UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
CAROLINE MENEGAZ FARIAS

PROPOSTA DE AJUSTE TÉCNICO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES PARA CORREÇÃO DO PARÂMETRO DE SURFACTANTES RESIDUAIS

Tubarão
2018

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

CAROLINE MENEGAZ FARIAS

PROPOSTA DE AJUSTE TÉCNICO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES PARA CORREÇÃO DO PARÂMETRO DE SURFACTANTES RESIDUAIS

Relatório Técnico/Científico apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Eng. Jonathan Alexsander Bork, Dr.

Coorientador: Prof. Eng. Diogo Quirino Buss, Esp.

Tubarão

2018

CAROLINE MENEGAZ FARIAS

PROPOSTA DE AJUSTE TÉCNICO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES PARA CORREÇÃO DO PARÂMETRO DE SURFACTANTES RESIDUAIS

Este relatório técnico/científico foi julgado adequado à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 18 de junho de 2018.

Professor Eng. Jonathan Alexsander Bork, Dr. (Orientador)
Universidade do Sul de Santa Catarina

Professor Eng. Diogo Quirino Buss, MSc. (Coorientador)
Universidade do Sul de Santa Catarina

Professora Eng. Maria Lúcia Soares Cochlar, MSc. (Avaliadora)
Universidade do Sul de Santa Catarina

Professor Eng. Alessandro Oliveira Limas (Avaliador)
Universidade do Sul de Santa Catarina

Aos meus pais, Vanilda e Adir, meu namorado Willian e minha família que, com muito amor, carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela vida.

Aos meus pais Vanilda e Adir por todo apoio e incentivo durante essa caminhada, onde me deram forças pra superar todos os obstáculos não deixando desistir desse grande sonho. Ao meu irmão, cunhada, sobrinha, tia e avó que com todo carinho sempre estiveram comigo no que precisei.

Ao meu namorado Willian, que também me deu suporte ao longo do curso e, que ainda foi um presente que a Engenharia Química me deu, e que se Deus quiser será para sempre.

Agradeço a todas as amizades que construí, por todo companheirismo e apoio nesses anos. Em especial agradeço a minha amiga e parceira de todas as horas, Karoline, por sempre estar junto comigo, pelos trabalhos que realizamos juntas, provas e a nossa amizade para toda a vida.

Aos professores Diogo Quirino Buss e Jonathan Alexsander Bork pela orientação e paciência que tiveram comigo no desenvolvimento desse trabalho.

À Graziella Veiga supervisora do estágio por todo conhecimento e a todos os membros da Empresa X que sempre me apoiaram durante o período de estágio realizado .

A todos os professores do curso de Engenharia Química da Unisul por todo conhecimento adquirido.

Ao Centec e toda sua equipe pela ajuda durante os anos de faculdade e especialmente durante a fase de realização das análises para que este trabalho fosse concretizado.

As empresas que disponibilizaram materiais para testes, o qual tornou possível o desenvolvimento desse projeto.

Enfim, obrigada Deus e a todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para que tudo isso se tornasse realidade.

“O obstáculo é aquilo que você enxerga quando tira os olhos do seu objetivo.” (Henry Ford)

RESUMO

Esse trabalho apresenta um estudo realizado em uma empresa de reciclagem no sul de Santa Catarina visando a diminuição do parâmetro surfactantes ao fim do tratamento de efluentes, uma vez que o mesmo encontrava-se muito acima do limite máximo exigido pelo órgão ambiental. Por meio do histórico de análises foi realizado o estudo em alguns pontos da estação de tratamento situada nas dependências da empresa, onde posteriormente foi possível fazer algumas considerações em função desse histórico de análises. O método analítico utilizado para as análises foi o de quantificação de acordo com os standard methods para surfactantes, e as mesmas foram feitas no laboratório do Centro Tecnológico da Universidade do Sul de Santa Catarina. Dentre os parâmetros exigidos, somente o surfactantes encontrava-se acima do permito, a qual estava acima 6 mg/L e o permitido é de no máximo 2,0 mg/L. Assim, por meio da investigação realizada identificou-se a falta de sistema preliminar adequado e a má homogeneização na lagoa, bem como a alta variação no processo produtivo, que devido a isso o tratamento exige maior flexibilidade para atender essas variações que, consequentemente alteram as características do efluente a ser tratado. Sendo assim, foram propostas algumas alterações para melhorias de tais pontos identificados como a adição de uma peneira autolimpante como sistema preliminar para remoção de sólidos suspensos e adição de um aerador para melhorar a aeração da lagoa de tal forma a tornar a mesma de mistura completa. Para a remoção dos surfactantes, foi testado por meio do processo de adsorção com carvão antracitoso e carvão ativado e também apenas com o carvão ativado. Utilizando apenas o carvão ativado e o material suporte obtiveram-se os melhores resultados tendo percentual de remoção acima de 90%. Concluindo assim com bom percentual de remoção, porém o parâmetro em questão ainda encontra-se acima do permitido (2,7 mg/L).

Palavras-chave: Efluentes. Surfactantes. Parâmetro.

ABSTRACT

This work presents a study carried out in a recycling company in the south of Santa Catarina, and it aims at the reduction of the surfactant parameter in the end of the wastewater treatment, since it is, prior to this study, above the maximum limit required by the environmental agency. The study was carried out in some places of the treatment plant located in the premises of the company, using the analytical data from earlier analysis, it was then possible to make some considerations in regards to the optimal amount. The analytical method used for the analysis was the quantification according to the standard methods for surfactants in situ and as well as in the laboratory of the Technological Center of the University of Southern Santa Catarina. Among the parameters required, only the surfactants were above permissible, 6 mg/L when the allowed maximum is 2.0 mg/L. Thus, the research carried out was able to identify the lack of adequate preliminary system and poor homogenization in the lagoon, as well as the high variation in the productive process, which due to this the treatment requires greater flexibility to attend to these variations, which consequently altered the characteristics of the effluent to be treated. Hence, some alterations were proposed for improvements of such points identified as the addition of a self-cleaning sieve as a preliminary system for removal of suspended solids and addition of an aerator to improve the aeration of the pond in such a way as to make the same of complete mixing. For the removal of the surfactants, it was tested by means of the adsorption process with anthracite coal and activated charcoal and also with the activated charcoal. Using only the activated charcoal and the support material the best results were obtained having removal percentage above 90%. In conclusion, the results showed a good reduction of the removal percentage, however, the parameter in question is still above the permitted (2.7 mg/L).

Keywords: Wastewater. Surfactants. Parameter.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Tratamento preliminar. 21
Figura 2: Esquema de um tanque de equalização 22
Figura 3: Esquema simplificado do metabolismo bacteriano 23
Figura 4: Fluxograma do processo de tratamento da empresa X 25
Figura 5: Tanque de equalização 26
Figura 6: Lagoa de aeração de mistura completa 26
Figura 7: Flocodecantador e leito de secagem 27
Figura 8: Filtro rápido de fluxo descendente. 28
Figura 9: Representação esquemática das partes polar e apolar de um tensoativo. 29
Figura 10: Grupos hidrofílicos aniônicos 30
Figura 11: Representação de uma molécula de um sal quaternário de amina graxa como exemplo de um tensoativo catiônico. 31
Figura 12: Modelo de uma peneira estática autolimpante. 43
Figura 13: Aerador de Fluxo Descendente 44
Figura 14: Corte esquemático do carvão comum e ativado. 46
Figura 15: Ilustração do processo de filtragem. 47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros exigidos pela resolução CONAMA 430/2011. 36
Tabela 2: Pontos de coleta e suas localizações. 39
Tabela 3: Resultado das análises realizado em 28/02/2018. 41
Tabela 4: Histórico das análises de surfactantes. 42
Tabela 5: Quantidades usadas de carvão antracitoso nos testes. 48
Tabela 6: Quantidades usadas de carvão ativado nos testes. 48
Tabela 7: Resultados dos testes. 48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA 14
1.2 OBJETIVOS 15
1.2.1 Objetivo Geral 15
1.2.1.1 Objetivos Específicos 15
1.3 RELEVÂNCIA SOCIAL E CIENTÍFICA DO ESTUDO 16
2 REFERENCIAL TEÓRICO 17
2.1 APRESENTAÇÃO EMPRESA X 17
2.2 ÁGUA 17
2.2.1 Água de reúso 18
2.3 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES 20
2.3.1 Tratamento preliminar 21
2.3.2 Tratamento primário 22
2.3.3 Tratamento secundário 23
2.4 APRESENTAÇÃO ETE EMPRESA X 25
2.5 SURFACTANTES 28
2.5.1 Surfactantes Aniônicos 30
2.5.2 Surfactantes Catiônicos 31
2.5.3 Surfactantes Não iônicos 32
2.5.4 Surfactantes Anfóteros 33
2.5.5 Impacto Ambiental dos Surfactantes 33
2.5.6 Degradação de Surfactantes 34
2.6 A LEGISLAÇÃO VIGENTE 35
3 METODOLOGIA DE PESQUISA 38
3.1 A PESQUISA METODOLÓGICA 38
3.2 TIPO DE PESQUISA 38
3.3 POPULAÇÃO E AMOSTRA 39
3.4 DESCRIÇÃO DO PROCESSO 39
4 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 41

4.1 INVESTIGAÇÃO DOS PONTOS INFLUENTES E ESCOLHA DA METODOLOGIA PARA POSSÍVEL REMOÇÃO DOS SURFACTANTES 42
4.2 PROPOSIÇÃO DA SOLUÇÃO DOS PROBLEMAS 43
4.3 SUGESTÕES 50
5 CONCLUSÃO 51
6 MEMORIAL DE CÁLCULO 52
REFERÊNCIAS 61

1 INTRODUÇÃO

Surfactantes são agentes tensoativos e são compostos solúveis tanto em água quanto em óleo, devido a sua característica anfifílica (são polar e apolar ao mesmo tempo). Os surfactantes estão presentes em diversos produtos utilizados diariamente pelas pessoas em geral. Estão presente nas formulações, principalmente de detergentes e produtos de limpeza em geral, mas também compõem formulações de cosméticos como xampu e cremes, e dentre outros diversos produtos. Por essa vasta gama de aplicação, eles são descartados diariamente no meio ambiente.

A empresa em que foi desenvolvido este trabalho, a partir deste ponto será referenciada como "Empresa X", a mesma trata seus efluentes em sua estação de tratamento compacta própria, a qual está localizada em suas dependências. Os parâmetros previamente estabelecidos no projeto da estação de tratamento juntamente com o órgão regulamentador, somente o parâmetro detergente encontra-se acima do limite máximo permitido para descarte, todavia, desde o início da operação da empresa X o efluente tratado é reutilizado no processo, tendo assim circuito fechado. Entretanto, o órgão regulamentador necessita de uma garantia que o efluente tratado realmente esteja dentro dos parâmetros em casos que venha a ter a necessidade de descarte do mesmo.

A estação possui alta eficiência no quesito remoção de DBO e fósforo, outros parâmetros também são removidos de forma eficiente, no entanto estes são os que mais são removidos do efluente. Todavia, de acordo com os responsáveis, a maior dificuldade ocorre com a remoção do parâmetro detergente, sendo que este se encontra aproximadamente 300% acima do permitido para descarte.

Diante a situação problema exposta, o presente trabalho teve como princípio a investigação das possíveis causas da alta concentração de surfactantes, bem como a proposição de possíveis alterações para melhorias na ETE já existente, de modo a atender às legislações ambientais vigentes.

1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA

Os recursos hídricos mostram-se cada vez mais comprometidos em todo o planeta. Desta forma, utilizar de modo racional a água por meio de práticas e técnicas que apresentam melhorias na eficiência do seu uso se torna uma maneira adequada de garantir a qualidade desses recursos para fins de abastecimento público, bem como para todos os seres vivos. Devido à necessidade de atender os parâmetros exigidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) junto com a Fundação Municipal de Meio Ambiente (FUNAT), órgão municipal tubaronense que fiscaliza e exige relatórios de controles ambientais para empresas que lançam seus efluentes em corpos receptores, é de suma importância que as geradoras destes realizem ações que assegurem a remoção de poluentes que prejudicam o meio ambiente como um todo, uma vez que, existindo a não conformidade, através da Lei municipal Nº 3.859 de 12 de julho de 2013 que institui o código ambiental do município de Tubarão e da outras providências, juntamente com a legislação ambiental estadual e federal a FUNAT tem o poder de intervir, autuar, bem como aplicar multas e/ou solicitar medidas cabíveis de forma que a empresa se adeque nos parâmetros estabelecidos.

Em empresas que atuam na área de reciclagem de polietilenotereflato (PET) é comum utilizar a água de reúso, devido à alta demanda de água requerida para a limpeza do PET. Sabe-se que a reutilização da água é uma técnica bastante antiga e que possui grande eficiência. Quando se trata de empresas que trabalham com reciclagem, reutilizar é um bem necessário, pois não é adequado, no processo de reciclagem de materiais não reciclar/tratar a água utilizada, pois a mesma constitui-se em insumo para múltiplos processos industriais, além de ser fundamental para a vida.

Dentre os diversos parâmetros que determinam contaminação nos corpos d'água encontram-se os surfactantes (tensoativos) que estão presentes nas formulações de diversos produtos. Os tensoativos são compostos por uma parte hidrofóbica (apolar) e outra hidrofílica (polar), devido a parte apolar não solubilizar em água, quando, em concentrações acima de 2,0mg/L em águas residuárias causam a formação de espumas, a diminuição da tensão superficial e a redução da dispersão de oxigênio, danificando a biota aquática.

No entanto, dada a necessidade da diminuição e/ou remoção de poluentes em uma estação de tratamento de efluentes (E.T.E.) idealizou-se este projeto e tem-se como questionamento central do trabalho: **É possível implementar alterações e/ou ajustes em**

uma estação de tratamento de efluentes, a fim de melhorar a taxa de remoção ou diminuir a concentração de surfactantes presente no efluente, buscando assim atender à legislação vigente? Em estudo realizado na cidade de Tubarão/SC em 2018.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

- Propor alterações e/ou ajustes em uma estação de tratamento de efluentes, a fim de melhorar a sua eficácia na remoção do parâmetro surfactante, visando atender a legislação vigente.

1.2.1.1 Objetivos Específicos

a) Estudar o funcionamento da estação de tratamento de efluentes compacta conforme o projeto do empreendimento e da forma que a mesma está instalada.
b) Analisar as possíveis fontes ou inadequações causadoras das altas concentrações do parâmetro surfactante.
c) Realizar testes físico-químicos em escala laboratorial, a fim de buscar possíveis soluções para o tratamento do parâmetro em questão.
d) Recomendar caso necessário adequações na estação de tratamento de efluentes/sistema de tratamento atual, a fim de adequar o parâmetro surfactante à faixa aceitável.

1.3 RELEVÂNCIA SOCIAL E CIENTÍFICA DO ESTUDO

O tema proposto deste trabalho tem como relevância social a questão da importância de reutilizar a água, seja ela em meio industrial ou residencial, pois devido a toda problemática com questões de falta de água em todo o mundo, se mostra bastante relevante que todos e em todos os setores tenham consciência e, principalmente façam a sua parte.

Em termos de ciência o presente trabalho visa proporcionar a descontaminação de surfactantes no efluente tratado para que em situações que o mesmo precise ser descartado não agrida ao corpo receptor, visto que o município onde a empresa X está instalada utiliza a água do rio para tratar e distribuir a mesma para o consumo humano.

Os surfactantes em efluentes são considerados de difícil remoção ou ainda a tecnologia existente exige maior investimento, mas com o avanço e o desenvolvimento de pesquisas, cada vez mais se torna mais fácil obter êxito nesse quesito, principalmente quando se trata de pesquisas, desenvolver novas metodologias ou técnicas que através dos resíduos gerados possamos reutilizá-los para outros fins.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 APRESENTAÇÃO EMPRESA X

O presente trabalho foi realizado na empresa X, no município de Tubarão situado no sul do estado de Santa Catarina. O empreendimento em questão tem como atividade a recuperação de materiais plásticos, com foco, na reciclagem de garrafas de politereftalato de etileno – (PET), revalorizando esse material através do processo mecânico.

Atua no processo de reciclagem há um pouco mais de um ano e está se consolidando no mercado de forma responsável atendendo às exigências do mercado. Devidamente licenciada pelo órgão ambiental municipal, possui estação de tratamento de efluentes própria, com acompanhamento técnico, possibilitando o reúso do efluente usando a água com responsabilidade.

A empresa X vem investindo em novos equipamentos e fortalecimento dos parceiros a fim de garantir o produto final com padrão de qualidade esperado pelos clientes e parceiros.

2.2 ÁGUA

A água é um recurso natural de valor inestimável para qualquer ser existente no planeta, inclusive, fundamental para a existência da vida do ser humano. Conforme Herculin et al. (2014, p.130), “para que possa cumprir seu papel de mantenedora das formas de vida – dentre as quais se inclui a humana –, a água deve apresentar-se em condições de potabilidade, de modo a poder ser consumida seguramente, sem prejuízos para aquele que a ingere”.

Nosso planeta Terra é coberto em sua maior parte por água, sendo a maior dela de água salgada, restando apenas uma pequena parte de água doce acessível para o consumo. De acordo com Sperling (2005), a água disponível no planeta é 97% de água do mar, 2,2% está presente nas geleiras e 0,8% são de água doce.

> [...] da água disponível, apenas 0,8% pode ser utilizada mais facilmente para abastecimento público. Desta pequena fração de 0,8%, apenas 3% apresentam-se na forma de água superficial, de extração mais fácil. Esses valores ressaltam a grande importância de se preservarem os recursos hídricos na Terra, e de se evitar a contaminação da pequena fração mais facilmente disponível. (SPERLING, 2005, p.17).

No que se refere à quantidade de água presente em sua extensão pode-se dizer que o Brasil é um país privilegiado, pois, de acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA) em termos globais, o Brasil possui uma boa quantidade de água. Estima-se que o país possua cerca de 12% da disponibilidade de água doce do planeta.

Da pequena porção de água mais facilmente acessível, é importante ressaltar que a mesma necessita apresentar boa qualidade para consumo humano, pois, a água não tratada pode ser maléfica a saúde humana. A água potável, segundo a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2009) não deve conter microrganismos patogênicos e deve estar livre de bactérias indicadoras de contaminação fecal, devido o poder desses agentes causarem disenteria, cólera, hepatite, dentre outras. Deve também, atender outros parâmetros legais de potabilidade exigidos pela Portaria Nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde.

2.2.1 Água de reúso

Atualmente no Brasil está sendo bastante difundida a questão da reutilização da água, tanto em ambiente domiciliar quanto em ambiente industrial, trabalhando a respeito da utilização de fontes alternativas e redução do consumo de água.

Entidades privadas como o Serviço Brasileiro de Apoio à Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) e a Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina (FIESC), no caso de Santa Catarina, são entidades que incentivam as empresas a conservar e reutilizar as águas residuárias. O SEBRAE e a FIESC normalmente disponibilizam manuais com orientações e informações para as práticas industriais, e para que as mesmas desenvolvam seus planos de reutilização da água.

De acordo com a Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP/CIESP, p.23) “a limitação de reservas de água doce no planeta, o aumento da demanda de água para atender, principalmente, o consumo humano, agrícola e industrial, a

prioridade de utilização de recursos hídricos disponíveis para abastecimento público e as restrições vem sendo impostas em relação ao lançamento de efluentes no meio ambiente".

Dessa forma é possível compreender que é de suma importância reutilizar a água, principalmente, no que se refere ao setor industrial, a fim de diminuir os impactos causados pelo descarte de efluentes nos corpos receptores.

> A prática do reúso em sistemas industriais proporciona benefícios ambientais significativos, pois permite que um volume maior de água permaneça disponível para outros usos. Em certas condições, pode reduzir a poluição hídrica por meio da minimização da descarga de efluentes. Existem também benefícios econômicos, uma vez que a empresa não acrescenta a seus produtos os custos relativos à cobrança pelo uso da água. (SEBRAE-RJ/FIRJAN, 2006, p.5).

Dentre os diversos tipos de componentes presentes na água, e que ocasionam a alteração do nível de pureza para uso doméstico e industrial, e potabilidade, podem ser entendidos, de forma simples, da seguinte maneira:

> a) Características físicas. As impurezas enfocadas do ponto de vista físico estão associadas, em sua maior parte, aos sólidos presentes na água. Estes sólidos podem ser em suspensão, coloidais ou dissolvidos, dependendo do seu tamanho. b) Características químicas. As características químicas de uma água podem ser interpretadas através de uma das duas classificações: matéria orgânica ou inorgânica. c) Características biológicas. Os seres presentes na água podem ser vivos ou mortos. Dentre os seres vivos, têm-se os pertencentes aos reinos animal e vegetal, além dos protistas. (SPERLING, 1996, p. 17).

De acordo com o uso da água é necessário abranger um padrão adequado de qualidade. Para o consumo humano exige-se o grau de potabilidade, e para o uso industrial também se exige um padrão de qualidade conforme a finalidade do reúso da água.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em sua NBR 13.969 de 1997 que designa a classificação das águas residuárias em quatro classes, bem como seus respectivos valores de parâmetros para esgoto, conforme o reúso.

> classe 1: Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 200 NMP/100 mL; sólidos dissolvidos totais inferior a 200 mg/L; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L. classe 2: lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 500 NMP/100 mL, cloro residual superior a 0,5 mg/L. classe 3: reúso nas descargas dos vasos sanitários: turbidez inferior a 10, coliformes fecais inferiores a 500 NMP/100 mL. Normalmente, as águas de enxague das máquinas de lavar roupas satisfazem a este padrão, sendo necessário apenas uma cloração. Para casos gerais, um tratamento aeróbio seguido de filtração e desinfeção satisfaz a este padrão. classe 4: reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Coliforme fecal inferior a 5 000 NMP/100 mL e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/L. As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita. (ABNT NBR 13.969/1997).

Devido a toda problemática de crises hídricas e a questão dos lançamentos de efluentes no meio ambiente, e a poluição do mesmo, há uma necessidade de cada vez mais buscar aperfeiçoamentos e tecnologias que minimizem os impactos causados, e assim deixando a água doce de fácil acesso disponível em sua maior parte apenas para o consumo humano, enfatizando, ainda a importância de reutilizar água em processos industriais.

A tendência mundial é a otimização do uso da água, propiciando a economia, além de investir em pesquisas que possibilitem saber de forma precisa qual a finalidade e a quantidade de água necessária para atividades humanas (NUNES, 2012).

2.3 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Os sistemas de tratamento têm como finalidade controlar e diminuir os níveis de contaminação e poluição da água, causada pelos corpos geradores. Esse conjunto de contaminantes, normalmente é proveniente das atividades humanas e dos despejos industriais. Segundo Sperling (2005, p. 249), "a remoção dos poluentes no tratamento, de forma a adequar o lançamento a uma qualidade desejada ou ao padrão de qualidade vigente está associada aos conceitos de nível do tratamento e eficiência do tratamento".

Em tratamentos de esgotos ou efluentes, usualmente são classificados através de alguns níveis para conseguir atender a eficiência desejada. De forma breve Sperling (2005, p. 249) descreve o seguinte:

> O tratamento preliminar objetiva apenas a remoção de sólidos grosseiros, enquanto o tratamento primário visa a remoção de sólidos sedimentáveis e, em decorrência, parte da matéria orgânica. Em ambos predominam os mecanismos físicos de remoção de poluentes. Já no tratamento secundário, no qual predominam mecanismos biológicos, o objetivo é principalmente a remoção de matéria orgânica e eventualmente nutrientes (nitrogênio e fósforo). O tratamento terciário objetiva a remoção de poluentes específicos (usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis) ou ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário.

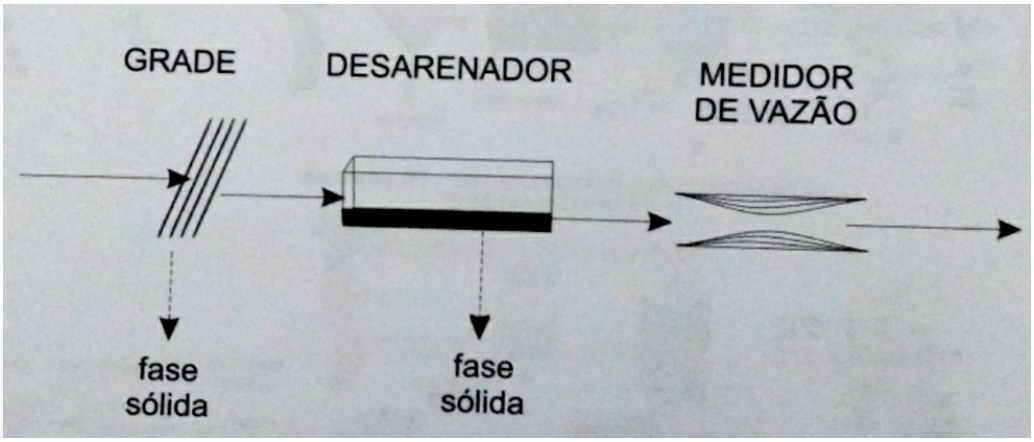
De acordo com Leme (1982, p. 230) "[...] os sistemas também podem ser classificados, segundo uma sequência crescente da eficiência, em preliminares, primários e secundários". A fim de remover a maior quantidade possível de substâncias indesejáveis da água e, manter uma eficiência adequada, torna-se necessário que se tenha um planejamento eficiente, onde, entende-se a necessidade de encontrar um sistema de controle ambiental e de

qualidade, que dessa forma, consiga tratar os parâmetros estabelecidos do efluente. Para maior clareza sobre os passos do tratamento de efluentes, o tópico seguinte será mais detalhado.

2.3.1 Tratamento preliminar

O tratamento preliminar é o primeiro passo após o afluente ser lançado para a estação de tratamento. Esta primeira etapa, destina-se à remoção dos sólidos grosseiros, areia e materiais flutuantes, o qual engloba apenas processos físicos. Normalmente, podem incluir um medidor de vazão, por exemplo, a calha parshall. Abaixo segue uma ilustração apresentando um fluxograma típico do tratamento preliminar.

Figura 1: Tratamento preliminar.



Fonte: Von Sperling, 2005, p.264.

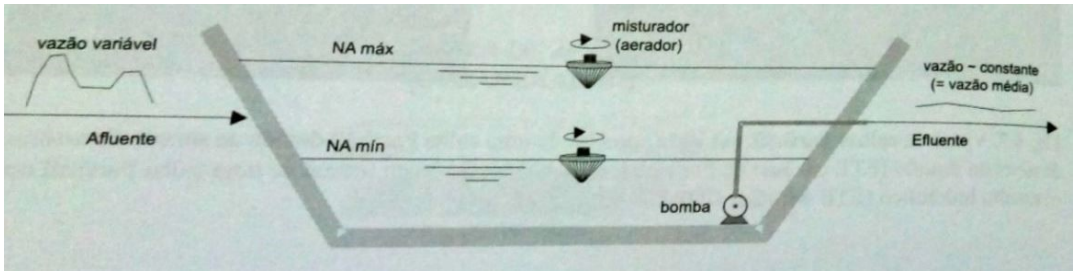
Conforme a figura acima, a primeira etapa em que o efluente passa, é por um sistema de gradeamento, este, com a finalidade de remover apenas os sólidos grosseiros para que haja a proteção, além dos corpos receptores como também das unidades seguintes do tratamento. Frequentemente a remoção do material grosseiro é feito por grades, mas também podem ser usadas peneiras rotativas e estáticas. (SPERLING, 2005).

Para a retirada do material mais fino, por exemplo, a areia contida no efluente ou esgoto é realizada através de desarenadores, onde o mecanismo de separação da areia do efluente é por meio da sedimentação da mesma, devido às partículas sólidas serem mais densas.

Em estação de tratamento que tratam efluentes industriais, normalmente, pode ser necessária a inclusão de um tanque de equalização após o tratamento preliminar. Como a vazão afluente geralmente pode sofrer variações durante o dia, se torna de grande valia manter ajustes na vazão, de modo a mantê-la constante para seguir ao tratamento primário. O tanque de equalização tem como função, basicamente, reduzir a variação da vazão afluente e obter o efluente homogeneizado para que não haja sedimentação de sólidos no fundo do tanque e decomposição anaeróbia nesta etapa do tratamento, pois pode haver o aumento de microrganismos indesejados.

Dessa forma, um recurso importante para manter os sólidos e o líquido homogêneo, é utilizado os aeradores, pois, além do poder de mistura, também introduzem oxigênio ao meio, tendo assim condições de aerobiose.

Figura 2: Esquema de um tanque de equalização



Fonte: Von Sperling, 2005, p. 268.

2.3.2 Tratamento primário

Após passar pelo tratamento preliminar, o efluente pode ainda conter quantidades significativas de sólidos em suspensão não grosseiros, que podem ser parcialmente removidos por unidades de sedimentação. Porém, a remoção destes por sistemas simples implica na redução da carga de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) que é levada ao tratamento físico-químico. De acordo com Sperling (2005, p.269), “a eficiência de remoção de sólidos em suspensão situa-se em torno de 60 a 70%, e a DBO em torno de 25 35%”.

Os sistemas de tratamento primário podem abranger decantação simples, precipitação química e decantação, digestão de lodos, secagem, disposição final em aterros, incineração, desinfecção e filtração através de filtros grosseiros (LEME, 1982).

Por meio dos tanques de decantação, onde o efluente flui em velocidade lenta, tem o tempo necessário para que os sólidos em suspensão, o qual possui densidade maior que a do líquido, possa sedimentar para o fundo dos decantadores. A massa de sólido sedimentado é chamada de lodo primário e, pode ser retirado em tempos pré-determinados para que não acarrete (dependendo das características do efluente) anaerobiose. A retirada do lodo pode ser por meio de tubulações ao fundo do tanque ou por meio de raspadores mecânicos.

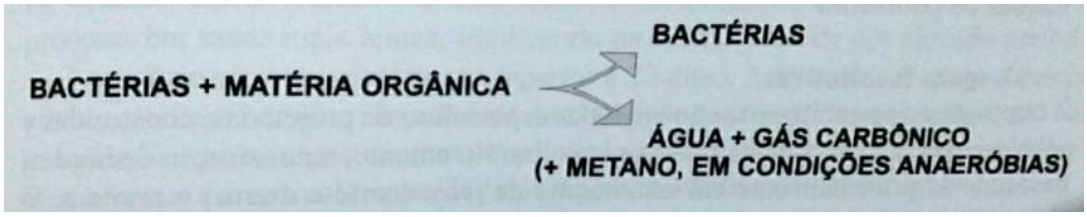
Os materiais sólidos flutuantes presente no efluente, por exemplo, óleos e graxas, são coletados e removidos dos tanques para tratamento posterior.

2.3.3 Tratamento secundário

O processo de tratamento secundário, geralmente apresenta a inclusão do tratamento biológico, o qual proporciona a intensificação da degradação da matéria orgânica biodegradável em espaços de tempo menores quando comparados aos sistemas naturais. Enquanto nas etapas anteriores do tratamento predominavam as operações físicas, nesta etapa do processo acontecem reações bioquímicas, as quais são realizadas pelas ações dos microrganismos.

Dentre os microrganismos que participam do tratamento biológico, podem fazer parte as bactérias, fungos e protozoários. Estes se alimentam da matéria orgânica presente, convertendo-a em água, CO_2 e matéria celular. Todavia para que estes seres desenvolvam seu trabalho biológico é necessário manter o controle de alguns parâmetros como: pH, temperatura, tempo de contato, dentre outros e, quando em condições aeróbias, é indispensável o controle de oxigênio.

Figura 3: Esquema simplificado do metabolismo bacteriano



Fonte: Von Sperling, 2005, p. 273.

Sperling (2005, p. 274), afirma que “existe uma grande variedade de métodos de tratamento em nível secundário, sendo que os mais comuns são: lagoas de estabilização e variantes, processos de disposição sobre o solo, reatores anaeróbios, lodos ativados e variantes e reatores aeróbios com biofilmes”.

Os sistemas de lagoa de estabilização constituem a forma mais simples para o tratamento de esgotos/efluentes. Existem diversas variantes dos sistemas de lagoas e com diferentes níveis operacionais. Os sistemas de lagoas de estabilização usuais são: lagoas facultativas, lagoas anaeróbias – lagoas facultativas, lagoas aeradas facultativas, lagoas aeradas de mistura completa – lagoas de decantação, lagoa de maturação (id ibid.).

Para o mesmo autor a disposição final de efluentes líquidos tratados mais comumente utilizados é o descarte em mares e cursos d’água. No entanto, a disposição em solos também sem mostra viável e é aplicável em diversos lugares do mundo. Quando o efluente tratado é aplicado no solo conduzem à recarga do lençol subterrâneo, também supre as necessidades das plantas tanto em termos de água como de nutrientes. As aplicações mais comuns nos solos são: infiltração lenta, infiltração rápida, infiltração superficial, escoamento superficial e terras úmidas construídas.

Sobre os reatores anaeróbios existem diversos variantes do mesmo, mas estes atuam em situações que as bactérias não utilizam oxigênio em suas reações. Segundo Sperling (2005), os dois tipos mais utilizados em tratamentos de esgotos são o filtro anaeróbio e reator anaeróbio de manta de lodo de fluxo ascendente (UASB).

Os sistemas de lodos ativados e variantes de acordo com Sperling (2005, p.301), “é bastante utilizado, em nível mundial, principalmente em situações em que e deseja uma elevada qualidade do efluente com baixos requisitos de área”. O sistema de lodos ativados pode ser classificado de acordo com a idade do lodo, com o fluxo e de acordo com os objetivos de tratamento. Os principais exemplos usuais são lodo ativado convencional, lodo ativado por aeração prolongada, lodo ativado de fluxo intermitente e lodos ativados como pós-tratamento de efluentes anaeróbios (SPERLING, 2005).

Os reatores aeróbios com biofilmes, conforme Sperling (2005, p.310), “são reatores nos quais a biomassa cresce aderida a um meio suporte”. Os exemplos dentre este amplo campo são os filtros biológicos percoladores de baixa carga, filtros biológicos percoladores de alta carga, biofiltros aerados submersos e biodiscos e variantes.

Após o tratamento biológico, normalmente pode-se adotar o tratamento físico-químico para remoção de cargas poluidoras que não foram removidas no tratamento biológico convencional.

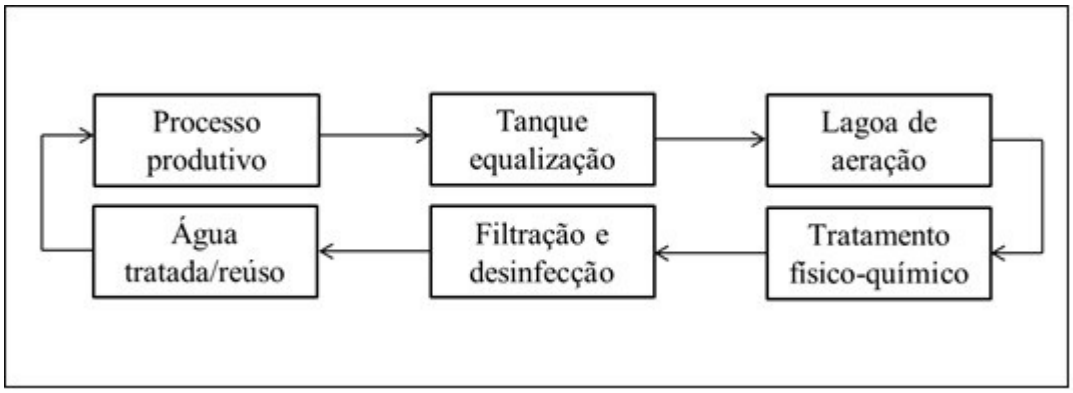
> O tratamento físico-químico por coagulação-floculação de águas residuárias decorrentes dos processos industriais tem sido empregado, na maioria das vezes, a nível primário, precedendo tratamento biológico de depuração, objetivando reduzir a carga orgânica afluente, consequentemente, obtendo-se menores dimensões nestas unidades. [...] O tratamento físico-químico por coagulação-floculação difere muito pouco dos sistemas empregados no tratamento de água bruta para abastecimento público, e sua concepção básica consiste transformar em flocos, impurezas em estado coloidal, suspensões, etc. e, posteriormente, removê-los em decantadores. Para se obter a floculação, lança-se mão de coagulantes químicos, como os sais de alumínio e de ferro, que reagem com a alcalinidade contida ou adicionada nas águas residuárias, formando hidróxidos que desestabilizam coloides, partículas em suspensão, etc, pela redução de seu potencial zeta a valores próximos de zero [...]. (NUNES, 2012, p.61).

A combinação do tratamento biológico juntamente com o tratamento físico-químico se mostra eficaz aumentando a qualidade do efluente tratado.

2.4 APRESENTAÇÃO ETE EMPRESA X

Para compreensão melhor das etapas do tratamento realizada na empresa X, foi elaborado um fluxograma de forma resumida, conforme segue abaixo.

Figura 4: Fluxograma do processo de tratamento da empresa X



Fonte: da autora, 2018.

Toda água utilizada no processo de beneficiamento do PET decorre do tratamento de efluente da empresa. A água torna-se à efluente ao sair dos tanques de lavagem e lavadoras do processo. Todo o efluente gerado é levado por meio de canos e gravidade até o primeiro tanque, o qual é a equalização. Conforme já descrito no corpo deste trabalho, o tanque de

equalização tem como função equalizar e homogeneizar o efluente. Como tratamento preliminar a empresa X possui apenas o tanque de equalização.

Figura 5: Tanque de equalização

Fonte: empresa X, 2018.

Na sequência o efluente é levado à lagoa de aeração, também por meio da gravidade. A lagoa possui um volume aproximado de 1500 m³ e como meio de aeração tem dois aeradores do tipo turbo hélice com potência de 5 CV cada. O tratamento biológico ou secundário envolve a remoção da matéria orgânica e cargas inorgânicas presente no efluente, através da aeração forçada causada pelos aeradores, fazendo com que os processos acorram de forma mais rápida.

Figura 6: Lagoa de aeração de mistura completa

Fonte: empresa X, 2018.

De acordo com o projeto da ETE, a lagoa é considerada de mistura completa com tempo de detenção em torno de 3 dias. Quando se tem esse sistema de total mistura dos

constituintes em toda a lagoa, onde os sólidos suspensos em mistura completa incluem além da matéria orgânica, as bactérias. Essa biomassa formada permanece em suspensão em toda a lagoa e, devido a isso é necessário um tratamento posterior ao biológico.

Como tratamento posterior ao secundário há o tratamento físico-químico, onde consiste na remoção final dos sólidos suspensos, cor, turbidez e remoção de nutrientes do efluente por meio da adição de alcalinizante para correção do pH e da adição de policloreto de alumínio (PAC) e polímero catiônico para coagulação dos flocos. Conforme Nunes (2012) a melhor alternativa para obter uma melhor qualidade do efluente tratado é associar o sistema de coagulação/floculação à jusante do sistema biológico. O processo de mistura do efluente + produtos químicos ocorre em uma calha de fluxo horizontal com chicanas, após, caem em flocodecantadores. Os flocos que decantam nos flocodecantadores originam o lodo e são postos em leitos de secagem.

Figura 7: Flocodecantador e leito de secagem

Fonte: da autora, 2018.

A água que sai na parte superior dos flocodecantadores é levada para o sistema de filtração com carvão antracitoso.

Figura 8: Filtro rápido de fluxo descendente.

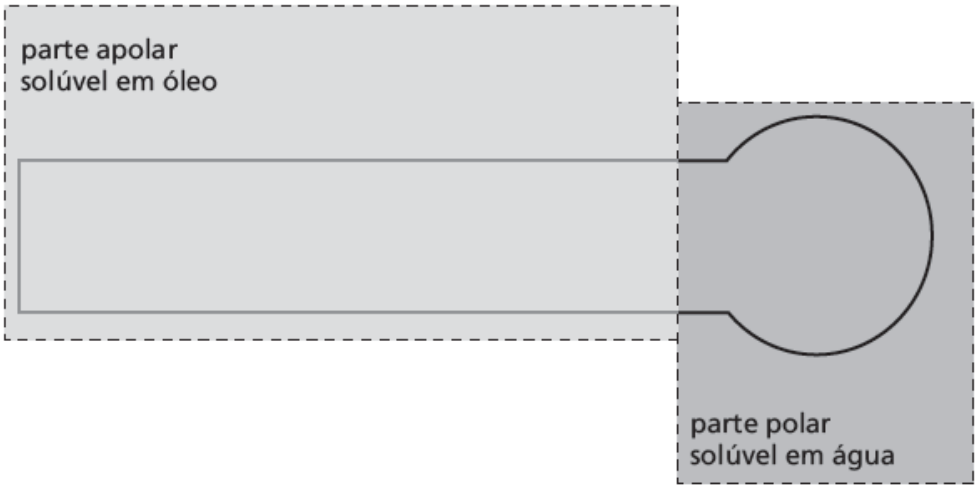
Fonte: da autora, 2018.

Por último o efluente passa por desinfecção e devidamente tratado é posto em reservatórios para reúso no processo produtivo.

2.5 SURFACTANTES

Os tensoativos para Penteado et al (2006, p. 1038), “são compostos orgânicos que possuem comportamento anfifílico, ou seja, possuem duas regiões, hidrofóbica e hidrofílica. A parte hidrofóbica do tensoativo geralmente é composta de cadeias alquílicas ou alquilfenílicas, contendo de 10 a 18 átomos de carbono”. O surfactante apresenta em sua cadeia carbônica uma parte com característica apolar (hidrofóbica) ligada a outra parte com característica polar (hidrofílica). Esse tipo de molécula é polar e apolar ao mesmo tempo (figura 9). Assim, a parte hidrofóbica da molécula é solúvel em óleos, graxas e gorduras e a parte hidrofílica da molécula é solúvel em água (DALTIN, 2011).

Figura 9: Representação esquemática das partes polar e apolar de um tensoativo.



Fonte: Daltin, 2011, p. 11.

De acordo com Daltin (2011, p.13), “a solubilidade em água de um tensoativo é dada pela existência de cargas na sua parte polar. Quanto mais carga tiver um tensoativo, mais solúvel ele será em água, não importando se as cargas são negativas ou positivas (já que a água apresenta as duas cargas)”.

Os surfactantes são agentes tensoativos que consistem em cadeias moleculares com a parte hidrofóbica, normalmente contendo de 10 a 20 átomos de carbono. Entretanto, a parte hidrofílica pode conter ou não grupos com cargas ionizáveis na água. O lado apolar pode apresentar composto como alquil benzenos, alquil fenóis, álcool, parafina ou um polioxipropileno, já o lado polar normalmente apresentam compostos a base de sulfatos, carboxilatos, sulfonatos ou grupamento quaternário de amônio (GARDINGO, 2010; COLPANI, 2012).

Os tensoativos têm ação de detergência e limpeza e são encontrados nas formulações de diversos produtos, principalmente em detergentes, produtos de limpeza, higiene pessoal e em cosméticos. Os surfactantes também são compostos que modificam a tensão superficial, quando dissolvidos em água ou em soluções aquosas. Os tensoativos diminuem a tensão superficial entre dois líquidos e, juntamente com o ar são responsáveis pela formação de espuma, devido às moléculas de surfactantes dissolvidos na suspensão para assim ocorrer sua ação de limpeza, alterando as características da interface.

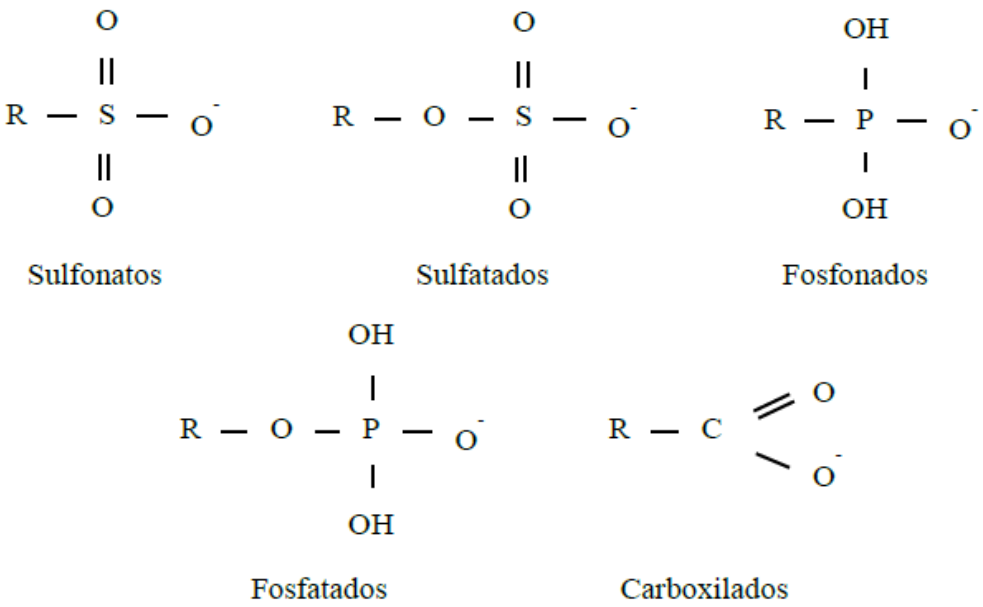
Os tensoativos/surfactantes são classificados em diversas classes de acordo com a carga elétrica presente na parte hidrofílica da molécula (BIGARDI et al, 2002).

2.5.1 Surfactantes Aniônicos

Os surfactantes ou tensoativos aniônicos são compostos que possuem em sua estrutura molecular um ou mais grupos polares, que quando dissolvidos em água, originam íons carregados negativamente (COLPANI, 2012).

A figura 10 abaixo mostra os grupos ligados à parte polar/hidrofílica do surfactante.

Figura 10: Grupos hidrofílicos aniônicos



Fonte: Colpani, 2012, p. 28.

A diferença de eletronegatividade dos elementos na parte polar da molécula faz com que aumente a polaridade na molécula, tornando-as mais solúvel em água.

> Além da carga negativa já presente na parte polar da molécula, essa região possui átomos de oxigênio (de alta eletronegatividade) que atraem elétrons dos carbonos e hidrogênios vizinhos, aumentando ainda mais a polaridade negativa dessa região. Portanto, por apresentar dois efeitos que, somados, concentram cargas, a parte polar desse tipo de tensoativo apresenta alta polaridade e alta capacidade de atração de moléculas de água. Isso faz com que os tensoativos aniônicos sejam muito solúveis em água. (DALTIN, 2011, p.13).

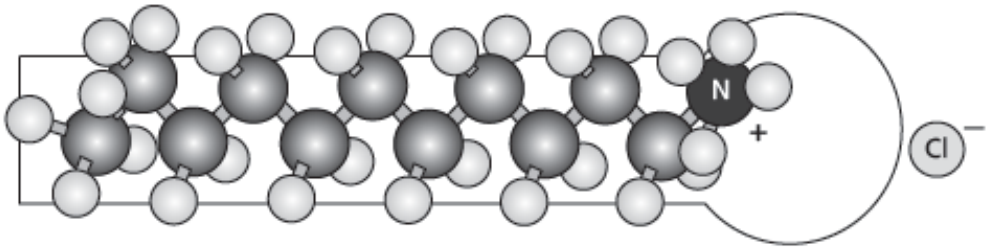
Os surfactantes aniônicos constituem a maior classe de tensoativos e a mais utilizada pela indústria em geral, pois nessa classe se encontram os principais tensoativos das

formulações dos sabões, sabonetes, xampus e detergentes. E também são os tensoativos de menor valor no mercado. Os surfactantes aniônicos mais utilizados mundialmente são o ácido linear alquilbenzeno sulfônico (LAS), popularmente conhecido como ácido sulfônico e o lauril éter sulfato de sódio (LESS).

2.5.2 Surfactantes Catiônicos

Os tensoativos catiônicos são assim denominados devido a parte polar da molécula apresentar carga positiva (cátion). Como a parte hidrofílica possui carga positiva, normalmente vinda do hidrogênio de carga positiva. Sendo assim, essa carga atua tornando essa parte da molécula solúvel em água, já que água possui tanto cargas positivas quanto negativas.

Figura 11: Representação de uma molécula de um sal quaternário de amina graxa como exemplo de um tensoativo catiônico.



Fonte: Daltin, 2011, p. 13.

Os surfactantes catiônicos segundo Daltin (2011, p.18), “constituem uma classe representada por poucos tensoativos. Hoje somente há disponibilidade, no mercado brasileiro, de tensoativos catiônicos baseados no nitrogênio quaternário”.

O hidrogênio presente na parte polar desse tensoativo é mais eletronegativo que o carbono e o autor anterior, explica que dessa forma o hidrogênio atrai parcialmente os elétrons envolvidos nessa ligação e, como elétrons apresentam carga negativa, esse efeito neutraliza parcialmente a carga positiva do tensoativo. No entanto, quando ocorre o efeito de

neutralização atenua a polaridade da região polar do tensoativo. Porém, com essa polaridade atenuada reduz a solubilidade em água dos tensoativos catiônicos.

Os tensoativos catiônicos são os que apresentam as mais altas toxicidades aquáticas quando comparados com as outras classes de tensoativos. Isso ocorre devido serem menos solúveis em água que os tensoativos aniônicos. Uma de suas principais aplicações é em formulações de amaciantes.

2.5.3 Surfactantes Não iônicos

Os surfactantes não iônicos constituem a segunda classe de tensoativos mais utilizada no mercado. Estes são assim denominados, devido não apresentam cargas verdadeiras (ou seja, não originados de sais dissociados), como por exemplo, os compostos etoxilados.

Segundo Daltin (2011, p. 14), “esse tensoativo é obtido pela reação do composto graxo (como por exemplo, o álcool dodecílico) com óxido de eteno”. Normalmente são produzidos por meio da reação de condensação de óxidos de etileno com álcoois, fenóis, ácidos e aminas.

> Na cadeia etoxilada (cadeia polimérica de óxido de eteno) existem diversos átomos de oxigênio com carga parcial negativa. Não existem cargas iônicas verdadeiras, que são muito mais intensas, como nos tensoativos aniônicos ou catiônicos. Portanto, cada molécula de óxido de eteno contribui pouco para a formação de uma região polar na molécula. A partir do momento em que mais moléculas de óxido de eteno sejam anexadas, a região etoxilada passa a adquir maior característica polar. Normalmente, de quatro a cinco moléculas de EO já são suficientes para criar uma região polar com quantidade de carga negativa suficiente para garantir que a molécula se tornou um tensoativo. A partir daí, conforme se aumente a quantidade de moléculas de óxido de eteno, maior será a polaridade da molécula final e maior a sua solubilidade em água. (DALTIN, 2011, p. 15).

Sendo assim, quanto maior o número de moléculas de óxido de eteno no tensoativo, maior o número de forças que auxiliam na sua solubilidade em água.

Comercialmente, os agentes tensoativos não iônicos mais usados são os alquil etoxilados e os alquil fenólicos etoxilados. São mais empregados na formulação de detergentes em pó e líquidos, na maioria das vezes em conjunto com os aniônicos. É importante destacar que a ação detergente da mistura de dois tensoativos (aniônicos e não iônicos) são superiores à soma das ações tensoativas individuais (sinergismo). Este fato é

aproveitado para que, através de combinações adequadas, características desejáveis como, detergência e/ou espuma sejam alcançadas. Esta classe de tensoativos não fornece íons em solução aquosa e a sua solubilidade em água se deve à presença, em suas moléculas, de grupamentos funcionais que possuem forte afinidade pela água (JESUS, 2016; NITSCHKE E PASTORE, 2002).

2.5.4 Surfactantes Anfóteros

Os tensoativos anfóteros formam o grupo de tensoativos menos utilizado no mercado devido seu alto custo. São normalmente compatíveis com todas as outras classes de tensoativos. Por terem as duas cargas negativa e positiva na molécula, apresentam propriedades de organização com as moléculas de tensoativo aniônico e catiônico que modificam suas propriedades, permitindo a redução, por exemplo, de sua irritabilidade ocular (DALTIN, 2011).

O surfactante mais utilizado desta classe, muito empregado em formulações de xampus é o cocoaminopropil betaína.

2.5.5 Impacto Ambiental dos Surfactantes

Conforme já citado anteriormente, os surfactantes são os principais constituintes das formulações de detergentes, amaciantes, xampus, cosméticos, entre outros. Devido à presença em diversos produtos, os surfactantes são liberados em consideráveis quantidades no meio ambiente frequentemente, causando sérios impactos ambientais.

Entre os problemas ambientais decorrentes do acúmulo de surfactantes nos corpos hídricos comumente destacam-se a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido, devido à diminuição da tensão superficial água/ar, não suprindo os microrganismos aeróbicos de forma eficiente; diminuição da permeabilidade da luz, por manter as partículas presentes em suspensão (PENTEADO et al, 2006). Além disso, destaca-se também, o alto poder de

formação de espumas, principalmente dos surfactantes aniônicos, que consequentemente inibem o processo de autodepuração dos corpos hídricos.

Em estações de tratamento de efluentes os surfactantes também causam problemas no tratamento, pois quando em excesso podem modificar os parâmetros morfológicos dos flocos, diminuindo a capacidade de floculação das partículas, assim dificultando a separação no decantadores.

2.5.6 Degradação de Surfactantes

Atualmente diversas técnicas têm sido empregadas para remover surfactantes de soluções aquosas, tal como degradação biológica, oxidação avançada e adsorção. A remoção de surfactantes, principalmente os aniônicos é realizada na maioria das vezes por meio do tratamento biológico.

> A degradação de surfactantes através da atividade microbiana (biodegradação) é a primeira transformação a ocorrer no ambiente. É um processo importante para remover surfactantes presentes em água residuárias e estações de tratamento de esgoto, e também aprimora a remoção destes compostos no ambiente, reduzindo assim, seu impacto na biota aquática e terrestre. Na biodegradação, os microrganismos podem utilizar os surfactantes como fonte de carbono, energia e nutrientes. (OLIVEIRA, 2010, p.10).

Normalmente o tratamento biológico é o mais simples e com menor custo e, dependendo da biodegrabilidade do tensoativo, este tratamento apresenta elevadas taxas de remoção. No entanto, em situações, onde somente o tratamento biológico não remove satisfatoriamente a quantidade de surfactantes é comum após este tratamento o efluente passar por processos físico-químicos para melhorar a eficiência de remoção destes compostos.

Nos casos de surfactantes de difícil remoção são aplicadas outras tecnologias para melhoria deste parâmetro. Essas tecnologias normalmente são processos de oxidação avançada (POA) e adsorção, porém, costumam apresentar maior custo de implantação. Sendo assim, a forma mais econômica, é de fato sempre que possível evitar o uso de tensoativos. Quando isso não for possível pode-se utilizar dos métodos já existentes ou então estudar e aprimorar para novas metodologias de remoção.

A adsorção é um processo no qual as moléculas de um soluto são atraídas para sítios ativos na superfície de um adsorvente microcristalino ou resinoso.

> O processo de adsorção é o resultado da existência de um excesso de energia na superfície do adsorvente (energia livre de superfície) devido ao desbalanceamento das forças que atuam em suas moléculas ou átomos. As forças entre soluto e adsorvente responsáveis por este fenômeno superficial podem ser forças físicas tais como ligações de hidrogênio, forças de interação eletrostáticas e forças de Van der Waals ou forças químicas, as quais se originam do compartilhamento de elétrons entre o sólido e a molécula adsorvida (BORGES, 2002, p.9).

O processo de adsorção de surfactantes aniônicos é bastante estudado em diversos tipos de materiais, por exemplo, em superfícies de carvão ativo, resinas poliméricas, polímeros, alumina, sedimentos, bentonita, areia, lodo, sílica gel (RIOJA, 2009). Para Borges (2002, p. 8), "o emprego da adsorção em tratamento de efluentes líquidos envolve interfaces líquido-sólido que, visam remover solutos contaminantes da fase líquida, transferindo-os para fase sólida".

Os processos de oxidação avançada são procedimentos de alta eficiência para tratamento de efluentes, uma vez que estes processos destroem as moléculas orgânicas poluentes, ao invés de simplesmente removê-las para outra fase (RIOJA, 2009).

De acordo com Rioja, (2009, p. 12), "os POA caracterizam-se pela geração e utilização do radical livre hidroxila (OH), agente fortemente oxidante, com alta reatividade que destrói inúmeros compostos de maneira rápida e não seletiva conduzindo à mineralização parcial ou completa do contaminante, resultando em último caso, na redução do conteúdo orgânico e/ou na melhora de sua biodegradabilidade".

2.6 A LEGISLAÇÃO VIGENTE

Os requisitos de qualidade, de forma geral caracterizam a qualidade desejada para água, sendo assim se torna necessário estabelecer os padrões de qualidade, os quais devem ser cumpridos por força da legislação.

Conforme Sperling (2005, p. 234), "os padrões nacionais são definidos por cada país, têm status de lei e são baseados nas características específicas do país. Dependendo da estrutura política do país, padrões regionais podem também existir para cada estado ou outra forma de divisão política". No Brasil tais padrões são estabelecidos em âmbito nacional, estadual e municipal.

Para fins de padrões no que tange à qualidade da água, corpos d'água e efluentes são determinados alguns tópicos os quais são: padrões de lançamento no corpo receptor, padrões de qualidade do corpo receptor e padrões ou diretrizes de qualidade para determinado uso do efluente tratado (SPERLING, 2005).

A resolução 430 de 2011 do CONAMA cita no art. 3º que "os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis".

A empresa objeto de estudo deste trabalho é situada na cidade de Tubarão, a cidade possui além do órgão estadual – FATMA possui também órgão municipal para estabelecer e fiscalizar os empreendimentos de cunho ambiental. Toda via a empresa X deve atender os parâmetros estabelecidos pela FUNAT e, logo estar em conformidade também com a FATMA E CONAMA.

De acordo com projeto desenvolvido da ETE da empresa juntamente com algumas analises propostas de monitoramento, mediante aprovação da licença ambiental de operação (LAO), ficou estabelecido as seguintes análises, as quais são enviadas para FUNAT trimestralmente.

Tabela 1: Parâmetros exigidos pela resolução CONAMA 430/2011.

Parâmetro	**Limite máximo permitido**
pH	Entre 6,0 a 9,0
Materiais sedimentáveis (ml/L/h)	Até 1,0 ml/L/h
DBO_5 (mg/L)	Máximo 60 mg/L ou 80% de remoção
Detergente - ABS (mg/L)	2,0 mg/L
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	20 mg/L
Fósforo total (mg/L)	4,0 mg/L
Óleos e graxas totais (mg/L)	Óleos minerais até 20 mg/L e óleos vegetais e gorduras animais até 30 mg/L

Fonte: CONAMA, 2018.

Os parâmetros mostrados na tabela 1 são exigidos para o efluente bruto e tratado, mas somente o efluente tratado deve atender os limites acima. Como na empresa X a água é reutilizada no processo produtivo é interessante apresentar-se dentro dos limites apresentados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) na NBR 13.969 de 1997 que classifica a água conforme sua finalidade de reúso.

Na empresa X o colaborador pode ter contado direto com a água de reúso, então segundo a ABNT (1997, p.22) a água fica classificada como:

> Classe 1: Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes: turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 200 NMP/100 mL; sólidos dissolvidos totais inferior a 200 mg/L; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L.

Reutilizar a água se torna interessante, devido à empresa trabalhar com reciclagem, porém a legislação vigente não exige que os padrões sejam respeitados. Toda via quando se encontram fora dos limites acertados á agua tratada pode ocasionar sérios problemas ao maquinário, como a deterioração do mesmo.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

3.1 A PESQUISA METODOLÓGICA

A pesquisa ou investigação pode ser entendida como um processo sistemático de construção do conhecimento ou simplesmente colaborar com o aperfeiçoamento de algo já existente. Em âmbito de pesquisa científica, a mesma apresenta-se como instrumento teórico-metodológico para construir conhecimento em determinada área. Dessa forma, a pesquisa pode ser dividia em 4 tipos, sendo eles a pesquisa teórica, metodológica, prática e empírica. A pesquisa metodológica, a qual é voltada para a construção ou reconstrução de instrumentos e modelos científicos, com o passar dos anos este tipo de pesquisa passou a ser de caráter estratégico, devido corresponder a uma das consistências mais profundas da ciência.

> A pesquisa metodológica representa a garantia de estar em dia com o ímpeto inovador da ciência, definida como processo incessante inovador. Tudo o que a ciência apresenta tem como primeira exigência ser questionado, porque nasceu do questionamento e, por pura coerência científica, deve continuar servindo ao questionamento. (DEMO, 2012, p. 39).

Entretanto, as indagações constantes e a análise das variáveis foram de fato responsáveis para a definição dos resultados alcançados.

3.2 TIPO DE PESQUISA

Para a concretização deste trabalho a investigação foi realizada sob método de abordagem quantitativa e método de procedimento experimental. Foram elaboradas as hipóteses como forma de pesquisa descritiva, envolvendo a manipulação de variáveis.

Segundo Kerlinger (2003, p. 127), “a força básica da pesquisa experimental está no controle relativamente alto da situação experimental e consequentemente das possíveis variáveis independentes que possam afetar as variáveis dependentes. Isto significa que as

relações podem ser estudadas isoladas da cacofonia do mundo exterior; as relações “puras” podem ser estudadas”.

3.3 POPULAÇÃO E AMOSTRA

Para este presente trabalho foi definido como população todas as indústrias que trabalham com sistema de reciclagem de PET e que reutilizam a água em seus processos produtivos do Estado de Santa Catarina. Como amostra, definiu-se indústria de reciclagem do sul do estado (empresa X) para a aplicação do estudo e a busca da solução do problema em questão.

3.4 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

Primeiramente foram realizadas algumas observações no processo de tratamento que nos permitiram fazer um planejamento para decidir qual seria a melhor forma a fim de buscar a remoção ou diminuição da concentração de surfactantes residuais do efluente. Os indícios de irregularidade na qualidade do efluente é notório devido à presença de espumas em várias etapas do processo de tratamento. Assim, foram estabelecidos alguns pontos de coleta para posteriores análises e averiguação da medida mais adequada a ser realizada.

Tabela 2: Pontos de coleta e suas localizações.

Ponto de coleta	**Localização**
Ponto 1 (P01)	Entrada tanque equalização
Ponto 2 (P02)	Lagoa de aeração
Ponto 3 (P03)	Saída tratamento físico-químico

Fonte: da autora e empresa X, 2018.

As coletas foram realizadas pela a autora deste trabalho e coletadas em frascos fornecidos pelo Laboratório de Análises Química do Centro Tecnológico Unisul (CENTEC), local onde foram realizadas as análises, bem como seus respectivos laudos.

O método para determinar as concentrações de surfactantes aniônicos em água e efluentes é usualmente utilizado o método espectrofotométrico com azul de metileno.

O azul de metileno é um pigmento catiônico, entretanto, se um surfactante aniônico estiver presente na água, seu ânion associa-se com o cátion do azul de metileno, formando um par iônico que apresenta menor solubilidade em água e maior solubilidade em solventes orgânicos do que seus componentes separados. Por essa razão, ele pode ser extraído como o solvente e sua quantidade pode ser facilmente estimada em virtude de sua coloração azul. A intensidade da cor então torna-se uma medida da quantidade de surfactante aniônico no sistema. É medida em espectrofotômetro a 652 nm: uma molécula para cada molécula de azul de metileno (SWISHER, 1987 apud GARDINDO; TEIXEIRA, 2010, p. 43).

4 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para início dos trabalhos foi solicitado à empresa X as análises físico-químicas de controle de remoção de poluentes da ETE. Neste primeiro momento, foram apenas observadas as condições de trabalho da ETE, bem como o nível de eficiência no tratamento. A tabela abaixo mostra os resultados apresentados pela empresa X ao órgão ambiental municipal do último relatório enviado.

Tabela 3: Resultado das análises realizado em 28/02/2018.

Parâmetros	P01	P02	P03	% Remoção
pH	7,62	7,58	7,39	-
Materiais sedimentáveis (ml/L/h)	6,1	3,0	0,1	98,36
DBO_5 (mg/L)	170,0	48,0	5,0	97,06
DQO (mg/L)	2.440,0	1.338,0	824,0	-
Detergente - ABS (mg/L)	12,32	11,77	6,87	44,24
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	47,9	33,7	14,4	69,94
Fósforo total (mg/L)	0,33	0,06	N.D.	100
Óleos e graxas totais (mg/L)	129,6	26,0	16,3	87,42

Fonte: empresa X, 2018.

De acordo com o laudo das análises realizadas, a remoção de carga orgânica em termos de DBO_5 está bastante satisfatória, tendo um valor aproximado de 97% de remoção. Os demais parâmetros também se encontram com valores satisfatórios, exceto o parâmetro de detergente que está bastante acima do limite máximo permitido pela legislação (2,0 mg/L).

Analisando a tabela 4 é possível averiguar uma grande variação de surfactantes no efluente em todos os pontos durante o período de funcionamento da ETE até o momento. O ponto mais crítico foi na última análise, onde teve-se a concentração mais alta, próximo de 33 mg/L em comparação as demais análises. Isso mostra a variação do parâmetro detergente presente no material que entra no processo produtivo, sendo que esta variação depende da qualidade do material, do estado de limpeza do mesmo e também de onde ele vem (associação de catadores, centro de triagens, etc.), de certa forma isso implica diretamente na dificuldade de manter os resultados sempre dentro do limite permitido.

Tabela 4: Histórico das análises de surfactantes.

Data	P01	P02	P03
21/03/17	2,1 mg/L	-	1,5 mg/L
26/07/17	10,4 mg/L	-	5,2 mg/L
17/11/17	25,8 mg/L	-	11,86 mg/L
28/02/18	12,32 mg/L	11,77 mg/L	6,87 mg/L
27/04/18	10,9 mg/L	9,6 mg/L	6,7 mg/L
09/05/18	32,6 mg/L	32,1 mg/L	15 mg/L

Fonte: da autora e Empresa X, 2018.

Neste caso, considerou-se que o ocorrido (09/05) foi uma eventualidade no processo, porém é de extrema importância ressaltar que a Empresa X trabalha em circuito fechado, ou seja, o efluente tratado é reutilizado no processo industrial. Visto que o parâmetro detergente está com percentual de remoção baixo e também em desconformidade com a legislação foi dado início a um processo investigativo à respeito do que poderia estar influenciando neste parâmetro.

4.1 INVESTIGAÇÃO DOS PONTOS INFLUENTES E ESCOLHA DA METODOLOGIA PARA POSSÍVEL REMOÇÃO DOS SURFACTANTES

A metodologia selecionada para proporcionar a remoção do parâmetro em questão foi por meio da investigação em determinados pontos.

- O efluente em questão não possui conformidade padrão, pois suas características alteram conforme o processo produtivo.
- A estação de tratamento de efluentes não possui sistema preliminar adequado para retirada de materiais suspensos, assim tendo muito acumulo de material no tanque de equalização;
- Na etapa do tratamento biológico (lagoa), foi identificado problema na aeração do efluente. Pois conforme projeto da mesma é necessário maior aeração do que acontece no presente momento, o qual acaba oxigenando e homogeneizando apenas uma parte da lagoa;

- Presença de resíduos flutuantes na lagoa por falta de um sistema preliminar adequado. Deste modo, é necessário que os sólidos em suspensão sejam removidos de forma a evitar que os equipamentos hidráulicos sejam danificados;
- Presença de espumas na lagoa e no sistema de filtração.

4.2 PROPOSIÇÃO DA SOLUÇÃO DOS PROBLEMAS

A fim de evitar a passagem dos materiais em suspensão no efluente para as demais etapas do processo é necessária a obtenção de uma peneira autolimpante para retirada deste material, evitando assim que este percorra para o tratamento biológico.

Figura 12: Modelo de uma peneira estática autolimpante.

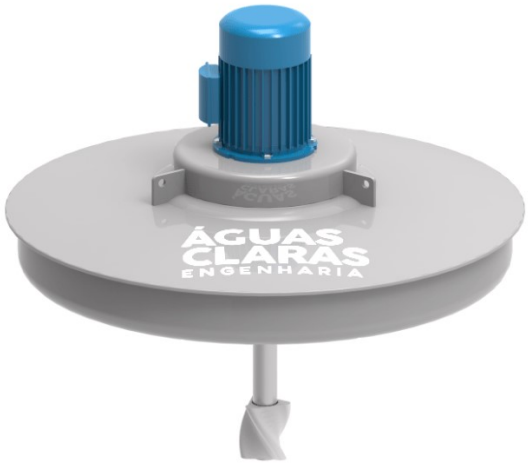
Fonte: Águas Claras Engenharia, 2018.

Enquanto isso, os sólidos que se encontram presente na lagoa podem ser retirados manualmente com peneira simples para que estes não danifiquem os equipamentos hidráulicos, bem como outras etapas do processo de tratamento.

De acordo com o projeto da ETE da empresa X o sistema biológico de tratamento é composto por lagoa de aeração completa e a mesma possui volume aproximado de 1500 m³ com comprimento de 25 m, largura de 28 m e altura de 2,5 m, atualmente a lagoa consta 2 aeradores de 5 CV cada, porém conforme analisado pela autora deste e orientadores da mesma é necessário a adição de no mínimo 1 aerador para que realmente tenha mistura completa do

efluente, visto que conforme o projeto deve-se adotar 3 aeradores de 5 CV cada para que se tenha requisito de oxigênio mínimo para desenvolvimento eficiente do trabalho microbiológico.

Figura 13: Aerador de Fluxo Descendente



Fonte: Águas Claras Engenharia, 2018.

Com a adição do aerador espera-se que a lagoa apresente efluente mais homogêneo e de fato mistura completa, evitando assim a decantação de lodo ao fundo da lagoa e consequentemente evitando assim a formação de compostos indesejáveis, além de melhor qualidade do efluente para a posterior etapa. Por meio desta, ainda é possível com o aumento de oxigenação melhorar a eficiência de remoção de surfactantes no processo biológico, já que comparando os pontos P01 e P02 a remoção de surfactantes é quase nula.

A empresa X trabalha com a reciclagem mecânica de PET e o mesmo vem de diversos lugares e com diversos tipos de contaminantes e sujidades, logo o efluente a ser tratado é composto por resíduos de produtos de limpeza, cosméticos em geral, resíduos de óleos e gorduras, tinta, resíduos de areia, cola, entre outras sujidades, além da água utilizada. Portanto, existe uma carga de surfactantes presente neste efluente oriundo dos produtos de limpeza, cosméticos, etc., que não se consegue quantificar, além dos produtos utilizados (detergente e solupan) para promoverem a limpeza do PET. Deste modo, conforme o trabalho de Colpani (2012) e de Buss et al (2015) apresentaram bons resultados por meio do processo de adsorção para remoção de surfactantes, assim, compreendeu-se que o método mais adequado e eficiente para a remoção de surfactantes residuais é o processo de adsorção.

Como já mencionado os surfactantes que estão presentes na maioria dos produtos comercializados são o LAS e LESS. No entanto, os trabalhos acima citados mostraram bons resultados sobre a remoção, principalmente, do LAS por meio da adsorção.

Atualmente o uso do carvão ativado está cada vez maior em tratamento de efluentes, devido suas características adsortivas e sua facilidade de compor camadas com outros materiais em filtros.

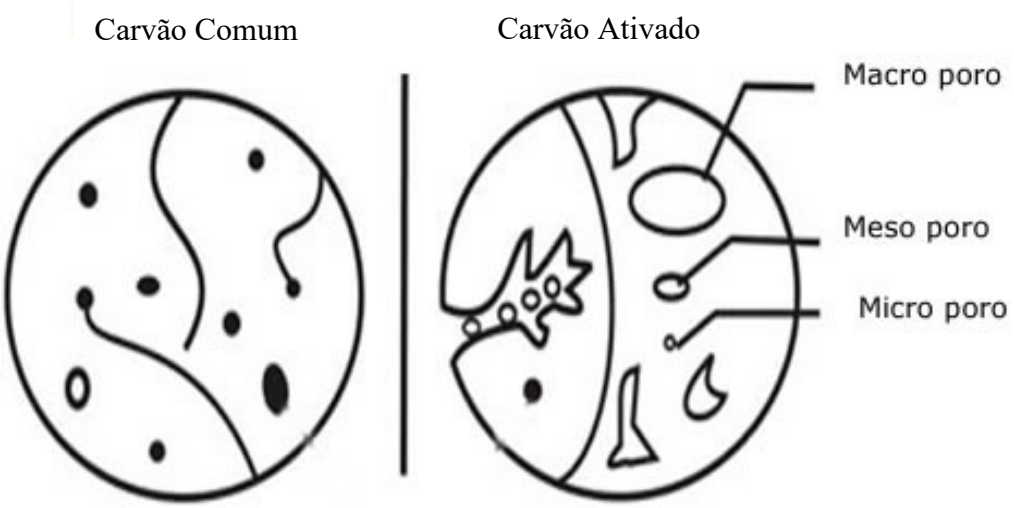
O carvão antracitoso ou antracito é um carvão de origem mineral e é amplamente utilizado em filtros de tratamento de água e efluentes, por ter grande quantidade de carbono e pouquíssimas impurezas em sua composição. Por possuir propriedade física, o antracito serve como uma peneira, onde todas as impurezas ficam retidas (YETE, 2018).

No entanto, o carvão ativado é um material carbonáceo poroso e fabricado a partir de materiais orgânicos por processo de pirólise e ativação. O maior uso do carvão ativado é no tratamento de água potável ou de reúso. O carvão ativo é um ótimo produto para capturar impurezas que tenham em sua base o carbono, naftalenos, dodecilbenzeno, sulfonato, benzeno e fenol, entre outros, devido sua estrutura porosa que proporciona uma área superficial interna de, normalmente, 600 a 1.200 m^2/g. Esse tipo de carvão pode ser encontrado em pó ou granulado, dependendo qual for a finalidade.

A porosidade dos carvões ativados é um dos aspectos mais importantes para a avaliação de seu desempenho. As diferenças nas características de adsorção estão relacionadas com a estrutura dos poros do material, que podem variar de tamanho, e são classificados como microporos, mesoporos ou macroporos. Os microporos (<2 nm) compõem a maior parte superficial e proporcionam alta capacidade de adsorção para moléculas pequenas. Os mesoporos (2 a 50nm) proporcionam altas taxas de adsorção para moléculas grandes como de corantes. Os macroporos (>50nm) são considerados com menor taxa de adsorção por, normalmente, servir apenas como meio de passagem para as moléculas (MEIO FILTRANTE, 2018).

Conforme a figura baixo, podemos visualizar as diferenças entres os tamanhos dos poros presente na superfície do carvão ativado e do carvão comum. Neste caso, como se trata apenas em mostrar as diferenças entre poros dos carvões pode citar o carvão comum como antracito.

Figura 14: Corte esquemático do carvão comum e ativado.



Fonte: Mundo Educação, 2018.

Deste modo, analisaram-se as condições do atual sistema de filtração e considerou-se a possibilidade de adicionar o carvão ativado juntamente com carvão antracitoso, o qual já é usado no processo, ou apenas trabalhar com o carvão ativo.

O carvão ativado selecionado para realizar os testes foi o 12X24 (nomenclatura usada para carvão ativado) que possui granulometria em torno de 1,05 mm. Escolheu-se esta granulometria por ser bastante próxima ao do carvão antracitoso (0,9 mm).

Dessa forma, adicionando uma camada de carvão ativado junto com o carvão antracito e brita (material suporte) ou utilizar apenas o carvão ativo com a brita no sistema de filtração da ETE pode melhorar consideravelmente a eficiência de remoção de detergentes com o processo de filtração. Para isso foi realizado alguns testes com proporções diferentes para avaliar qual apresentaria melhores resultados.

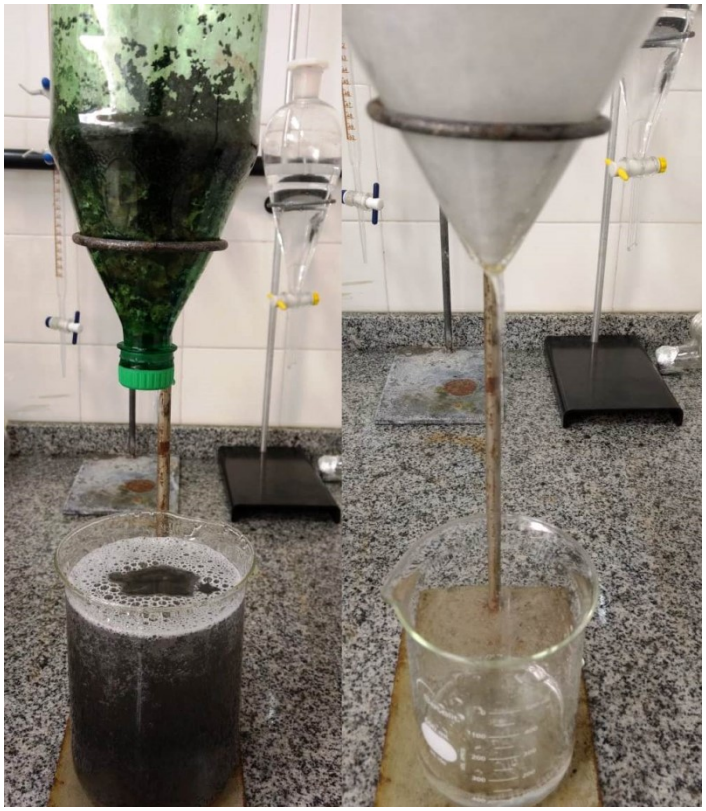
O atual sistema de filtração da empresa X é composto por um filtro de filtragem rápida de fluxo descendente, ou seja, a água passa da camada mais fina para a camada de material grosseiro. O filtro trabalha com taxa de filtração de 180 m^3/m^2xdia, possui diâmetro de 2,25 m, altura de 1,60 m e área de filtração de aproximadamente 3,97 m^2. A partir desses dados fizeram-se alguns cálculos para simular em pequena escala o processo de filtração para fazer as alterações propostas.

Sabendo que a área de filtração é de 3,97 m² e conforme no memorial de cálculo (tópico 6 deste trabalho) o volume ocupado pelo carvão é de 0,667 m³, dividindo o volume pela área temos em torno de 17 cm, o qual representa a altura de carvão no filtro.

No entanto, para simular o sistema de filtração atual em uma garrafa PET, utilizou-se a camada suporte de brita, a camada de antracito e carvão ativado e fez-se algumas variações na quantidade usada de cada carvão. A ABNT NBR 12216/92 recomenda uma camada filtrante de 45cm para sistemas ideal de filtragem rápida com seixo e areia, assim, como são utilizados cerca de 600kg de antracito, o que corresponde a uma altura de 17cm no filtro, entende-se que deve-se seguir o mesmo propósito para sistemas com brita e carvão.

Todos os testes da simulação foram feitos manualmente no laboratório do Centec como mostra a seguinte figura.

Figura 15: Ilustração do processo de filtragem.



Fonte: da autora, 2018.

Os testes basicamente foram medir 1,082 L do efluente previamente tratado (sem passar pelo filtro) em proveta e verter dentro do tempo de 1 minuto no sistema composto de brita e as variações das camadas de carvão antracitoso e carvão ativado. O filtrado foi coletado em béquer e filtrado novamente para retirada do pó do carvão ativado, pois por nunca ter sido usado é normal essa liberação do pó nas primeiras vezes. Porém, no processo

real da ETE o fundo falso é composto por canos com várias secções o que impede a passagem desse pó para os reservatórios.

Nas tabelas 5 e 6 estão demonstrados os testes realizados, foram feitos 5 testes usando carvão antracitoso e carvão ativado misturados mais a camada suporte, porém como mostra a tabela 7 não apresentou resultados satisfatório, sendo assim optou-se por realizar mais dois testes usando somente o carvão ativado e a camada suporte (testes 06 e 07).

Tabela 5: Quantidades usadas de carvão antracitoso nos testes.

	Filtro real			**Filtro simulação**		
Testes	Antracito	Volume ocupado	Altura	Altura	Volume na garrafa pet	Quantidade Antracito
T01	600 Kg	0,667 m³	17 cm	1 cm	$8{,}6590 \times 10^{-5}$ m³	80 g
T02	500 Kg	0,555 m³	14 cm	0,7 cm	$6{,}0613 \times 10^{-5}$ m³	55 g
T03	400 Kg	0,444 m³	12 cm	0,56 cm	$4{,}8490 \times 10^{-5}$ m³	44 g
T04	350 Kg	0,389 m³	9,8 cm	0,46 cm	$3{,}9832 \times 10^{-5}$ m³	36 g
T05	200 Kg	0,222 m³	5,6 cm	0,26 cm	$2{,}2513 \times 10^{-5}$ m³	20,3 g

Fonte: da autora, 2018.

Tabela 6: Quantidades usadas de carvão ativado nos testes.

	Filtro real			**Filtro simulação**		
Testes	Ativado	Volume ocupado	Altura	Altura	Volume na garrafa pet	Quantidade carvão ativo
T01	100 Kg	0,2 m³	5 cm	0,23 cm	$1{,}9916 \times 10^{-5}$ m³	10 g
T02	200 Kg	0,4 m³	11 cm	0,52 cm	$4{,}5027 \times 10^{-5}$ m³	23 g
T03	300 Kg	0,6 m³	15 cm	0,7 cm	$6{,}0613 \times 10^{-5}$ m³	31 g
T04	350 Kg	0,7 m³	17,7 cm	0,83 cm	$7{,}1870 \times 10^{-5}$ m³	36 g
T05	500 Kg	1 m³	25,2 cm	1,2 cm	$1{,}0391 \times 10^{-4}$ m³	52 g
T06	700 Kg	1,4 m³	35,3 cm	1,7 cm	$1{,}4720 \times 10^{-4}$ m³	74 g
T07	800 Kg	1,6 m³	40,3 cm	1,88 cm	$1{,}6279 \times 10^{-4}$ m³	82 g

Fonte: da autora, 2018.

Tabela 7: Resultados dos testes.

Testes	Carvão Antracitoso	Carvão Ativado	Total	Altura Carvão	Resultado (mg/L)
T01	600 Kg	100 Kg	700 Kg	22 cm	7,5
T02	500 Kg	200 Kg	700 Kg	25 cm	6,6

T03	400 Kg	300 Kg	700 Kg	27 cm	6,4
T04	350 Kg	350 Kg	700 Kg	27,5 cm	5,8
T05	200 Kg	500 Kg	700 Kg	30,8 cm	5,2
T06	-	700 Kg	700 Kg	35,3 cm	3,3
T07	-	800 Kg	800 Kg	40,3 cm	2,7

Fonte: da autora, 2018.

Na tabela 7 encontram-se todos os resultados dos testes realizados, os cinco primeiros testes onde usaram-se antracito e ativado não apresentaram bons resultados como citado anteriormente, pois ainda encontram-se muito acima do limite máximo permito, Assim, optou-se por testar apenas com o carvão ativado, realizando-se mais dois testes (06 e 07). Destes, o que melhor mostrou eficiência de remoção dos surfactantes foi o teste 07, onde para a simulação usou-se 82 g do carvão ativado, o qual representa 800 Kg no filtro real da ETE, bem como a altura de carvão fica próxima ao do recomendado.

De acordo com o esperado a quantidade de surfactantes foi diminuindo conforme aumentava-se a quantidade de carvão ativado no sistema de filtração. É evidente que mesmo utilizando no processo somente carvão ativado ainda não foi possível chegar dentro dos valores permitidos. Como já mencionado, sabe-se que é difícil chegar a remoção total de surfactantes do efluente, sendo assim, o resultado obtido pode ser considerado um bom percentual de remoção, pois a entrada estava em 32,6 mg/L e saída em torno de 15 mg/L e conseguiu-se chegar em 2,7 mg/L, tendo em torno de 92% de remoção. Porém, a saída ainda permaneceu acima do limite máximo permitido pela legislação o que significa que em nenhuma situação o efluente poderá ser descartado no corpo receptor.

Vale ressaltar que, tal quantidade de carvão é trocada normalmente a cada 1 ano de uso no sistema de filtração conforme indica o projeto, pois, principalmente o carvão ativado possui maior valor agregado do que o carvão antracitoso.

O carvão pode ser usado por longos tempos devido o método de adsorção ser físico o que faz com as moléculas fiquem aderidas na superfície do material poroso por meio de forças fracas e consegue se tornar reversível diante a presença dos campos de força da superfície, além do processo de regeneração realizado por meio da retrolavagem, processo este que consiste em inverter o fluxo de água de modo que ele entre no fundo do filtro e enxague o leito e, em seguida, saia pela parte superior do tanque de filtração neste processo é removido impurezas e sedimentos presentes no leito.

4.3 SUGESTÕES

O processo de adsorção com carvão ativado é uma técnica bastante usual, mas ainda existem outras opções que podem ser testadas, a fim de reduzir ainda mais a quantidade de surfactantes do efluente, como o teste do efluente com pré-oxidação e adsorção para reduzir os surfactantes, visto que a pré-oxidação também é umas das tecnologias indicadas para remoção destes.

Construir um sistema preliminar de tratamento adequado para que não comprometa as demais etapas do processo e mantenha uma eficiência adequada de tratamento. Manter sempre em dia a limpeza de todos os tanques e reservatórios para evitar o acúmulo de indesejáveis.

Adquirir kits e equipamentos de análises para maior controle e garantia da qualidade do efluente tratado. Instalar outro sistema de filtração igual ao existente para que se tenham maiores períodos de retrolavagem para assim aumentar ainda mais a vida útil do mesmo, bem como em casos de problemas relacionados com o mesmo terem um filtro sobressalente para que não seja necessário parar o tratamento até que seja solucionado tal problema.

5 CONCLUSÃO

Ao avaliar as etapas do tratamento viu-se a necessidade de fazer alterações, sendo assim, foi proposta a instalação de uma peneira autolimpante para a remoção de sólidos em suspensão, bem como a adição de um aerador para que tal proporcione maior homogeneização da lagoa.

Por meio da análise realizada em todo o processo observou-se que a quantidade de surfactantes presente na entrada do efluente varia muito conforme a qualidade do material, como também a carga de detergentes usada nos tanques acabam influenciando tal remoção.

Conforme os sete testes realizados usando carvão antracitoso e carvão ativado foi possível remover em torno de 92% os surfactantes residuais, visto que a entrada estava próximo aos 33 mg/L e com a adição de carvão ativado chegou-se a 2,7 mg/L, neste teste usou-se 82 g de carvão ativado que no filtro real usar-se-ia 800 Kg do mesmo. Apesar de o resultado ser bastante satisfatório devido seu alto valor percentual de remoção, ainda encontra-se acima do limite máximo permitido pela legislação vigente. Isto acarreta que, em nenhuma situação o efluente poderá ser descartado no corpo receptor. Porém, ressalto que na empresa X todo circuito é fechado, pois todo efluente gerado é tratado e reutilizado no processo.

Estar dentro das normalidades, mesmo trabalhando com água de reúso é uma garantia que o órgão ambiental tem caso a empresa descarte se efluente no corpo receptor, por isso é exigido os laudos comprobatório do efluente. Sendo assim, conclui-se que de forma geral o trabalho apresentou bons resultados na remoção de surfactantes residuais e, que para atingir o limite da legislação podem ser refeitos alguns testes, períodos maiores de amostragem e variações de parâmetros – como, por exemplo, tempo de detenção, bem como realizar ensaios de outras alternativas possíveis já citadas anteriormente no decorrer deste trabalho.

6 MEMORIAL DE CÁLCULO

Para simulação do processo foi utilizado uma garrafa PET de 2L, a mesma possui 5,25 cm de raio e 10,50 cm de diâmetro. Inicialmente transformaram-se as unidades da taxa de filtração:

$$\left(\frac{180m^3}{m^2}x\ dia\right) \rightarrow \left(\frac{7{,}5m^3}{m^2}x\ h\right) \rightarrow \left(\frac{0{,}125m^3}{m^2}x\ min\right) \rightarrow \left(\boldsymbol{\frac{125L}{m^2}x\ min}\right)$$

Depois de transformada as devidas unidades, calculou-se a área da garrafa PET:

$$A = \pi r^2 \rightarrow A = \pi \times 0{,}0525m^2 \rightarrow \boldsymbol{A = 8{,}6590 \times 10^{-3}m^2}$$

Então para saber o quanto de água deverá passar no filtro simulado foi necessário fazer regra de 3 para descobrir a taxa de filtração na garrafa.

$$125L/min \quad \rightarrow \quad m^2$$
$$X \ \rightarrow \ 8{,}6590 \times 10^{-3}m^2$$
$$\boldsymbol{X = 1{,}082L/min}$$

Portanto, deve-se filtrar 1,082 L em 1 minuto na simulação na garrafa PET. A quantidade de carvão antracito foi calculada a partir da massa especifica do mesmo (900 Kg/m³), sendo que, atualmente, no filtro são usados 600 kg de antracito.

Teste 01: simulou-se para usar 600 kg de antracito e 100 kg de ativado

- Carvão antracitoso:

$$900\ kg \ \rightarrow 1m^3$$
$$600\ kg \ \rightarrow X$$
$$\boldsymbol{X = 0{,}667\ m^3}$$

Com o volume de 0,667 m³ dividindo-se pela área de 3,97 m² tem-se 17 cm de altura de carvão no filtro. A partir desses dados foram realizados cálculos com quantidades diferentes de carvão ativado e antracitoso. Como calculado acima 600 Kg corresponde a 17 cm no filtro de 2,25 m de diâmetro.

$$17\ cm \rightarrow 2{,}25\ m$$
$$X\ \rightarrow\ 0{,}105\ m$$
$$\boldsymbol{X = 1\ cm}$$

Com 1 cm de altura de carvão passando para metro (0,01m), calcula-se o volume a partir dessa altura e em seguida consegue-se calcular a massa de carvão para usar na simulação.

$$V = \pi r^2 h$$
$$V = \pi \times 0{,}0525^2 \times 0{,}01$$
$$\boldsymbol{V = 8{,}6590 \times 10^{-5} m^3}$$

$$900\ kg\ \rightarrow\ 1m^3$$
$$X\ \rightarrow\ 8{,}6590 \times 10^{-5} m^3$$
$$\boldsymbol{X = 80}$$

- Carvão Ativado: A massa específica utilizada do carvão ativado foi de 500 Kg/m³.

$$500\ kg\ \rightarrow 1m^3$$
$$100\ kg\ \rightarrow\ X$$
$$\boldsymbol{X = 0{,}2\ m^3}$$

Com o volume de 0,667 m³ dividindo-se pela área de 3,97 m² tem-se 5 cm de altura de carvão no filtro.

$$5\ cm \rightarrow 2{,}25\ m$$
$$X\ \rightarrow\ 0{,}105\ m$$
$$\boldsymbol{X = 0{,}23\ cm}$$

Com 0,23 cm de altura de carvão passando para metro (0,0023m), calcula-se o volume a partir dessa altura e em seguida consegue-se calcular a massa de carvão para usar na simulação.

$$V = \pi r^2 h$$
$$V = \pi \times 0{,}0525^2 \times 0{,}0023$$
$$\boldsymbol{V = 1{,}9916 \times 10^{-5} m^3}$$

$$500\ kg\ \rightarrow\ 1m^3$$
$$X\ \rightarrow\ 1{,}9916 \times 10^{-5} m^3$$
$$\boldsymbol{X = 10\ g}$$

No teste 01 a simulação foi realizada com 80 g de antracito e 10 g de ativado.

Teste 02: simulou-se para usar 500 kg de antracito e 200 kg de ativado

- Carvão antracitoso:

$$900\ kg\ \rightarrow 1m^3$$
$$500\ kg\ \rightarrow\ X$$
$$\boldsymbol{X = 0,555\ m^3}$$

Com o volume de 0,555 m³ dividindo-se pela área de 3,97 m² tem-se 14 cm de altura de carvão no filtro.

$$14\ cm \rightarrow 2,25\ m$$
$$X\ \rightarrow\ 0,105\ m$$
$$\boldsymbol{X = 0,7\ cm}$$

Com 0,7 cm de altura de carvão passando para metro (0,007m), calcula-se o volume a partir dessa altura e em seguida consegue-se calcular a massa de carvão para usar na simulação.

$$V = \pi r^2 h$$
$$V = \pi \times 0,0525^2 \times 0,007$$
$$\boldsymbol{V = 6,0613 \times 10^{-5} m^3}$$

$$900\ kg\ \rightarrow\ 1m^3$$
$$X\ \rightarrow\ 6,0613 \times 10^{-5} m^3$$
$$\boldsymbol{X = 55\ g}$$

- Carvão Ativado:

$$500\ kg\ \rightarrow 1m^3$$
$$200\ kg\ \rightarrow\ X$$
$$\boldsymbol{X = 0,4\ m^3}$$

Com o volume de 0,4 m³ dividindo-se pela área de 3,97 m² tem-se 11 cm de altura de carvão no filtro.

$$11\ cm \rightarrow 2,25\ m$$
$$X\ \rightarrow\ 0,105\ m$$
$$\boldsymbol{X = 0,52\ cm}$$

Com 0,52 cm de altura de carvão passando para metro (0,0052m), calcula-se o volume a partir dessa altura e em seguida consegue-se calcular a massa de carvão para usar na simulação.

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = \pi \times 0{,}0525^2 \times 0{,}0052$$

$$\boldsymbol{V = 4{,}5027 \times 10^{-5} m^3}$$

$$500\ kg \ \rightarrow \ 1m^3$$

$$X \ \rightarrow \ 4{,}5027 \times 10^{-5} m^3$$

$$\boldsymbol{X = 23\ g}$$

No teste 02 a simulação foi realizada com 55 g de antracito e 23 g de ativado.

Teste 03: simulou-se para usar 400 kg de antracito e 300 kg de ativado

- Carvão antracitoso:

$$900\ kg \ \rightarrow 1m^3$$

$$400\ kg \ \rightarrow X$$

$$\boldsymbol{X = 0{,}444\ m^3}$$

Com o volume de 0,444 m³ dividindo-se pela área de 3,97 m² tem-se 12 cm de altura de carvão no filtro.

$$12\ cm \rightarrow 2{,}25\ m$$

$$X \ \rightarrow \ 0{,}105\ m$$

$$\boldsymbol{X = 0{,}56\ cm}$$

Com 0,56 cm de altura de carvão passando para metro (0,0056m), calcula-se o volume a partir dessa altura e em seguida consegue-se calcular a massa de carvão para usar na simulação.

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = \pi \times 0{,}0525^2 \times 0{,}0056$$

$$\boldsymbol{V = 4{,}8490 \times 10^{-5} m^3}$$

$$900\ kg \ \rightarrow \ 1m^3$$

$$X \ \rightarrow \ 4{,}8490 \times 10^{-5} m^3$$

$$\boldsymbol{X = 44\ g}$$

- Carvão Ativado:

$$500\ kg\ \rightarrow 1m^3$$
$$300\ kg\ \rightarrow\ X$$
$$\boldsymbol{X = 0,6\ m^3}$$

Com o volume de 0,6 m³ dividindo-se pela área de 3,97 m² tem-se 15 cm de altura de carvão no filtro.

$$15\ cm \rightarrow 2{,}25\ m$$
$$X\ \rightarrow\ 0{,}105\ m$$
$$\boldsymbol{X = 0,7\ cm}$$

Com 0,7 cm de altura de carvão passando para metro (0,007m), calcula-se o volume a partir dessa altura e em seguida consegue-se calcular a massa de carvão para usar na simulação.

$$V = \pi r^2 h$$
$$V = \pi \times 0{,}0525^2 \times 0{,}007$$
$$\boldsymbol{V = 6,0613 \times 10^{-5} m^3}$$

$$500\ kg\ \rightarrow\ 1m^3$$
$$X\ \rightarrow\ 6{,}0613 \times 10^{-5} m^3$$
$$\boldsymbol{X = 31\ g}$$

No teste 03 a simulação foi realizada com 44 g de antracito e 31 g de ativado.

Teste 04: simulou-se para usar 350 kg de antracito e 350 kg de ativado

- Carvão antracitoso:

$$900\ kg\ \rightarrow 1m^3$$
$$350\ kg\ \rightarrow\ X$$
$$\boldsymbol{X = 0,389\ m^3}$$

Com o volume de 0,389 m³ dividindo-se pela área de 3,97 m² tem-se 9,8 cm de altura de carvão no filtro.

$$9{,}8\ cm \rightarrow 2{,}25\ m$$
$$X\ \rightarrow\ 0{,}105\ m$$
$$\boldsymbol{X = 0,46\ cm}$$

Com 0,46 cm de altura de carvão passando para metro (0,0046m), calcula-se o volume a partir dessa altura e em seguida consegue-se calcular a massa de carvão para usar na simulação.

$$V = \pi r^2 h$$
$$V = \pi \times 0{,}0525^2 \times 0{,}0046$$
$$\boldsymbol{V = 3{,}9832 \times 10^{-5} m^3}$$

$$900\ kg \ \rightarrow \ 1m^3$$
$$X \ \rightarrow \ 3{,}9832 \times 10^{-5} m^3$$
$$\boldsymbol{X = 36\ g}$$

- Carvão Ativado:

$$500\ kg \ \rightarrow 1m^3$$
$$350\ kg \ \rightarrow X$$
$$\boldsymbol{X = 0{,}7\ m^3}$$

Com o volume de 0,7 m³ dividindo-se pela área de 3,97 m² tem-se 17,7 cm de altura de carvão no filtro.

$$17{,}7\ cm \rightarrow 2{,}25\ m$$
$$X \ \rightarrow \ 0{,}105\ m$$
$$\boldsymbol{X = 0{,}83\ cm}$$

Com 0,83 cm de altura de carvão passando para metro (0,0083m), calcula-se o volume a partir dessa altura e em seguida consegue-se calcular a massa de carvão para usar na simulação.

$$V = \pi r^2 h$$
$$V = \pi \times 0{,}0525^2 \times 0{,}0083$$
$$\boldsymbol{V = 7{,}1870 \times 10^{-5} m^3}$$

$$500\ kg \ \rightarrow \ 1m^3$$
$$X \ \rightarrow \ 7{,}1870 \times 10^{-5} m^3$$
$$\boldsymbol{X = 36\ g}$$

No teste 04 a simulação foi realizada com 36 g de antracito e 36 g de ativado.

Teste 05: simulou-se para usar 200 kg de antracito e 500 kg de ativado

- Carvão antracitoso:

$$900\ kg \ \rightarrow 1m^3$$
$$200\ kg \ \rightarrow X$$

$$\boldsymbol{X = 0,222\ m^3}$$

Com o volume de 0,222 m³ dividindo-se pela área de 3,97 m² tem-se 5,6 cm de altura de carvão no filtro.

$$5{,}6\ cm \rightarrow 2{,}25\ m$$
$$X \ \rightarrow \ 0{,}105\ m$$
$$\boldsymbol{X = 0,26\ cm}$$

Com 0,26 cm de altura de carvão passando para metro (0,0026m), calcula-se o volume a partir dessa altura e em seguida consegue-se calcular a massa de carvão para usar na simulação.

$$V = \pi r^2 h$$
$$V = \pi \times 0{,}0525^2 \times 0{,}0026$$
$$\boldsymbol{V = 2,2513 \times 10^{-5} m^3}$$

$$900\ kg \ \rightarrow \ 1m^3$$
$$X \ \rightarrow \ 2{,}2513 \times 10^{-5} m^3$$
$$\boldsymbol{X = 20,3\ g}$$

- Carvão Ativado:

$$500\ kg \ \rightarrow 1m^3$$
$$500\ kg \ \rightarrow \ X$$
$$\boldsymbol{X = 1\ m^3}$$

Com o volume de 1 m³ dividindo-se pela área de 3,97 m² tem-se 25,2 cm de altura de carvão no filtro.

$$25{,}2\ cm \rightarrow 2{,}25\ m$$
$$X \ \rightarrow \ 0{,}105\ m$$
$$\boldsymbol{X = 1,2\ cm}$$

Com 1,2 cm de altura de carvão passando para metro (0,012m), calcula-se o volume a partir dessa altura e em seguida consegue-se calcular a massa de carvão para usar na simulação.

$$V = \pi r^2 h$$
$$V = \pi \times 0{,}0525^2 \times 0{,}012$$
$$\boldsymbol{V = 1,0391 \times 10^{-4} m^3}$$

$$500\ kg \ \rightarrow \ 1m^3$$
$$X \ \rightarrow \ 1{,}0391 \times 10^{-4} m^3$$
$$\boldsymbol{X = 52\ g}$$

No teste 05 a simulação foi realizada com 20,3 g de antracito e 52 g de ativado.

Teste 06: simulou-se com 700 Kg de carvão ativado

- Carvão Ativado:

$$500\ kg \ \rightarrow 1m^3$$
$$700\ kg \ \rightarrow X$$
$$\boldsymbol{X = 1{,}4\ m^3}$$

Com o volume de 1,4 m³ dividindo-se pela área de 3,97 m² tem-se 35,3 cm de altura de carvão no filtro.

$$35{,}3\ cm \rightarrow 2{,}25\ m$$
$$X \ \rightarrow \ 0{,}105\ m$$
$$\boldsymbol{X = 1{,}7\ cm}$$

Com 1,7 cm de altura de carvão passando para metro (0,017m), calcula-se o volume a partir dessa altura e em seguida consegue-se calcular a massa de carvão para usar na simulação.

$$V = \pi r^2 h$$
$$V = \pi \times 0{,}0525^2 \times 0{,}017$$
$$\boldsymbol{V = 1{,}4720 \times 10^{-4} m^3}$$

$$500\ kg \ \rightarrow \ 1m^3$$
$$X \ \rightarrow \ 1{,}4720 \times 10^{-4} m^3$$
$$\boldsymbol{X = 74\ g}$$

No teste 06 a simulação foi realizada com 74 g de ativado.

Teste 07: simulou-se com 800 Kg de carvão ativado

- Carvão Ativado:

$$500\ kg \ \rightarrow 1m^3$$
$$800\ kg \ \rightarrow X$$
$$\boldsymbol{X = 1{,}6\ m^3}$$

Com o volume de 1,6 m³ dividindo-se pela área de 3,97 m² tem-se 40,3 cm de altura de carvão no filtro.

$$40{,}3\ cm \rightarrow 2{,}25\ m$$

$$X \ \rightarrow \ 0{,}105\ m$$

$$\boldsymbol{X = 1{,}88\ cm}$$

Com 1,88 cm de altura de carvão passando para metro (0,0188m), calcula-se o volume a partir dessa altura e em seguida consegue-se calcular a massa de carvão para usar na simulação.

$$V = \pi r^2 h$$

$$V = \pi \times 0{,}0525^2 \times 0{,}0188$$

$$\boldsymbol{V = 1{,}6279 \times 10^{-4} m^3}$$

$$500\ kg \ \rightarrow \ 1m^3$$

$$X \ \rightarrow \ 1{,}6279 \times 10^{-4} m^3$$

$$\boldsymbol{X = 82\ g}$$

No teste 06 a simulação foi realizada com 82 g de ativado.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Quantidade das águas**. Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>. Acesso em: 22 mar. 2018.

ÁGUAS CLARAS ENGENHARIA. *Aerador*. Disponível em: <http://aguasclarasengenharia.com.br/aerador/>. Acesso em: 11 jun. 2018.

ÁGUAS CLARAS ENGENHARIA. *Peneira Estática Auto Limpante*. Disponível em: < http://aguasclarasengenharia.com.br/peneira-estatica-auto-limpante/>. Acesso em: 04 jun. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969: Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

BIGARDI, T. A. R. et al. **Destino de surfactantes aniônicos em ete do tipo lagoa aerada seguida de lagoa de decantação.** Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 8. 2003. 45-48 p.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual prático de análise de água**. Brasília, 3. ed. rev. 2009. 144p.

BORGES, A. M. **Utilização do resíduo do processamento de camarão na adsorção de ânions.** Porto Alegre: Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Meio Metalúrgica e de Materiais. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 119 p.

BUSS et al. **Tratamento dos Efluentes de uma Lavanderia Industrial: Avaliação da Capacidade de Diferentes Processos de Tratamento.** Revista de Engenharia Civil IMED, 2015.

COLPANI, G. L. **Preparação e caracterização de adsorventes para a remoção de surfactantes aniônicos em águas residuárias.** Florianópolis: Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina Universidade Federal de Santa Catarina, 2012. 105 p.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 201 Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes.

DALTIN, D. **Tensoativos: química, propriedades e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2011. 43 p.

DEMO, Pedro. **Pesquisa e construção de conhecimento: metodologia científica no caminho de Habermas**. 7. ed. Rio de Janeiro: Tempo brasileiro, 2012. 129 p.

FIESP/CIESP. **Conservação e reúso de água: Manual de Orientações para o Setor Industrial**. São Paulo. Vol. 1. 92 p.

GARDINGO, M. F. **Tratamento de Águas e Efluentes Contendo Surfactantes através do Sistema Peróxido de Hidrogênio / Hipoclorito**. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2010. 79 p.

HERCULIN, J. et al. **Avaliação e comparação da potabilidade de água da Unicamp**. Revista Ciências do Ambiente On-Line, Junho 2014, Volume 10, Número 1. 130 – 134 p.

JESUS, J. de F. **Gestão de processos para redução de surfactantes aniônicos de efluente industrial: estudo de caso.** Florianópolis: Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina Universidade Federal de Santa Catarina, 2016. 55 p.

KERLINGER, Fred Nichols. **Metodologia da pesquisa em ciências sociais: um tratamento conceitual**. 9. ed. Tradução: Helena Mendes Rotundo. São Paulo: EPU, 2003. 378 p.

MEIO FILTRANTE. *Uso eficiente do carvão ativado como meio filtrante em processos industriais.* Disponível em: <http://www.meiofiltrante.com.br/edicoes.asp?id=502&link=ultima&fase=C&retorno=c>. Acesso em: 14 mai. 2018.

MUNDO EDUCAÇÃO. *Filtração por carvão ativado.* Disponível em: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/filtracao-por-carvao-ativado.htm>. Acesso em: 21 mai. 2018.

NITSCHKE, M.; PASTORE, G. M. **Biossurfactantes: propriedades e aplicações**. Química Nova, vol. 25. 2002. 772-776 p.

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 6. ed. Aracaju, SE: J. Andrade, 2012. 315 p.

OLIVEIRA, L. L. **Remoção de alquilbenzeno linear sulfonado (LAS) e caracterização microbiana em reator anaeróbio de leito fluidizado.** São Carlos: Tese de doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2010. 176 p.

PENTEADO. et al. **Alquilbenzeno sulfonato linear: uma abordagem ambiental e analítica.** Química Nova, vol. 29. 2006. 1038-1046 p.

RIOJA, J. C. C. **Uso de Resíduo Siderúrgico na Adsorção e Peroxidação Catalítica de Surfactante Aniônico**. Belo Horizonte: Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, 2009. 91 p.

SEBRAE-RJ/FIRJAN. **Manual de conservação e reúso de água na indústria**. 1. ed. Rio de Janeiro: DIM, 2006. 29 p.

TAE. *O uso de carvão no processo de tratamento de água.* Disponível em: < http://www.revistatae.com.br/4922-noticias>. Acesso em: 14 mai. 2018.

VON SPERLING, M. **Introdução á qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; v.1. 1996. 452 p.

VON SPERLING, M. **Introdução á qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; v.1. 2005. 452 p.

VON SPERLING, M. **Lagoas de Estabilização**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 196 p. v.3. 2017.

YETE. *Carvão Antracito.* Disponível em: <http://www.yete.com.br/carvao-antracito>. Acesso em: 11 mai. 2018.