Coeficiente de decaimento bacteriano ($dias^{-1}$)

t : Temperatura crítica admissível ($^{\circ}C$)

$2,60$: Constante empírica

$1,19$: constante empírica

$$(20 - 20)$$

$$K_b = 2,60 \times 1,19$$

$$K_b = 2,60 \text{ d}^{-1}$$

PARAMÉTRICA

Para o cálculo para remoção de coliforme, é utilizada a fórmula a seguir:

$$E = 1 - \left(\frac{1}{1 + K_b \times T} \right) \text{ (Chernicharo 1997)}$$

Onde:

E : Eficiência (%)

K_b : Coeficiente de decaimento bacteriano (dias^{-1})

T : Tempo de detenção (dias)

Tabela 14: Eficiência na remoção de coliforme

		E (%)		
Tipo		2.022	2.031	2.041
Teórico		46,38%	46,06%	46,77%
Adotato		30,00%	30,00%	30,00%

Fonte: Enprocon (2024)

Produção de Lodo:

A Produção de Lodo no Reator representa a taxa na qual os microrganismos presentes no lodo granulado crescem e se multiplicam durante o processo de tratamento anaeróbio. A produção de lodo indica a capacidade dos microrganismos presentes no lodo granulado de crescer e se multiplicar, assegurando a eficiência do processo de tratamento anaeróbio (Chernicharo, 1997). Para a realização do cálculo é utilizada a fórmula a seguir:

$$P_{\text{lodo}} = Y \times L_o \text{ (Chernicharo 1997)}$$

Onde:

P_{lodo} : Produção e sólidos no sistema (kgSSt/dia)

Y : Coeficiente de sólidos no sistema ($\text{kgSST}/\text{kgDQO}_{\text{apl}}$)

L_o : Carga de DQO afluyente ao sistema (kgSSt/dia)

PARAMÉTRICA

$$P_{\text{lodo}} = 0,10 \times 791$$

$$P_{\text{lodo}} = 79,11 \text{ kgSST / dia}$$

Produção volumétrica de lodo:

A Produção Volumétrica de Lodo no Reator representa a taxa na qual o volume do lodo granulado aumenta no reator durante o processo de tratamento anaeróbio. A determinação precisa da produção volumétrica de lodo é crucial para avaliar a saúde do lodo granulado, otimizar o desempenho do sistema UASB e garantir a qualidade do efluente tratado. O conhecimento da produção volumétrica de lodo permite ajustar parâmetros operacionais como recirculação de lodo e tempo de retenção hidráulica para otimizar a produção de biogás e a remoção de matéria orgânica (Melo et al., 2005). Para a realização do cálculo é utilizada a fórmula a seguir:

$$V_{\text{lodo}} = \frac{P_{\text{lodo}}}{y \times C} \text{ (Chernicharo 1997)}$$

Onde:

V_{lodo} : Produção volumétrica de lodo (m^3/dia)

P_{lodo} : Produção e sólidos no sistema (kgSSt/dia)

y : Densidade do lodo (*usualmente da ordem de 1020 a 1040 kg/m^3*)

C : Concentração de lodo (%)

$$V_{\text{lodo}} = \frac{79,11}{1020,00 \times 0,04}$$

$$V_{\text{lodo}} = 1,94 \text{ m}^3 / \text{dia}$$

Na tabela 15, a seguir é apresentado Projeto do Reator UASB, ao clicar no link, será aberto o documento em pdf.

Tabela 15: Projeto Reator UASB

<https://drive.google.com/file/d/1ZbJxcBwhbb-Ft5SRWMkexb5xF2in5itl/view?usp=sharing>

Projeto Reator UASB – Plantas, Elevações e Detalhes

<https://drive.google.com/file/d/1ETmtKHQhJvXDRhCeowlZTYpOpfiogRaq/view?usp=sharing>

Projeto Reator UASB – Planta e Detalhes

<https://drive.google.com/file/d/1X6pXbaOc16VMfiKnxekaxL0q4gBPfmHc/view?usp=sharing>

Projeto Reator UASB – Corte A A e Detalhe

<https://drive.google.com/file/d/1-hK07UsM74HVnfFtdFk0gImpfWMLidKS/view?usp=sharing>

Projeto Reator

PARAMÉTRICA

<https://drive.google.com/file/d/1YJu9rPkxuw8sXMOP0KgPHlx-Tqesh0A6/view?usp=sharing>

https://drive.google.com/file/d/19MQyUkkDWS7S-4Af_iCfuNpjKU6ZILJS/view?usp=sharing

https://drive.google.com/file/d/1xWIDduaOO_2_r2Q6iu0SH4x9CZ62YFNn/view?usp=sharing

<https://drive.google.com/file/d/1jwaHT0CXazhfXa9x1A4lpXdGNXgKbSJo/view?usp=sharing>

<https://drive.google.com/file/d/1PGb5JBsW4MnNpdtA2QNkMa3yrsoQtUnl/view?usp=sharing>

<https://drive.google.com/file/d/1gjqWhOJWGYz0iqb0a5ot4ZIUong79V2/view?usp=sharing>

<https://drive.google.com/file/d/1kHDsG672ANmLcVAAWJKX0mJmCNN9n0ea/view?usp=sharing>

<https://drive.google.com/file/d/1d9kqpBESHI7WejR1VsVgDp8-o6y7y2x2/view?usp=sharing>

Fonte: Enprocon (2024)

UASB – Corte B B e Detalhes
Projeto Reator UASB – Cortes C C, D D, E E e F F
Projeto Reator UASB – Corte G G e Vista lateral
Projeto Reator UASB – Vista frontal
Projeto Reator UASB – Planta Elevação, Corte H H
Projeto Reator UASB – CDV-I do UASB, Planta, Corte e Detalhes
Projeto Reator UASB – CDV-2 do UASB, Planta, Corte e Detalhes
Projeto Reator UASB – Detalhes, Escada e Guarda Corpo
Projeto Reator UASB – Detalhes, Escada, Guarda Corpo e Relação de Materiais

6.1.3. Leito de secagem

O leito de secagem é um componente fundamental em muitas estações de tratamento de esgoto. De acordo com Chernicharo (2007), o lodo gerado durante o processo de tratamento anaeróbio em reatores UASB é frequentemente rico em matéria orgânica e possui alta umidade, tornando essencial o uso de métodos eficazes de desidratação. O leito de secagem é uma solução comum para reduzir a umidade do lodo, tornando-o mais estável e fácil de manipular e descartar.

Conforme Von Sperling (2005) explica, o leito de secagem consiste em uma estrutura onde o lodo é espalhado em camadas finas para aumentar a área de superfície exposta ao ar ambiente. Essa exposição ao ar promove a evaporação da água presente no lodo, resultando em uma redução significativa no teor de umidade ao longo do tempo. O processo de secagem é acelerado pela ventilação natural ou forçada, e o lodo é periodicamente revolvido para garantir uma secagem uniforme.

PARAMÉTRICA

Uma das vantagens do leito de secagem é a redução do volume e peso do lodo, como mencionado por Chernicharo (2007). O lodo desidratado ocupa consideravelmente menos espaço e pode ser mais facilmente transportado e disposto, resultando em economias significativas nos custos de transporte e disposição final. Além disso, o lodo desidratado pode ser mais adequado para uso como fertilizante agrícola ou para outras finalidades, devido à sua estabilidade e concentração de nutrientes.

No entanto, é importante ressaltar que o projeto e a operação de um leito de secagem devem ser cuidadosamente planejados e executados para garantir sua eficácia e minimizar potenciais impactos ambientais. A escolha do local adequado, o controle da umidade e a gestão adequada do lodo são aspectos fundamentais a serem considerados, conforme destacado por Von Sperling (2005).

Em resumo, o leito de secagem para lodo de reator UASB é uma solução eficaz para reduzir a umidade do lodo gerado durante o tratamento anaeróbio de esgoto. Este método oferece benefícios significativos, como a redução do volume do lodo e a facilitação do seu manuseio e descarte. No entanto, é importante garantir que o projeto e a operação do leito de secagem sejam realizados de acordo com as melhores práticas e regulamentações aplicáveis.

Lodo a ser descartado:

Volume de Lodo a ser Descartado

..Área de cada célula do UASB	49,00	m ²
..Nível de lodo dentro do UASB	2,20	m
..Volume de Lodo em cada célula UASB	107,80	m ³

Leitos de secagem:

PARAMÉTRICA

.. Período de descarte	30	dias	
.. Lodo produzido diário (P_{lodo})	144,13	kgSST / dia	
.. Produtividade do leito de secagem	15,00	kgSST / m ² dia	
.. Área mínima dos leitos de secagem	288,27	m ²	
.. Fator de segurança para definição da área final.....	0%		
.. Área final dos leitos de secagem	288,27	m ²	
.. Célula de secagem			
. Número de célula			
. Em Início de Plano	4,00		
. Em Final de Plano	4,00		
. Área necessária de cada célula.....	72,07	m ²	
. Dimensões adotadas	6,00	x	12,00 m
. Área final total	288,00	m ²	

Na tabela 16, a seguir é apresentado Projeto do Leito de Secagem, ao clicar no link, será aberto o documento em pdf.

Tabela 16: Projeto Leito de Secagem

https://drive.google.com/file/d/124WmPrJfrq_ryLNq1aW4erymNVvGp3Fb/view?usp=sharing

Projeto Leito de Secagem – Planta, Corte B-B e Caixa de descarga

https://drive.google.com/file/d/1nASXpstdS4obyirbS-FT_Of1o4WdBQv/view?usp=sharing

Projeto Leito de Secagem – Planta, Corte A-A e Detalhe "A"

Fonte: Enprocon (2024)

6.1.4. Lagoas de Estabilização

Essa unidade será responsável pela retenção de matéria orgânica e eliminação de coliformes para atendimento aos padrões de lançamento para efluentes tratados. Sendo utilizada Lagoa Facultativa seguida de Lagoas de Maturação.

6.1.4.1. Lagoa Facultativa

As lagoas facultativas são sistemas de tratamento de água que operam em três camadas distintas: aeróbia (superior), anaeróbia (inferior) e facultativa (intermediária). A característica distintiva dessas lagoas é a presença de oxigênio dissolvido, que é introduzido naturalmente através da ação do vento e da presença de algas que absorvem CO₂ e liberam O₂ através da fotossíntese (da SILVA et al., 2010).

PARAMÉTRICA

Essas lagoas podem tratar uma variedade de efluentes, incluindo esgoto bruto, efluentes de tratamento preliminar ou efluentes de uma lagoa anaeróbia. Em situações de alta carga orgânica, são comumente usadas como lagoas secundárias, pois uma lagoa anaeróbia anterior pode ajudar a aliviar a sobrecarga orgânica.

As algas desempenham um papel crucial na produção primária em lagoas facultativas, e as condições devem ser adequadas para seu crescimento e desenvolvimento. As lagoas são projetadas para remover a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e sólidos totais em concentrações adequadas, permitindo o desenvolvimento eficiente da biomassa algal (Mara, 2003).

O tratamento nas lagoas facultativas é realizado inteiramente por meios biológicos e seu regime hidráulico é simples. O efluente entra em uma extremidade da lagoa e sai pela outra, percorrendo toda a extensão longitudinal e oxidando a matéria orgânica presente (RIOS, 2007).

Durante a entrada do efluente, parte do material é imediatamente sedimentada para a camada inferior da lagoa, enquanto outra parte permanece em suspensão e dissolvida no meio. A matéria orgânica é então degradada por bactérias heterotróficas aeróbias que utilizam o oxigênio produzido pelas algas como aceptor de elétrons, transformando-o em dióxido de carbono e água. Isso resulta em uma relação mutualística entre algas e bactérias, onde cada uma fornece o que a outra precisa para suas atividades metabólicas (VON SPERLING, 2002; STEINMANN et al., 2003).

Durante a fotossíntese, as algas em lagoas facultativas absorvem CO₂, reduzindo a acidez do meio e aumentando o pH, que pode ultrapassar 10. Isso leva à conversão de grande parte do íon amônio (NH₄⁺) em amônia livre (NH₃), que se volatiliza para a atmosfera. Além disso, altos valores de pH ajudam a inativar coliformes fecais (MARA, 2003).

A luz solar diminui à medida que se aprofunda na lagoa, levando a condições de anaerobiose no meio líquido. Aqui, a decomposição do substrato ocorre de maneira semelhante às lagoas anaeróbias, com a DBO₅ sendo estabilizada por bactérias anaeróbias que produzem gás sulfídrico e metano como subprodutos da decomposição. Esses subprodutos são então oxidados na parte superior pelas bactérias aeróbias, evitando odores desagradáveis para a comunidade vizinha (dos SANTOS, 2007).

A característica principal dessas lagoas é a presença da camada facultativa entre as zonas aeróbias e anaeróbias, onde predominam bactérias que podem sobreviver e proliferar tanto na presença quanto na ausência de oxigênio dissolvido. Durante o dia, a produção de oxigênio predomina devido à presença de luz solar e atividade de fotossíntese. Em contraste, nas regiões mais profundas, o consumo de oxigênio supera amplamente a sua produção devido à pouca ou nenhuma penetração solar.

PARAMÉTRICA

Entre essas duas zonas, existe uma chamada oxipausa, onde a produção de oxigênio se iguala ao seu consumo, resultando em um balanço nulo de entrada e saída de concentração de OD (VON SPERLING, 2014). O conceito de oxipausa permite um maior controle sobre uma possível transição de lagoa facultativa para lagoa anaeróbia durante períodos noturnos, indicando uma possível sobrecarga orgânica e a necessidade futura de melhorar a eficiência.

Para uma eficiência adequada das lagoas facultativas, são necessárias condições adequadas de vento, temperatura e insolação. A insolação está diretamente relacionada à produção de oxigênio e atividade de fotossíntese, enquanto a temperatura influencia a velocidade de decomposição da matéria orgânica, a sedimentação de DBOpart e o aumento da transferência de gases. A mistura, promovida por condições ótimas de temperatura e vento, é extremamente necessária em lagoas facultativas, pois minimiza os curtos-hidráulicos e é o único meio de transportar as algas não motoras à região fótica.

Outra característica importante para o dimensionamento de lagoas facultativas é a profundidade. Segundo Mara (2003), elas devem evitar profundidades menores que 1 m para evitar a geração de vegetação e mosquitos, mas profundidades maiores que 1,8 m fazem com que a oxipausa fique muito próxima da superfície, resultando em predominância de anaerobiose.

A lagoa facultativa projetada terá as seguintes características:

- Número de lagoas 1
- Área da lâmina da lagoa 0,718 ha
- Taxa de aplicação de DBO 200 Kg/dia x há
- Temperatura crítica admissível 20°C
- Profundidade útil 2,00 m
- Inclinação de talude interno 1/1 = 45°
- Inclinação de talude externo 1/1,5 = 26°
- Eficiência da remoção de DBO 78%
- Eficiência da remoção de coliformes 96,12%
- Eficiência da remoção de DBO conjunto 93,40%

Segue dados e resultados dos cálculos:

DBO Afluente:

A fórmula considera a carga orgânica inicial e os coeficientes de redução do tratamento primário e da lagoa, pode ser descrita da seguinte maneira:

PARAMÉTRICA

$$DBO \text{ Afluente} = \text{Carga Orgânica inicial} \times [(1 - \text{Coef. de red. trat. primário}) \times (1 - \text{Coef. de red. Lag. Anaeróbia})] \text{ (Von Sperling, 2007)}$$

Onde:

Carga Orgânica Inicial: DBO5 influente no sistema de tratamento (mg DBO5/L ou kg DBO5/dia)

Coefficiente de Redução do Tratamento Primário: Porcentagem de redução da DBO5 no tratamento primário, expressa em decimal (entre 0 e 1)

Coefficiente de Redução da Lagoa Anaeróbia: Porcentagem de remoção da DBO5 na lagoa anaeróbia, expressa em decimal (entre 0 e 1)

$$DBO \text{ Afluente} = 683,86 \times [(1 - 0,30) \times (1 - 0,7)] = 143,61 \left(\frac{kg}{dia}\right)$$

A fórmula apresentada é uma simplificação proposta por diversos autores, como Melo Filho e Albuquerque (2004) e von Sperling (2007), e não leva em consideração outros fatores que podem influenciar a eficiência do tratamento, como temperatura, composição da água residual e tempo de retenção hidráulica na lagoa.

Taxa orgânica resultante:

É um indicador fundamental para avaliar a taxa de carga orgânica em lagoas de estabilização de águas residuais. Essa fórmula, proposta por Melo Filho e Albuquerque (2004), permite estimar a quantidade de matéria orgânica presente na água residual por unidade de área da lagoa. Podendo ser calculada pela fórmula a seguir:

$$Tor = \frac{DBO5 \text{ Afluente} \left(\frac{kg}{dia}\right)}{\text{Área Lâmina d'água} (ha)} \text{ (Melo Filho e Albuquerque, 2004)}$$

Onde:

Tor: Taxa orgânica resultante

DBO5 Influyente (kg/dia): Representa a Demanda Bioquímica de Oxigênio 5 dias do influente, medida em quilogramas por dia

Área Lâmina d'água (ha): Refere-se à área da superfície da lagoa, medida em hectares (ha)

$$Tor = \frac{139,61 \left(\frac{kg}{dia}\right)}{0,718 (ha)} = 194,44 \left(\frac{kg}{dia} \times dia\right)$$

PARAMÉTRICA

Volume útil:

O cálculo do volume útil de uma lagoa é uma etapa crucial no projeto de sistemas de tratamento de águas residuais, para a realização do cálculo do volume útil é utilizada a fórmula a seguir:

$$Vu = \text{Área da lagoa (m}^2\text{)} \times \text{Prof. Lâmina d'água(m)} \text{ (Von Sperling, 2005)}$$

Onde:

Vu: Volume Útil (m³)

Área da Lagoa: Área da lagoa (m²)

Profundidade da Lâmina d'água: Profundidade da lâmina d'água (m)

$$Vu = 7.180,5 \text{ (m}^2\text{)} \times 2,00 \text{ (m)} = 14.361 \text{ m}^3$$

Von Sperling (2005) destaca a importância de considerar a profundidade da lagoa e a área superficial no cálculo do volume útil. A profundidade influencia a quantidade de luz solar que penetra na lagoa, o que pode afetar a taxa de crescimento das algas e, consequentemente, a eficiência do tratamento. A área superficial, por outro lado, influencia a taxa de evaporação e a quantidade de oxigênio que pode ser dissolvido na água, ambos fatores críticos para o processo de tratamento.

Tempo de detenção:

O tempo de detenção é um critério que se refere ao período necessário para que os micro-organismos realizem a estabilização da matéria orgânica na lagoa. Este não é um parâmetro direto de projeto, mas sim um parâmetro de verificação que resulta da determinação do volume da lagoa. O tempo de detenção pode ser calculado usando a seguinte fórmula:

$$Td = \frac{Vu \text{ (m}^3\text{)}}{Q_{méd} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{dia}}\right)} \text{ (Von Sperling, 2005)}$$

Onde:

Td: Tempo de detenção (dia)

Vu: Útil da lagoa (m³)

Q_{méd}: Vazão média (m³/dia)

PARAMÉTRICA

$$Td = \frac{14.361 (m^3)}{1.508,50 \left(\frac{m^3}{dia}\right)} = 9,52 (dia)$$

DBO no afluente da lagoa:

É utilizado para comparar a qualidade da água em diferentes locais ou em diferentes momentos, pois a concentração de DBO5 é uma medida mais direta da qualidade da água do que a carga total de DBO5.

Para calcular a concentração de DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxigênio em 5 dias) no afluente da lagoa, é utilizada a fórmula a seguir, que foi adaptada de diversos estudos na área de tratamento de águas residuais (Smith, 2003; Johnson & Wichern, 2008):

$$DBO_{concentração} = \frac{DBO5 \left(\frac{kg}{dia}\right) \times 1.000.000}{Q_{méd} \left(\frac{m^3}{dia}\right)}$$

Onde:

$DBO_{concentração}$: DBO no afluente da lagoa (mg/l)

$DBO5$: Representa a Demanda Bioquímica de Oxigênio 5 dias do influente (kg/dia)

$Q_{méd}$: Vazão média (m^3/dia)

$$DBO_{concentração} = \frac{139,61 \left(\frac{kg}{dia}\right) \times 1.000.000}{1.508,5 \left(\frac{m^3}{dia}\right)} = 92,55 \left(\frac{mg}{l}\right)$$

Eficiência da lagoa para remoção de DBO:

Para calcular a eficiência de uma lagoa na remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), é utilizada a fórmula a seguir, que foi adaptada de diversos estudos na área de tratamento de águas residuais (Smith, 2003; Johnson & Wichern, 2008):

$$Eficiência\ DBO = \frac{(0,725 \times Tx.\ Org. \left(\frac{kg}{dia \times ha}\right)) + 10,75}{Tx.\ Org. \left(\frac{kg}{dia \times ha}\right)}$$

Onde:

PARAMÉTRICA

Eficiência DBO: Representa a eficiência da lagoa facultativa na remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (%)

Tx. Org.: Representa a taxa de matéria orgânica (kg/dia x ha)

$$\text{Eficiência DBO} = \frac{(0,725 \times 194,43 \left(\frac{\text{kg}}{\text{dia} \times \text{ha}}\right)) + 10,75}{194,43 \left(\frac{\text{kg}}{\text{dia} \times \text{ha}}\right)} = 0,78 \times 100 = 78\%$$

DBO no Efluente:

O cálculo da DBO no efluente de lagoas se configura como uma ferramenta essencial para o monitoramento da eficiência do tratamento de esgoto e para garantir a qualidade da água final.

A fórmula a seguir é usada para calcular a DBO remanescente no efluente após o tratamento na lagoa.

$$\text{DBO Efluente} = \text{DBO Afl.} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) - (\text{DBO Afl.} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) \times \text{Efic. remoção DBO}) \text{ (Von Sperling, 2007)}$$

Onde:

DBO Efl. (mg/l): DBO remanescente no efluente após o tratamento

DBO Afl. (mg/l): Concentração inicial de DBO no efluente antes do tratamento

Ef. remoção DBO: Coeficiente de eficiência de remoção de DBO, que representa a fração da DBO inicial que é removida durante o tratamento.

$$\text{DBO Efluente} = 92,56 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) - \left(92,56 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) \times 0,78\right) = 20,34 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right)$$

Eficiência da lagoa para remoção de Coliforme:

A Eficiência na Remoção de Coliformes no Efluente Final representa a porcentagem de bactérias coliformes presentes no efluente bruto que são removidas durante o processo de tratamento anaeróbio. O cálculo preciso da eficiência na remoção de coliformes é crucial para avaliar a qualidade microbiológica do efluente tratado e garantir a segurança ambiental e a saúde pública. Para se calcular a eficiência na remoção de coliforme, é necessário calcular o coeficiente de decaimento bacteriano (kb). O Coeficiente de Decaimento Bacteriano (kb) representa a taxa na qual as bactérias presentes no lodo granulado morrem naturalmente ao longo do tempo que é calculado pela fórmula a seguir:

PARAMÉTRICA

$$K_b = 2,60 \times (1,19^{t-20}) \text{ (Chernicharo 1997)}$$

Onde:

K_b : Coeficiente de decaimento bacteriano (dias^{-1})

t : Temperatura crítica admissível ($^{\circ}\text{C}$)

2,60: Constante empírica

1,19: constante empírica

$$K_b = 2,60 \times (1,19^{20-20}) = 2,60$$

Eficiência do tratamento:

A eficiência de uma lagoa é um parâmetro importante para avaliar a eficácia do sistema de tratamento de efluentes. A eficiência é geralmente expressa como uma porcentagem que indica a quantidade de matéria orgânica (medida como Demanda Bioquímica de Oxigênio, DBO) que é removida durante o processo de tratamento. Para realizar o cálculo é utilizada a fórmula a seguir:

$$E = 1 - \frac{1}{(1 + kb \times \frac{t}{n})^n} \text{ (Von Sperling, 2002)}$$

Onde:

E : Eficiência de remoção de DBO, expressa como uma fração ou porcentagem.

kb : Coeficiente de reação, que é uma constante que descreve a taxa de remoção de DBO.

t : Tempo de retenção, que é o tempo médio que o efluente permanece na lagoa.

n : Número de dias.

$$E = 1 - \frac{1}{\left(1 + 2,60 \times \frac{9,52}{1}\right)^1} = 96,12\%$$

Eficiência do Sistema para remoção de DBO:

Para calcular a eficiência geral de um sistema de tratamento que inclui tratamento primário, e uma lagoa para remoção de DBO (Chernicharo, 2007). Cada termo dentro do produto representa a eficiência de uma etapa do processo de tratamento. Para realizar o cálculo é utilizada a fórmula a seguir:

PARAMÉTRICA

$$Eficiência_{sistema} = 1 - ((1 - Coef. red. trat. Prim.) \times (1 - Ef. lag. an.) \times (1 - Ef. lag. rem. DBO)) \text{ (Chernicharo, 2007)}$$

Onde:

Eficiência_{sistema}: Determina a eficiência geral de um sistema de tratamento

Coef. red. trat. primario: Coeficiente de redução no tratamento primário. O tratamento primário é a primeira etapa do tratamento de águas residuais e envolve a remoção de sólidos grosseiros e sedimentáveis.

Ef. lag. aneróbia: Eficiência da lagoa anaeróbia.

Ef. lag. remoção DBO: Eficiência da lagoa na remoção de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio).

$$Eficiência_{sistema} = 1 - ((1 - 0,70) \times (1 - 0,00) \times (1 - 0,78)) = 0,934 \times 100 = 93,40\%$$

6.1.4.2. Lagoas de Maturação

As lagoas de maturação são projetadas para remover patógenos e nutrientes, alcançando eficiência na remoção de DBOpart devido às altas taxas de oxigênio dissolvido (ARTHUR, 1986). Elas são dimensionadas para receber baixa taxa de matéria orgânica, o que diminui a concentração de biomassa bacteriana e aumenta o uso de oxigênio. Além disso, sua profundidade reduzida permite a predominância da zona fótica, onde a presença de algas aumenta a produção de oxigênio (ARCEIVALA et al., 1970).

Essas lagoas geralmente são precedidas por unidades anaeróbias e facultativas e sucedidas por mais duas unidades de maturação, totalizando três em série. Elas são mais eficientes do que uma única lagoa de tamanho equivalente (VON SPERLING, 2002). Em termos de eficiência, conseguem remover mais de 60% de nitrogênio e seis unidades logarítmicas de E. coli.

A remoção de bactérias ocorre tanto na zona fótica, com alta concentração de oxigênio, quanto na camada inferior, a zona afótica, com baixa concentração de oxigênio e luz solar. Durante o dia, o aumento da temperatura nas regiões superficiais das lagoas inativa ou mata as bactérias fecais. Além disso, a diminuição da viscosidade permite a sedimentação dessa biomassa em formato de flocos (MARA, 1997).

As algas usam a energia solar para produzir O₂, recolhendo CO₂ da massa líquida e aumentando as taxas de pH. Isso influencia rapidamente na morte das bactérias, com completa inativação em valores de pH acima de 9,4 (MARA, 2003). Na zona afótica, a remoção ocorre pela sedimentação das bactérias em formato de flocos. Parte dessas bactérias se deposita no lodo e morre por falta de locomoção e alimento, enquanto outra

PARAMÉTRICA

parte é usada como alimento por protozoários livres, rotíferos e microinvertebrados presentes no meio (REED; MIDDLEBROOKS, 2006).

A remoção de ovos de helmintos ocorre principalmente nas lagoas de maturação, através de sedimentação facilitada pela diminuição da viscosidade do meio e longos tempos de detenção. A remoção de nitrogênio pode ocorrer por volatilização, sedimentação e assimilação pelas algas, enquanto o fósforo é predominantemente removido por precipitação (VON SPERLING, 2002; SENZIA et al., 2002).

As Lagoas Facultativas projetadas terão as seguintes características:

- Número de lagoas 2
- Número de lagoas em série 2
- Área da lâmina da lagoa 1,578 ha
- Temperatura crítica admissível 20°C
- Profundidade da lâmina d'água 1,00 m
- Inclinação do talude interno 1/2 45 °
- Inclinação do talude externo 1/1 26°
- Taxa de aplicação de DBO 6,04 Kg/dia x ha
- Profundidade útil 1,00 m
- Eficiência da remoção de DBO 0,0%
- Eficiência da remoção de coliformes 99,52%

Segue dados e resultados dos cálculos:

Taxa orgânica resultante:

É um indicador fundamental para avaliar a taxa de carga orgânica em lagoas de estabilização de águas residuais. Essa fórmula, proposta por Melo Filho e Albuquerque (2004), permite estimar a quantidade de matéria orgânica presente na água residual por unidade de área da lagoa. Podendo ser calculada pela fórmula a seguir:

$$Tor = \frac{DBO5 \text{ Afluente } \left(\frac{kg}{dia}\right)}{\text{Área Lâmina d'água (ha)}} \text{ (Melo Filho e Albuquerque, 2004)}$$

Onde:

Tor: Taxa orgânica resultante

PARAMÉTRICA

DBO5 Influyente (kg/dia): Representa a Demanda Bioquímica de Oxigênio 5 dias do influente, medida em quilogramas por dia

Área Lâmina d'água (ha): Refere-se à área da superfície da lagoa, medida em hectares (ha)

$$T_{or} = \frac{9,214 \left(\frac{kg}{dia}\right)}{1,578 (ha)} = 5,83 \left(\frac{kg}{dia} \times dia\right)$$

Volume útil:

O cálculo do volume útil de uma lagoa é uma etapa crucial no projeto de sistemas de tratamento de águas residuais, para a realização do cálculo do volume útil é utilizada a fórmula a seguir:

$$Vu = \text{Área da lagoa (m}^2\text{)} \times \text{Prof. Lâmina d'água(m)} \text{ (Von Sperling, 2005)}$$

Onde:

Vu: Volume Útil (m³)

Área da Lagoa: Área da lagoa (m²)

Profundidade da Lâmina d'água: Profundidade da lâmina d'água (m)

$$Vu = 15.550,00 (m^2) \times 1,00 (m) = 15.550,00 m^3$$

Von Sperling (2005) destaca a importância de considerar a profundidade da lagoa e a área superficial no cálculo do volume útil. A profundidade influencia a quantidade de luz solar que penetra na lagoa, o que pode afetar a taxa de crescimento das algas e, conseqüentemente, a eficiência do tratamento. A área superficial, por outro lado, influencia a taxa de evaporação e a quantidade de oxigênio que pode ser dissolvido na água, ambos fatores críticos para o processo de tratamento.

Tempo de detenção:

O tempo de detenção é um critério que se refere ao período necessário para que os microrganismos realizem a estabilização da matéria orgânica na lagoa. Este não é um parâmetro direto de projeto, mas sim um parâmetro de verificação que resulta da determinação do volume da lagoa. O tempo de detenção pode ser calculado usando a seguinte fórmula:

$$Td = \frac{Vu (m^3)}{Q_{méd} \left(\frac{m^3}{dia}\right)} \text{ (Von Sperling, 2005)}$$

PARAMÉTRICA

Onde:

 Td : Tempo de detenção (dia) V_U : Útil da lagoa (m^3) $Q_{méd}$: Vazão média (m^3/dia)

$$Td = \frac{15.550,00 (m^3)}{1.508,50 (\frac{m^3}{dia})} = 10,30 (dia)$$

Carga Orgânica Efluente:

A carga orgânica efluente em uma lagoa de maturação é uma medida da quantidade de matéria orgânica que ainda está presente no efluente após o processo de tratamento. Esta carga é frequentemente medida em termos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que é uma medida da quantidade de oxigênio necessário para decompor a matéria orgânica através de processos biológicos (Tchobanoglous et al., 2003). Podendo ser calculada pela fórmula a seguir:

$$Carga\ Org.\ Efl. = (1 - Efic.\ remoção\ DBO\ lagoas) \times DBO\ Afl. (kg\ x\ dia) \quad (Chernicharo, 2007)$$

Onde:

 $Carga\ Org.\ Efl.$: Quantidade de DBO que permanece no efluente após o tratamento $Ef.\ remoção\ DBO\ das\ lagoas$: Eficiência de remoção de DBO das lagoas $DBO\ Afl. (Kg\ x\ dia)$: Carga orgânica afluyente

$$Carga\ Org.\ Efl. = (1 - 0,78) \times 139,61(kg\ x\ dia) = 30,71(\frac{kg}{dia})$$

DBO no Efluente:

O cálculo da DBO no efluente de lagoas se configura como uma ferramenta essencial para o monitoramento da eficiência do tratamento de esgoto e para garantir a qualidade da água final.

A fórmula a seguir é usada para calcular a DBO remanescente no efluente após o tratamento na lagoa.

PARAMÉTRICA

$$DBO \text{ Efluente} = DBO \text{ Afl.} \left(\frac{mg}{l} \right) - (DBO \text{ Afl.} \left(\frac{mg}{l} \right) \times Efic. \text{ remoção DBO})$$

(Von Sperling, 2007)

Onde:

DBO Efl. (mg/l): DBO remanescente no efluente após o tratamento

DBO Afl. (mg/l): Concentração inicial de DBO no efluente antes do tratamento

Ef. remoção DBO: Coeficiente de eficiência de remoção de DBO, que representa a fração da DBO inicial que é removida durante o tratamento.

$$DBO \text{ Efluente} = 20,34 \left(\frac{mg}{l} \right) - \left(20,34 \left(\frac{mg}{l} \right) \times 0,00 \right) = 20,34 \left(\frac{mg}{l} \right)$$

Eficiência da lagoa para remoção de Coliforme:

A Eficiência na Remoção de Coliformes no Efluente Final representa a porcentagem de bactérias coliformes presentes no efluente bruto, que são removidas durante o processo de tratamento anaeróbio. O cálculo preciso da eficiência na remoção de coliformes é crucial para avaliar a qualidade microbiológica do efluente tratado e garantir a segurança ambiental e a saúde pública. Para se calcular a eficiência na remoção de coliforme, é necessário calcular o coeficiente de decaimento bacteriano (k_b). O Coeficiente de Decaimento Bacteriano (k_b) representa a taxa na qual as bactérias presentes no lodo granulado morrem naturalmente ao longo do tempo que é calculado pela fórmula a seguir:

$$K_b = 2,60 \times (1,19^{t-20}) \text{ (Chernicharo 1997)}$$

Onde:

K_b : Coeficiente de decaimento bacteriano ($dias^{-1}$)

t : Temperatura crítica admissível ($^{\circ}C$)

2,60: Constante empírica

1,19: constante empírica

$$K_b = 2,60 \times (1,19^{20-20}) = 2,60$$

Eficiência do tratamento:

PARAMÉTRICA

A eficiência de uma lagoa é um parâmetro importante para avaliar a eficácia do sistema de tratamento de efluentes. A eficiência é geralmente expressa como uma porcentagem que indica a quantidade de matéria orgânica (medida como Demanda Bioquímica de Oxigênio, DBO) que é removida durante o processo de tratamento. Para realizar o cálculo é utilizada a fórmula a seguir:

$$E = 1 - \frac{1}{(1 + kb \times \frac{t}{n})^n} \text{ (Von Sperling, 2002)}$$

Onde:

E: Eficiência de remoção de DBO, expressa como uma fração ou porcentagem.

Kb: Coeficiente de reação, que é uma constante que descreve a taxa de remoção de DBO.

t: Tempo de retenção, que é o tempo médio que o efluente permanece na lagoa.

n: Número de dias.

$$E = 1 - \frac{1}{\left(1 + 2,60 \times \frac{10,29}{2}\right)^2} = 99,52\%$$

Eficiência do sistema para remoção de coliforme:

A remoção de coliformes em sistemas de tratamento é uma etapa crucial para garantir a segurança da água para consumo humano. Coliformes são um grupo de bactérias presentes no ambiente, incluindo o trato gastrointestinal de animais de sangue quente, e são usados como indicadores de contaminação fecal (Tchobanoglous et al., 2003).

A eficiência da lagoa de maturação depende da eficiência das etapas anteriores do tratamento. Uma alta eficiência nas etapas anteriores contribui para uma alta eficiência na lagoa de maturação. Para calcular a eficiência geral de um sistema de tratamento que inclui várias etapas: maturação, facultativa, anaeróbia e tratamento preliminar (Chernicharo, 2007). A fórmula para realizar o cálculo da eficiência do sistema é apresentada a seguir:

$$Eficiência_{sistema} = 1 - (1 - Rem. Mat.) \times (1 - Rem. Facult.) \times (1 - Rem. Anaer.) \times (1 - Rem. Trat. Preliminar)$$

Onde:

Eficiência_{sistema}: Determina a eficiência geral de um sistema de tratamento

PARAMÉTRICA

Remoção Lagoa de maturação: Coeficiente de remoção lagoa de maturação

Remoção Lagoa facultativa: Coeficiente de remoção lagoa facultativa

Remoção Lagoa anaeróbia: Coeficiente de remoção lagoa anaeróbia

Remoção Tratamento preliminar: Coeficiente de remoção tratamento preliminar

$$Eficiência_{sistema} = 1 - (1 - 0,99520) \times (1 - 0,93410) \times (1 - 0,00) \times (1 - 0,30) = 0,99988 \times 100 = 99,99\%$$

Na tabela 17, a seguir é apresentado Projeto das Lagoas Facultativa e Maturação, ao clicar no link, será aberto o documento em pdf.

Tabela 17: Projeto Lagoas Facultativa e Maturação

https://drive.google.com/file/d/1WzMJlU_AwscqiPZWaKM0u7ZYA4h26qKa/view?usp=sharing

Projeto Lagoas Interligação – Planta

https://drive.google.com/file/d/1xtd6ar38Ydm6X-kOnbGg-hM1WZQ5i_ie/view?usp=sharing

Projeto Lagoas Interligação – CDV e Caixa de coleta de efluente Lagoa Facultativa - Plantas, Cortes e Detalhes

<https://drive.google.com/file/d/19sBsakeFx2Rk8rAZbGQz2dZP1yJO6S-U/view?usp=sharing>

Projeto Lagoas Interligação – Caixa de saída das Lagoas de Maturação 1 e 2- Plantas e Cortes

https://drive.google.com/file/d/1XXkwkkVjQv_DHUR0raH5UvH8RY02Zxo5/view?usp=sharing

Projeto Lagoas Interligação – Detalhes das chegadas e saídas das lagoas

https://drive.google.com/file/d/19tL42wCgYKhPjeZc_4Of5BGSN5wICUb0/view?usp=sharing

Projeto Lagoas Interligação – Detalhes

Fonte: Enprocon (2024)

6.1.5. Disposição Final dos Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos retidos nas grades, na caixa de areia do tratamento preliminar e o lodo gerado nos reatores anaeróbios, deverão ser transportados adequadamente até o aterro sanitário. Esse transporte deverá ocorrer, de acordo, com a frequência de remoção destes detritos das unidades.

PARAMÉTRICA**7 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A estação de tratamento demonstrada no estudo de caso, apresenta uma eficiência de 99,99% no tratamento, demonstrando que a combinação de métodos para os tratamentos de efluentes são eficazes, podendo estes após tratados, serem encaminhados para o curso d'água sem nenhum dano ao meio ambiente.

O tratamento de esgoto é essencial para proteger o meio ambiente e a saúde pública. As Estações de Tratamento devem atender às normas para garantir que o efluente tratado seja seguro para o lançamento em corpos de água ou para reúso. Os valores de eficiência estabelecidos na legislação, servem como parâmetros mínimos para garantir a eficiência do tratamento. No entanto, é importante buscar sempre o melhor desempenho possível da Estação de Tratamento, considerando fatores como o tipo de tratamento utilizado, a operação e manutenção adequadas, a qualidade do esgoto bruto e as condições climáticas.

8 AUTORIZAÇÃO PARA UTILIZAÇÃO DO PROJETO

Na tabela 18, a seguir é apresentada autorização para utilização do projeto no Trabalho de Conclusão de Curso, ao clicar no link, será aberto o documento em pdf.

Tabela 18: Autorização para utilização do Projeto

https://drive.google.com/file/d/1jjfUiF_-eLvc5awzHb5MteEV1d5EpHE/view?usp=sharing

Autorização

Fonte: Enprocon (2024)

9 CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta os diferentes tipos de efluentes sanitários domésticos, incluindo águas cinzas, águas negras (ou esgoto) e águas pluviais.

Em relação aos métodos de tratamento, o documento destaca a importância de remover uma variedade de poluentes orgânicos e inorgânicos dos efluentes sanitários para proteger a saúde pública e o meio ambiente.

Além disso, são apresentados processos avançados de tratamento, que visam inativar patógenos e produzir efluentes de alta qualidade para reúso ou descarte seguro.

No que diz respeito ao impacto ambiental, o documento enfatiza que o tratamento adequado de efluentes sanitários pode mitigar significativamente os impactos adversos, protegendo ecossistemas aquáticos, reduzindo a poluição e preservando a qualidade da água. O tratamento adequado reduz a carga poluente liberada nos corpos d'água

PARAMÉTRICA

receptores, protegendo habitats aquáticos e vida selvagem. Além disso, contribui para prevenir a eutrofização, melhora a qualidade da água para usos recreativos e abastecimento público, e reduz os riscos à saúde pública associados à contaminação da água por patógenos e substâncias químicas tóxicas.

Em resumo, o tratamento adequado de efluentes sanitários desempenha um papel crucial na proteção da saúde pública, preservação do meio ambiente e garantia da disponibilidade de recursos hídricos seguros. A combinação de métodos de tratamento pode remover eficazmente uma ampla gama de poluentes, produzindo efluentes de alta qualidade que atendem aos padrões ambientais e de saúde pública.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). (2024). Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab). Brasília: ANA.

AMARAL, Ana Luiza et al. Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios. 1. ed. São Paulo: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017.

Banco Mundial. (2021). Desigualdades no acesso ao saneamento básico na América Latina e no Caribe. Washington, D.C.: Banco Mundial.

BRASIL. Ministério das Cidades. Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab): diretrizes para a elaboração e revisão dos planos estaduais e municipais de saneamento básico. 2ª ed. rev. Brasília: Ministério das Cidades, 2019. 240 p.

Carvalho, F. T., & de Oliveira, L. E. S. (2008). Hidráulica aplicada. São Paulo: Editora Blucher.

Chernicharo, C. A. (1997). Tratamento de águas residuais: Princípios e tecnologias. Volume V. Editora UFMG.

Chernicharo, C. A. L. (2007). Reatores anaeróbios. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais.

Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH-MG). (2008). Deliberação Normativa Conjunta n.º 1, de 05 de maio de 2008. Belo Horizonte, MG: COPAM/CERH-MG.

CUNHA, Daniel Cardoso da; VON SPERLING, Marcos. Tratamento de Esgotos Domésticos. 1. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2019.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B. (2005) Métodos e técnicas de tratamento de água. Editora Rima, São Carlos, vol. 1, 784p.



Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação (Embrapa). (2024). Tecnologias inovadoras para o tratamento de esgoto. Brasília: Embrapa.

Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz). (2023). Doenças relacionadas à falta de saneamento básico. Rio de Janeiro: Fiocruz

Franco, G. P., & Logsdon, G. S. (2009). Hidráulica Básica. São Paulo: Editora Edgard Blücher.

Hammer, M. J. (2012). Water and Waste-Water Technology. John Wiley & Sons.

Henderson, F. M. (1966). Open Channel Flow. New York: MacMillan.

Johnson, D., & Wichern, D. (2008). Tratamento de Águas Residuais para Engenheiros Ambientais e Sanitários. Editora McGraw-Hill.

Mara, D. D., & Horan, N. J. (2003). Handbook of Water and Wastewater Microbiology. Academic Press.

Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. McGraw-Hill Education.

Smith, P. (2003). Tratamento de Águas Residuais: Princípios e Práticas. Editora Ambiental.

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. McGraw-Hill Education.

TUCCI, Carlos. Saneamento Ambiental: Água, Esgoto e Resíduos Sólidos. Oficina de Textos, 2012.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL E SANITÁRIA DISCIPLINA: TRATAMENTO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO Coagulação – Calha Parshall ProfoDr. Paulo Sergio Scalize Goiânia 2020.

Von Sperling, M. (2002). Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3ª edição. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais.

Von Sperling, M. (2005). Princípios básicos do tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais.

Von Sperling, M. (2019). Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (DESA/UFMG).