

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA

CHARLES COSER DE MATOS

**POTENCIALIDADES E DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROCESSO DE
ULTRAFILTRAÇÃO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SARANDI-
DMAE**

Porto Alegre, 2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA

CHARLES COSER DE MATOS

**POTENCIALIDADES E DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROCESSO DE
ULTRAFILTRAÇÃO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SARANDI-
DMAE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado junto à atividade de ensino “PROJETO TECNOLÓGICO” do Curso de Química Industrial, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Química Industrial.

Prof. Dr. João Henrique Zimnoch Dos Santos

Porto Alegre, 2024

CIP - Catalogação na Publicação

Matos, Charles Coser de
POTENCIALIDADES E DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO
PROCESSO DE ULTRAFILTRAÇÃO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTO SARANDI-DMAE / Charles Coser de Matos. --
2024.

55 f.

Orientador: João Henrique Zimnoch Dos Santos.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Química, Curso de Química Industrial, Porto Alegre,
BR-RS, 2024.

1. Ultrafiltração. 2. Membranas. 3. Saneamento. I.
Santos, João Henrique Zimnoch Dos, orient. II.
Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO
CHARLES COSER DE MATOS

**POTENCIALIDADES E DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROCESSO DE
ULTRAFILTRAÇÃO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SARANDI-
DMAE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de bacharel em Química
Industrial do Instituto de Química da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
Orientador: Dr. João Henrique Zimnoch Dos
Santos

Aprovada em:Porto Alegre,31 de janeiro de 2024.

BANCA EXAMINADORA:

João Henrique Zimnoch Dos Santos, Dr.
Instituto de Química UFRGS

Tânia Mara Pizzolato, Dra.
Instituto de Química UFRGS

Silma Alberton Corrêa, Dra.
Instituto de Química UFRGS

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnico financeira da implantação de sistemas de ultrafiltração como fase final do tratamento de esgoto doméstico na ETE Sarandi, em Porto Alegre. A ultrafiltração se apresenta como uma técnica capaz de trazer um novo patamar de eficiência no tratamento de esgotos, sendo capaz de remover carga orgânica e microorganismos do efluente destas estações de forma eficiente e estável, mostrando potencial para contribuir com a despoluição dos corpos hídricos que banham a cidade de Porto Alegre. Sistemas como a ultrafiltração convencional e os biorreatores de membrana (MBR) podem ser utilizados para o fim proposto, apresentando um custo aproximado de R\$ 0,25 por metro cúbico de esgoto filtrado. A técnica apresenta como vantagens a alta performance na remoção de poluentes e o controle superior da emissão de sólidos no efluente, o que torna a técnica adequada a automatização da planta. Além disso, sistemas como os citados podem ser adaptados em todas as ETEs da cidade, otimizando o tratamento. A técnica apresenta alguns pontos desafiadores, como a necessidade de adequação do pré-tratamento das estações, a incrustação nas membranas e a remoção de fósforo, demandando estudos mais aprofundados.

Palavras-chave: Ultrafiltração, Membranas, Saneamento

ABSTRACT/RESUMEN/RÉSUMÉ

The present work aimed to evaluate the technical and financial feasibility of implementing ultrafiltration systems as the final phase of domestic sewage treatment at ETE Sarandi, in Porto Alegre. Ultrafiltration presents itself as a technique capable of bringing a new level of efficiency in sewage treatment, being able to remove organic load and microorganisms from the effluent of these stations in an efficient and stable way, showing potential to contribute to the depollution of the water bodies that bathe the city of Porto Alegre. Systems such as conventional ultrafiltration and membrane bioreactors (MBR) can be used for the proposed purpose, with an approximate cost of R\$0.25 per cubic meter of filtered sewage. The technique has the advantages of high performance in pollutant removal and superior control of solid emission in the effluent, which makes the technique suitable for plant automation. Furthermore, systems such as those mentioned can be adapted to all ETEs in the city, optimizing treatment. The technique presents some challenging points, such as the need to adapt the pre-treatment of the stations, the fouling in the membranes and the removal of phosphorus, requiring more in-depth studies.

Keywords/Palabras-clave/Mot-clés: Ultrafiltration, Membranes, Sanitation

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUAS E ESGOTOS DE PORTO ALEGRE (DMAE)	9
2.2 POLUIÇÃO DOS CORPOS HÍDRICOS E TRATAMENTO DE ESGOTOS.....	12
2.3 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	17
2.4 LAGO GUAÍBA E RIO GRAVATAÍ	19
2.5 SES SARANDI	21
2.6 ETE SARANDI	22
2.7 PROCESSOS DE FILTRAÇÃO.....	24
2.8 ULTRAFILTRAÇÃO E TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	28
3 OBJETIVOS	32
3.1 OBJETIVO GERAL	32
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	32
4 METODOLOGIA	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 SANEAMENTO BÁSICO NA MICROBACIA DO BAIXO RIO GRAVATAÍ.....	34
5.2 ETE SARANDI-PARTICULARIDADES E DESAFIOS	37
5.3 SISTEMAS DE ULTRAFILTRAÇÃO DISPONÍVEIS COMERCIALMENTE	38
5.4 DISCUSSÃO	42
6 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA PROPOSTA	45
6.1 ECONOMICO E AMBIENTAL	45
6.2 NA CADEIA TECNOLÓGICA.....	47
7 CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1 INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios da humanidade é a sustentabilidade. Todas as civilizações constituídas pela humanidade tiveram e tem o desafio de crescer sem exaurir os recursos do ambiente que as circunda. O acesso a estes recursos é o motivo por trás de praticamente todos os conflitos pelos quais a humanidade já passou e também a razão de todo o avanço tecnológico que obtivemos. Desde o desvio de um curso d'água até uma expedição a outro planeta, o objetivo foi e é a obtenção de recursos necessários à manutenção da humanidade.

Apesar da capacidade tecnológica alcançada pela humanidade, crescer e ocupar os espaços continua sendo um desafio. Alguns países com muitos recursos financeiros precisam de grandes investimentos para obter água potável, outros possuem cursos d'água contaminados, e precisam obter técnicas viáveis para utilizar esta água. Alguns locais precisam utilizar a água do mar, e para isso são necessárias técnicas sofisticadas. Mesmo em países com abundantes recursos, existem áreas onde a falta de infraestrutura potencializa os impactos das cidades na natureza, cidadãos sem acesso à coleta de esgoto, além de contaminar cursos d'água, ficam expostos a doenças, impactando não só na sua própria qualidade de vida e da sua comunidade como também toda a sociedade, pelos potenciais impactos nos sistemas de saúde, nos investimentos necessários para a utilização dos corpos hídricos contaminados e toda a repercussão no meio ambiente, no desequilíbrio e transformação da fauna e flora.

É possível citar como exemplo desta problemática os rios formadores do lago Guaíba, em especial o rio Gravataí. Muito dos resíduos gerados pelas cidades que o banham, inclusive Porto Alegre, acabam chegando a ele *in natura*. Esta carga poluente é capaz de alterar completamente as características do rio, diminuindo muito sua capacidade de suportar peixes e outros animais, bem como favorecendo a proliferação de organismos potencialmente nocivos aos seres humanos e a outros animais. Uma vez que o Rio Gravataí é um dos rios formadores do Lago Guaíba, esta situação contribui para a poluição deste também, causando os mesmos efeitos e repercutindo em diversos aspectos, em especial no abastecimento de água potável da capital, que do lago Guaíba extrai água bruta para tratamento e distribuição. Maior

poluição nos rios formadores resulta em maior poluição no lago e em uma água bruta mais contaminada, e conseqüentemente demanda mais investimento para a sua desinfecção. Eventualmente mesmo com o tratamento podem persistir características desagradáveis, como é rotineiro nos períodos de verão em Porto Alegre.

Importante para a minimização destes efeitos é a correta coleta, condução e tratamento do esgoto doméstico, através das estações de tratamento de esgoto (ETE). Tão importante quanto a correta coleta e destinação, a eficiência das ETEs é fundamental para manter o equilíbrio dos meios hídricos. Neste aspecto, a busca por tecnologias viáveis e eficientes se apresenta como uma necessidade.

Seguindo o exemplo de outros países, com recursos hídricos mais escassos, é possível aprender com suas experiências, avaliando criticamente as tecnologias utilizadas por eles quanto à viabilidade e aplicabilidade no contexto em que nos localizamos. É neste conceito em que se delinea o presente projeto, buscando técnicas utilizadas em outros países e ainda não sedimentadas no Brasil, no presente caso, a ultrafiltração, e avaliando sua aplicabilidade no contexto do Departamento Municipal de Água e Esgotos de Porto Alegre (DMAE), em específico no sistema de esgotamento sanitário do Sarandi, na ETE Sarandi.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUAS E ESGOTOS DE PORTO ALEGRE (DMAE)

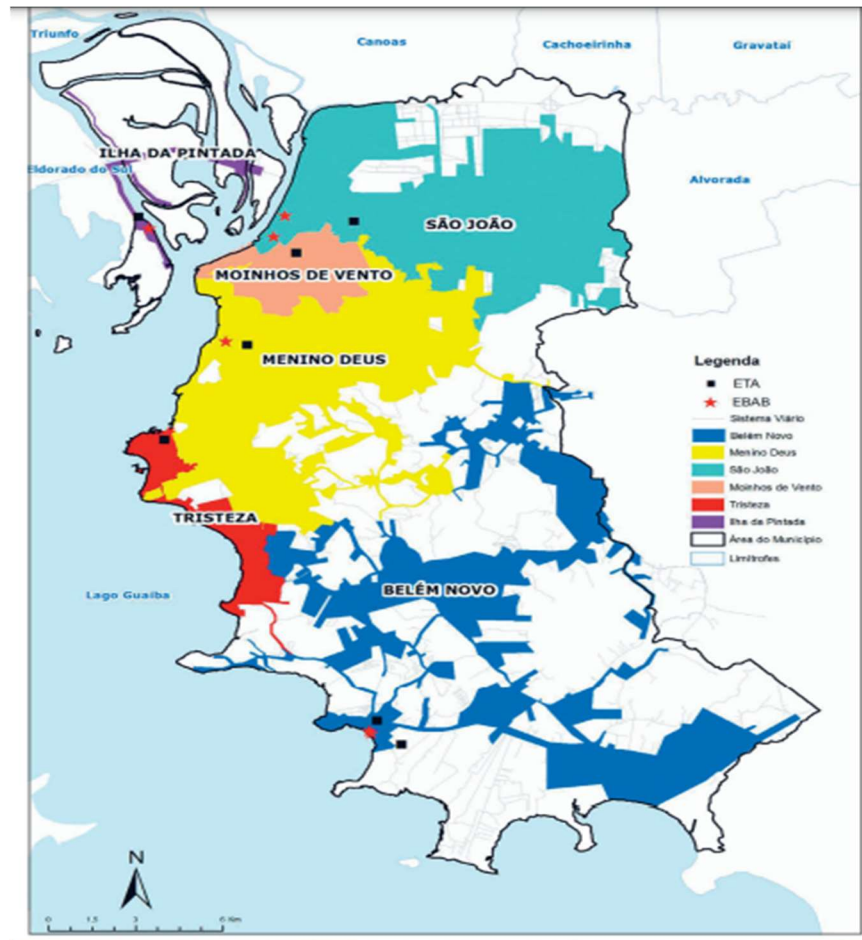
Segundo a Lei n. 11445/2007, o saneamento básico é definido como o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (BRASIL, 2007).

O Departamento Municipal de Águas e Esgotos de Porto Alegre (DMAE) é uma autarquia municipal que atua na captação, tratamento, e distribuição de água potável, na condução do esgoto sanitário das ligações prediais até sua destinação final adequada, através do tratamento destes efluentes e posterior lançamento no meio ambiente, e também na drenagem e manejo das águas pluviais da cidade. Assim sendo, o DMAE é o principal responsável pelo saneamento básico na cidade de Porto Alegre.

As origens do DMAE remontam o século XIX, com fundação da Companhia Hydraulica Porto Alegrense. O serviço, autorizado pela carta imperial de 6 de agosto de 1862 funcionou até 1944, fornecendo água encanada. As primeiras redes de esgoto da cidade foram projetadas em 1894 e inauguradas em 1912 com 51 mil metros, atravessando as ruas Ramiro Barcelos, Protásio Alves, João Alfredo e Pantaleão Teles (ECOS, 2022). O departamento adquiriu o nome e o formato de autarquia através da Lei 2312 de 15 de dezembro de 1961, herdando o trabalho desenvolvido até então.

Atualmente o DMAE conta com 6 estações de tratamento de água (ETA), tratando cerca de 198 milhões de m³ de água por ano. Atende 100% da população da cidade com água potável e conta com cerca de 4052 km de redes (PMSB,2015). Cada ETA corresponde a um sistema de abastecimento de água (SAA), dividindo assim a cidade em 6 sistemas.

Figura 1: Sistemas de abastecimento de água (SAA) de Porto Alegre



Fonte: PMSB, 2015

Quanto ao esgotamento sanitário, o DMAE conta com 10 estações de tratamento de esgotos (ETE), 36 estações de bombeamento (EBE) e atende a cerca de 650 mil economias ativas. A coleta de esgoto atende a 91,3% da população, sendo 57% efetivamente tratado. A capacidade de tratamento instalada é de 80% do esgoto coletado (PMSB,2015).

Para fins de planejamento do tratamento de esgoto, a cidade é dividida em 10 sistemas de esgotamento sanitário (SES), constituídos pelas bacias hidrográficas do município, agrupadas por apresentarem características semelhantes em relação às exigências de tratamento e à inserção regional no mesmo (PMSB, 2015). Diferentemente dos sistemas de abastecimento de água, nem todos os SES possuem ETEs. Segundo as diretrizes do Plano Municipal de Saneamento Básico, as ETEs de menor capacidade progressivamente serão desativadas, sendo seus afluentes direcionados às três maiores estações (ETE Serraria, ETE São João Navegantes e ETE Sarandi), que terão suas capacidades de tratamento ampliadas.

Figura 2: Sistemas de esgotamento sanitário (SES) de Porto Alegre



Fonte: PMSB, 2015

Todos os SAA da cidade coletam água do lago Guaíba, corpo hídrico localizado entre o Delta do Jacuí e a lagoa dos Patos, sendo formado pela união dos Rios Jacuí, Caí, dos Sinos e Gravataí. Os SES da cidade lançam seus efluentes nas macrobacias hidrográficas do Lago Guaíba e do Rio Gravataí.

2.2 POLUIÇÃO DOS CORPOS HÍDRICOS E TRATAMENTO DE ESGOTOS

A poluição dos corpos hídricos é um dos maiores problemas ambientais enfrentados na atualidade. Além do prejuízo à vida nestes ambientes, fica dificultada a manutenção das condições básicas de manutenção da qualidade da água para diversos usos, podendo gerar problemas de saúde na população, tanto pelo consumo de alimentos contaminados quanto pelo contato direto com a água (LEITE, 2004).

A produção de rejeitos é inerente à ocupação humana, e, devido ao seu impacto negativo no ambiente, é essencial que se tomem medidas para mitigar esse impacto.

Nesse sentido, a implementação de infraestrutura para coleta destes rejeitos e tratamento é imprescindível, embora a realidade da maior parte do país ainda seja a de baixos índices de coleta e tratamento de esgotos.

A poluição causada pela ocupação humana, através da chegada de esgotos domésticos aos corpos hídricos é especialmente preocupante em áreas de alta densidade demográfica e em corpos hídricos com baixa capacidade de depuração. Os esgotos domésticos se caracterizam por altos teores de carga orgânica e microorganismos, que no ambiente servem de alimento para algas, bactérias e outros microrganismos, causando a depleção do oxigênio dissolvido (OD) nos corpos hídricos, favorecendo a proliferação destes organismos em detrimento de animais de maior porte, gerando desequilíbrio neste ambiente e acúmulo de matéria orgânica, além de formação de substâncias nocivas provenientes do metabolismo destes microrganismos.

No contexto do tratamento de efluentes, pode-se então utilizar os seguintes parâmetros como indicadores de poluição:

- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): quantidade de oxigênio consumida para a degradação da matéria orgânica presente em um meio por microrganismos, medido em mgO_2/L . É o indicador mais utilizado para poluição.

- Oxigênio dissolvido (OD): quantidade de oxigênio dissolvido em água, medido em mgO_2/L , como indicador da capacidade de depuração de carga orgânica de um meio.

- Nitrogênio: as substâncias nitrogenadas orgânicas são degradadas e no processo este passa pela forma amoniacal e é oxidado até a forma de nitrato. Na forma amoniacal, é tóxico para a vida aquática e indica poluição recente. Na forma de nitrato, é nutriente para algas e bactérias. A oxidação do nitrogênio amoniacal a nitrato

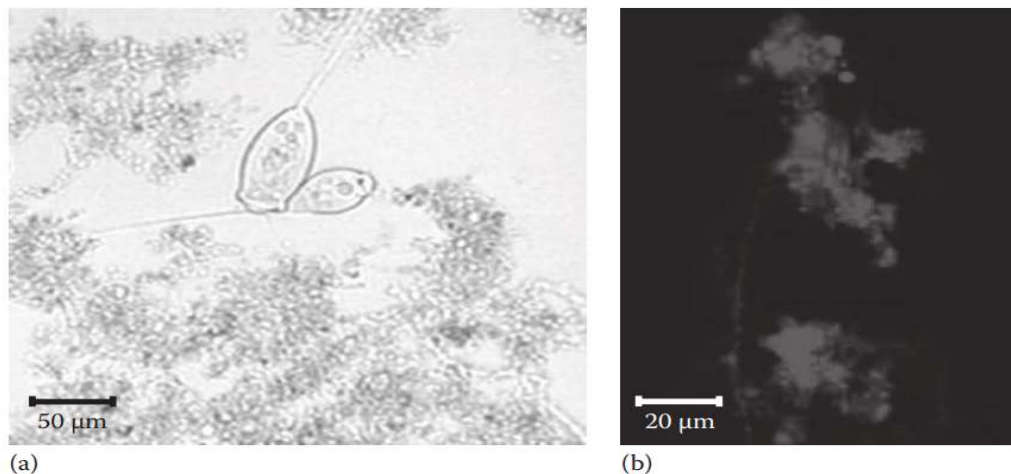
por bactérias é chamada de nitrificação. Já a redução do nitrato por bactérias, liberando nitrogênio molecular é denominado de desnitrificação.

- Fósforo: assim como o nitrato, é nutriente para microrganismos e contribui, juntamente com o primeiro, para o desequilíbrio na proliferação de bactérias e algas nos corpos hídricos, em um fenômeno chamado de eutrofização.

Devido à menor geração de resíduos e maior economia, o tratamento de esgotos domésticos é realizado através do tratamento biológico. Segundo Metcalf&Eddy (2016), os objetivos gerais do tratamento biológico de esgoto doméstico são: oxidar constituintes biodegradáveis dissolvidos e particulados em produtos finais aceitáveis, capturar e incorporar sólidos suspensos e coloidais não sedimentáveis em um floco biológico e remover nutrientes, como nitrogênio e fósforo, pois estes são capazes de estimular a eutrofização.

Os microrganismos são utilizados para oxidar a matéria orgânica particulada e dissolvida em produtos finais simples e em biomassa adicional. Essa biomassa, comumente chamada de lodo, possui um peso específico levemente superior ao da água, podendo ser removida do efluente tratado por sedimentação. O processo pode ser delineado para favorecer a proliferação de bactérias capazes de realizar nitrificação e desnitrificação. Em todos estes processos, também o fósforo é assimilado no crescimento bacteriano, ficando imobilizado no lodo.

Figura 3: floco microbiológico em biorreator: (a) observado através de microscópio óptico e (b) observado por microscópio por fluorescência, após o tingimento com fluoróforo com afinidade por DNA



Fonte: Park et al (2015)

Além do tratamento biológico, são realizadas operações unitárias nas estações de tratamento de esgoto, visando à separação de componentes. Segundo Von Sperling (2012), o tratamento de esgoto é dividido nas seguintes etapas: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário, tratamento terciário/pós tratamento. A seguir são apresentadas as etapas de tratamento e algumas das operações unitárias normalmente utilizadas em estações de tratamento de esgotos:

Tabela 1: Etapas do tratamento de efluentes domésticos

Etapas/ Tratamento	Unidades/processos de tratamento/operação unitária	Alvos de remoção	Principais processos de remoção
Preliminar	Grades, peneiras, desarenadores	Sólidos grosseiros, areia, gordura	Físico
Primário	Decantador primário	Sólidos em suspensão	Físico
Secundário	Reatores biológicos (aeróbios e/ou anaeróbios)	Sólidos dissolvidos, matéria orgânica, patógenos	Biológico
Terciário/pós tratamento	Decantadores, processos de desinfecção-processos oxidativos avançados (POA), cloração-, flotação por ar dissolvido (FAD), coagulação, processos de separação por membranas	Microorganismos, sólidos remanescentes e micronutrientes (Nitrogênio e fósforo assimilados ao lodo)	Físicos e/ou químicos

Fonte: Von Sperling, 2012, adaptado.

O tratamento de esgotos até sua etapa secundária tem capacidade de diminuir de maneira significativa o potencial nocivo dos esgotos, através da degradação da matéria orgânica destes para a proliferação e manutenção da microbiota residente no reator biológico, resultando em uma matéria orgânica mais estabilizada e constituída principalmente de microrganismos e seus metabólitos. Assim sendo, o efluente desta etapa, embora ainda possua características poluentes, diminui muito a probabilidade de veiculação de doenças.

Usualmente no tratamento secundário de esgotos são utilizados processos anaeróbios, aeróbios ou mistos. Os processos anaeróbios se caracterizam por baixo consumo de energia e potencial geração de metano, que pode ser coletado, purificado

e reaproveitado ou queimado, diminuindo seu potencial poluente. Os processos anaeróbios promovem diminuições da ordem de 50% a 70% da DBO afluente, sendo uma alternativa interessante para abatimento da carga orgânica a baixo custo. Além disso, possuem elevado potencial de remoção de fósforo. Entretanto, é insuficiente para o atendimento à legislação ambiental em uso isolado, tem como característica a geração de compostos sulfurados e nitrogenados com odor desagradável, bem como não é capaz de realizar nitrificação. O tipo mais comum de reator anaeróbio utilizado em ETEs é o reator anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA ou UASB).

Os processos aeróbios consomem mais energia, pois é necessária a injeção de ar no reator. Este tipo de reator se caracteriza por uma capacidade elevada de remoção de DBO, acima de 90%, além de não gerar compostos odoríferos e favorecer o processo de nitrificação. Dadas as vantagens e desvantagens complementares dos dois processos, é comum usá-los conjuntamente, associando um reator anaeróbio a um aeróbio. Assim, há economia de energia e remoção satisfatória de poluentes. Há, inclusive configurações de tanques aeróbios em câmaras, com características aeróbias, anaeróbias e anóxicas (a condição anóxica se caracteriza pela disponibilidade limitada de oxigênio. As bactérias favorecidas nesta situação são capazes de utilizar o oxigênio de grupos como o nitrato, promovendo a desnitrificação), visando otimizar o processo de remoção de poluentes favorecendo o crescimento de grupos específicos de bactérias em cada câmara, obtendo reatores capazes de remover eficientemente DBO, fósforo, e promover nitrificação e desnitrificação (nas câmaras anóxicas).

O tratamento terciário mais utilizado nas ETEs é a decantação, por ser eficiente e menos custosa. O lodo decantado é recirculado para os reatores biológicos e o excesso de biomassa é direcionado ao descarte, sendo essa biomassa desidratada, através de flotação, centrifugação ou filtração e então destinada, podendo ser utilizada em compostagens, como fertilizante ou descartada em aterros sanitários. A fase líquida deste processo retorna ao tratamento. A coagulação através da adição de substâncias como o cloreto férrico ou sulfato de alumínio podem melhorar a eficiência da decantação, aumentando a sedimentabilidade e restando mais matéria orgânica nos coágulos.

Com a crescente preocupação com os níveis de poluição nos corpos hídricos e conseqüente acréscimo na exigência dos órgãos ambientais, podem ser aplicados processos mais eficientes de tratamento terciário. A decantação, embora simples,

barata e eficiente, apresenta algumas fragilidades: não é capaz de reter a matéria orgânica não sedimentável, além de sofrer com variabilidades do processo onde há perda de sedimentabilidade do lodo, por variações na carga orgânica, presença de substâncias prejudiciais à microbiota dos reatores ou eventos de chuva volumosa, onde pode haver arraste de sólidos no efluente.

A flotação por ar dissolvido (FAD) é realizada através da injeção de água saturada com ar sob pressão no tanque de flotação, que se encontra à pressão atmosférica, ocorrendo a liberação de microbolhas (Brito *apud* Cheremisinoff, 2016). Ao tanque de flotação é adicionado coagulante. Os flocos formados são arrastados pelas microbolhas para a superfície do sistema, de onde são recolhidos. O sistema FAD possui vantagens semelhantes à decantação associada à coagulação, sendo, no entanto, muito mais dispendiosa e demandando mais controle operacional.

Os processos oxidativos avançados, segundo Moravia (2010), são definidos como processos que envolvem a geração de espécies transitórias de elevado poder oxidante, dentre as quais se destaca o radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$), altamente reativo de baixa seletividade, que possibilita a transformação de um grande número de contaminantes. Destacam-se por serem extremamente rápidos, eficientes e, principalmente, por utilizarem reagentes que quando decompostos não sejam agressivos ao meio ambiente. São tecnologias extremamente promissoras, embora seja desafiador no momento o seu uso no tratamento de efluentes urbanos devido à escala.

Os processos de filtração, objeto deste estudo, serão discutidos em seção posterior.

2.3 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

O uso dos recursos hídricos foi regulamentado através da Política Nacional de Recursos Hídricos, implementada através da lei federal nº 9433/1997. Em seu artigo 5º cita como um dos seus instrumentos, o enquadramento dos corpos d'água em classes, segundo os usos preponderantes da água. O enquadramento os corpos d'água em classes visa assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição, mediante ações preventivas permanentes (BRASIL,1997).

Os critérios para enquadramento dos corpos d'água em classes foram lançados através da resolução nº 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), em 2005. Segundo a citada resolução, as águas foram enquadradas em cinco categorias, associadas à exigência de qualidade para os potenciais usos das águas:

Figura 4: Classes de enquadramento e respectivos usos das águas doces, segundo resolução CONAMA 357/2005

USOS DAS ÁGUAS DOÇES		CLASSES DE ENQUADRAMENTO				
		ESPECIAL	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas 		Classe mandatória em Unidades de Conservação de Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas 			Classe mandatória em Terras Indígenas			
Recreação de contato primário 						
Aquicultura 						
Abastecimento para consumo humano 		Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional ou avançado	
Recreação de contato secundário 						
Pesca 						
Irrigação 			Hortalças consumidas cruas e frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película	Hortalças, frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer,	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
Dessedentação de animais 						
Navegação 						
Harmonia paisagística 						

Fonte: ANA, 2023

O enquadramento nas respectivas classes se dá através da qualidade dos corpos d'água, segundo os parâmetros estabelecidos na resolução (Anexo I):

O saneamento básico é regulamentado pela Política Nacional de Saneamento Básico, através da Lei Federal nº 11445/2007. Esta legislação aponta como titulares dos serviços públicos de Saneamento os municípios, estados e Distrito Federal, bem como estabelece como meta a universalização da coleta e tratamento de esgoto.

No estado do Rio Grande do Sul, a emissão de efluentes em águas superficiais está também regulamentada pela resolução nº 355/2017 do Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA), que estabelece, para efluentes líquidos sanitários, os seguintes limites de emissão, com base na vazão diária da estação de tratamento (Tabela 3):

Tabela 3: Limites de emissão de poluentes para efluentes sanitários segundo a resolução CONSEMA 355/2017

Faixa de vazão do efluente (m ³ /d)	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Coliformes Termotolerantes	
				NMP/ 100 mL	Eficiência
(1) Q < 200	120	330	140	-	-
(2) 200 ≤ Q < 500	100	300	100	10 ⁶	90%
(3) 500 ≤ Q < 1.000	80	260	80	10 ⁵	95%
(4) 1.000 ≤ Q < 2.000	70	200	70	10 ⁵	95%
(5) 2.000 ≤ Q < 10.000	60	180	60	10 ⁴	95%
(6) 10.000 ≤ Q	40	150	50	10 ³	95%

Fonte: RIO GRANDE DO SUL, 2017

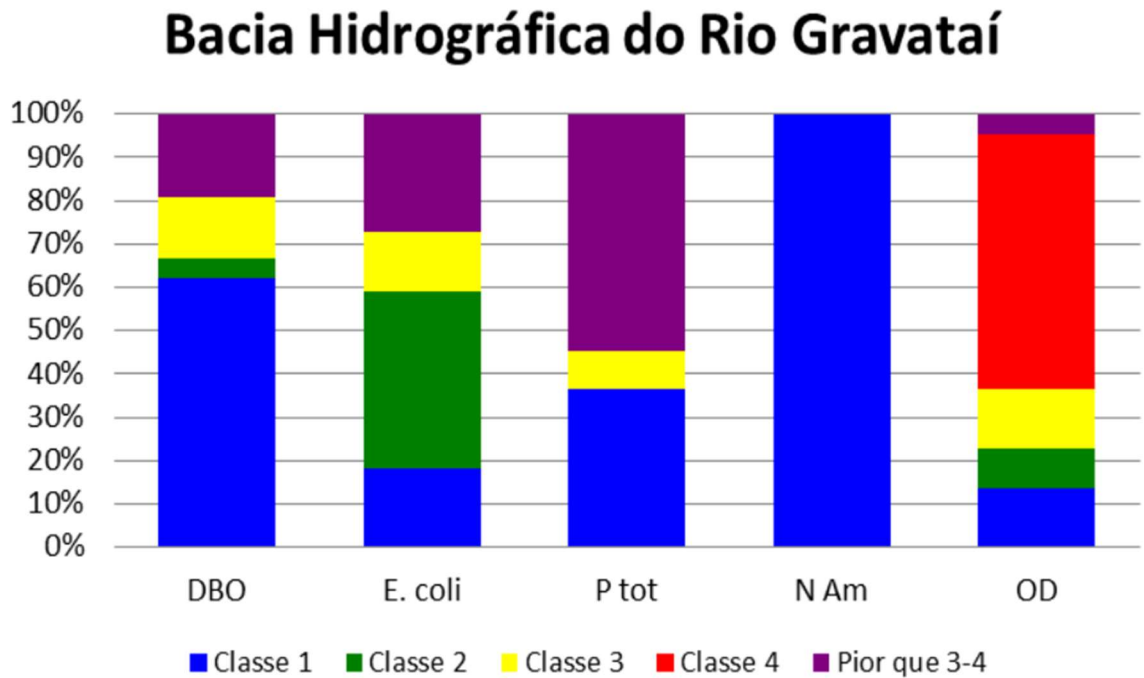
2.4 LAGO GUAÍBA E RIO GRAVATAÍ

A cidade de Porto Alegre é banhada por dois corpos hídricos, em menor proporção pelo Rio Gravataí e majoritariamente pelo lago Guaíba. O Rio Gravataí nasce na cidade de Santo Antônio da Patrulha e percorre, além desta, as cidades de Glorinha, Gravataí, Viamão, Alvorada, Cachoeirinha, Canoas e Porto Alegre, desaguando no lago Guaíba. Já o Lago Guaíba se estende do Delta do Jacuí, onde se unem os rios Jacuí, Caí, dos Sinos e Gravataí até a Lagoa dos Patos, banhando as cidades de Porto Alegre e Viamão em uma margem e Eldorado do Sul, Guaíba e Barra do Ribeiro na outra.

O Lago Guaíba possui um papel central na formação da cidade de Porto Alegre e continua sendo de fundamental importância para a cidade, sendo rota de acesso, ponto turístico e acima de tudo, fonte de água para a população. Todos os SAA da cidade coletam água do lago Guaíba, e a ele são devolvidos os esgotos produzidos pela cidade, a maior parte após passar por tratamento nas ETEs, mas infelizmente também os dejetos não tratados. O SES Sarandí lança seus esgotos no rio Gravataí, mas como este deságua no Lago Guaíba, a poluição causada por este SES impacta também o Lago.

Dos quatro Rios que formam o lago Guaíba, manancial que abastece a cidade de Porto Alegre, três figuram entre os dez mais poluídos do Brasil. O Rio dos Sinos fica em quarto lugar na lista, o rio Gravataí em quinto e o rio Caí em oitavo (IBGE,2015). A situação do rio Gravataí se mantém desde então, conforme dados do monitoramento realizado pela FEPAM neste ano (Figura 4). Além de zelar pela qualidade do próprio lago Guaíba, a cidade de Porto Alegre, através do DMAE, também tem papel importante no cuidado com o Rio Gravataí já que este está mais comprometido em seu trecho final, que passa pela cidade.

Figura 4: Indicadores de poluição no Rio Gravataí



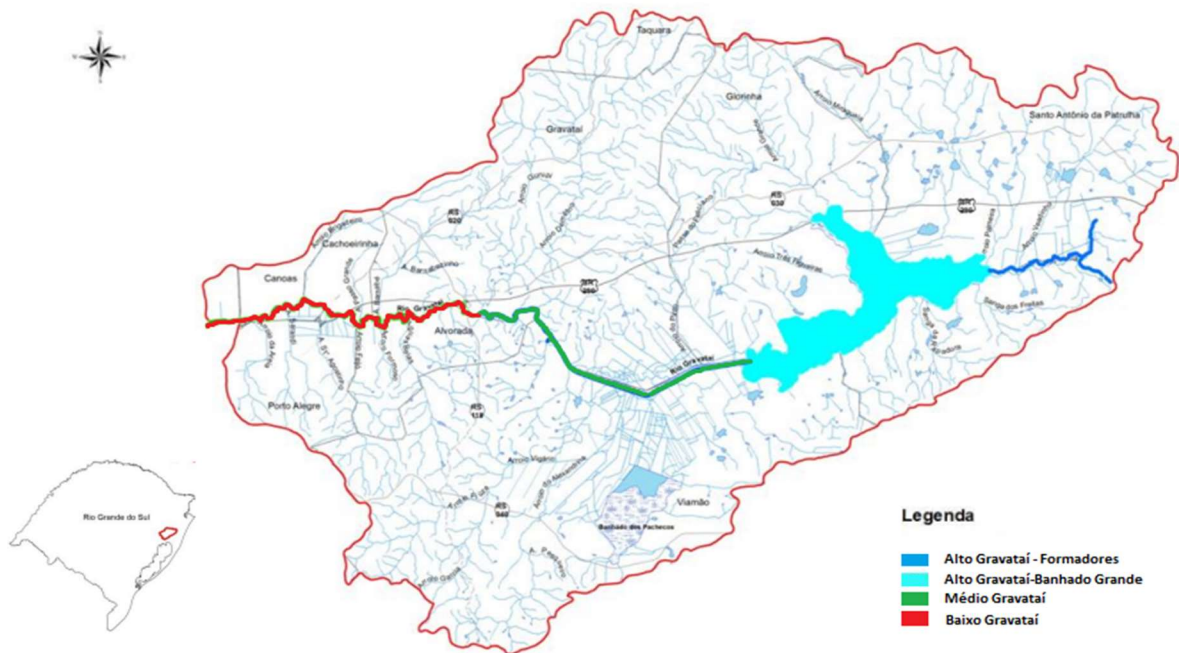
Fonte: FEPAM (2023)

O Rio Gravataí é subdividido em quatro compartimentos hidrográficos, respeitando a identidade em termos de ocupação de solo (BOURSCHEID, 2012).

Os quatro compartimentos hidrográficos do Rio Gravataí, representados na Figura 5 são os seguintes:

- Alto Gravataí-Formadores-Santo Antônio da Patrulha
- Alto Gravataí-Banhado Grande-Santo Antônio da Patrulha, Glorinha, Gravataí e Viamão
- Médio Gravataí-Gravataí, Taquara, Glorinha, Viamão e Alvorada
- Baixo Gravataí-Gravataí, Cachoeirinha, Canoas, Viamão Alvorada e Porto Alegre.

Figura 5: Rio Gravataí, bacia e compartimentos hidrográficos

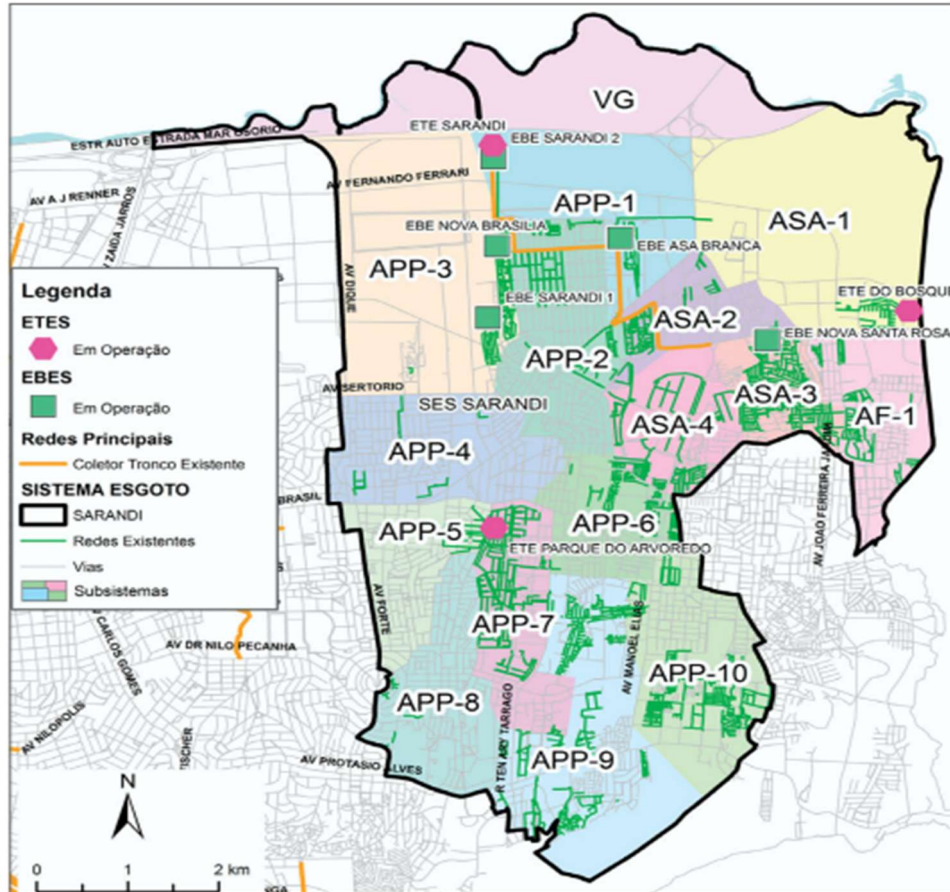


Fonte: BOURSCHEID,2012, adaptado

2.5 SES SARANDI

OSSES Sarandi é composto pelas áreas das Bacias Hidrográficas da Várzea do Gravataí e do Arroio Passo das Pedras e parcialmente pelas bacias dos arroios Santo Agostinho e Feijó. Na área de abrangência do SES Sarandi estão os bairros Sarandi, Passo das Pedras, São Sebastião, Jardim Lindoia e parcialmente, os bairros Anchieta, Cristo Redentor, Vila Ipiranga, Vila Jardim, Jardim Itu-Sabará, Jardim Carvalho, Protásio Alves, Rubem Berta e Mário Quintana (PMSB,2015). O sistema conta com quatro EBEs, três ETEs e conta com cerca de 186km de redes, correspondendo a uma cobertura de 26,55% (Figura 6)

Figura 6: SES Sarandi



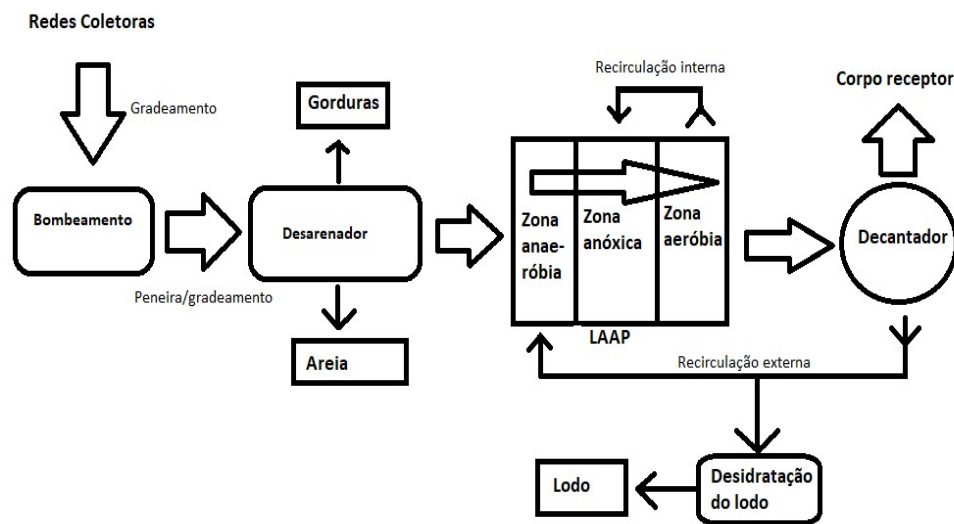
Fonte: PMSB,2015

2.6 ETE SARANDI

A ETE Sarandi está localizada na Av. Fernando Ferrari, 4.000, Bairro Sarandi. A estação foi idealizada em seis módulos, sendo que até o momento foi construído e está em operação um módulo. A rede coletora afluente ao primeiro módulo da ETE abrange as vilas Nova Brasília, Asa Branca, Ipê São Borja, Elisabete e Nova Santa Rosa. O tratamento neste módulo foi projetado para ser executado por um reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), seguido por lodos ativados com aeração prolongada (LAAP), decantação e desinfecção do efluente por dióxido de cloro. O primeiro módulo da ETE Sarandi tem capacidade para tratar 133 L/s de esgotos, e apresenta capacidade para o atendimento de 50.000 pessoas residentes na Zona Norte de Porto Alegre (PMSB,2015).

O processo na ETE Sarandi envolve, além do tratamento biológico, diversas operações unitárias. A EBE Sarandi, que se situa no pátio da ETE, recebe o esgoto vindo das redes e demais EBEs e, após um primeiro gradeamento, recalca o afluente até o desarenador, estrutura onde há um gradeamento mais fino e após canais cuja função é separar a areia e a gordura do afluente. O afluente é então direcionado aos dois LAAPs da ETE, que são divididos em três áreas- anaeróbia, anóxica e aeróbia (Figura 7).

Figura 7: Esquema simplificado ETE Sarandi



Fonte: Autor

A zona anaeróbia recebe, além do afluente, recirculação do lodo vindo do decantador. Nesta área é privilegiado o crescimento de bactérias acumuladoras de fósforo. A zona anóxica recebe o afluente da área anterior e a recirculação de parte do volume da área aeróbia. Com isso, o oxigênio disponível nesta etapa vem principalmente dos nitratos e as bactérias com capacidade de realizar desnitrificação são favorecidas, realizando assim a remoção do nitrogênio do Sistema. A zona aeróbia é onde cresce principalmente o lodo a partir do oxigênio, e onde ocorre a nitrificação. Dos LAAPs, o efluente é encaminhado por gravidade aos decantadores, aonde o lodo sedimenta, sendo uma parte recirculada para a área anaeróbia e o excedente encaminhado para a desidratação por centrifugação. O lodo desaguado é encaminhado a um aterro sanitário e o efluente clarificado é enviado ao arroio Passo das Pedras, que por sua vez aflui ao Rio Gravataí.

2.7 PROCESSOS DE FILTRAÇÃO

Segundo a IUPAC (2019), filtração é o processo de segregação de fases, por exemplo, a separação de sólidos suspensos de um líquido de um gás, usualmente forçando um líquido carreador através de um meio poroso. É, portanto, a separação de componentes de um fluxo de fluido baseado inicialmente em diferenças de tamanho de partículas.

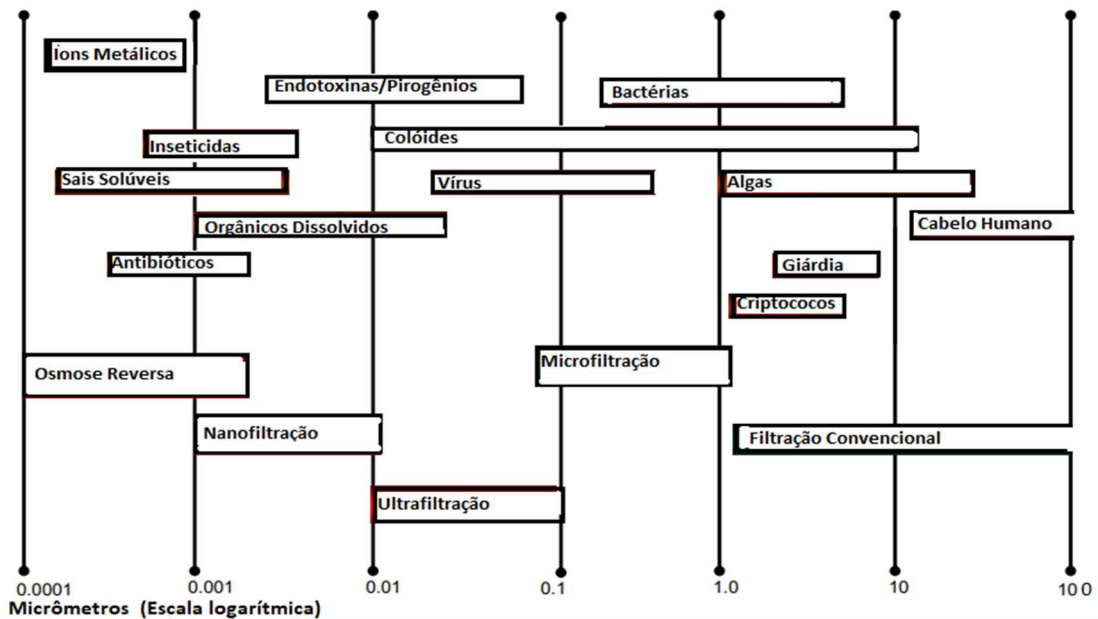
Dentro do saneamento básico, há a utilização de diversos processos de separação com base no tamanho de partículas, utilizando uma interface para tal. No tratamento de água, o bombeamento é protegido por grades, que impedem danos aos rotores por materiais como plásticos, pedras e madeira. Após o processo de coagulação e decantação, são utilizados filtros constituídos de areia, e pedras para a retenção de material particulado antes do processo de cloração. No tratamento de esgoto, são utilizados gradeamentos e peneiras com aberturas progressivamente menores, visando à chegada aos reatores apenas de material dissolvido e degradável.

A filtração, portanto, é uma técnica de relativa simplicidade e que tem uma grande abrangência, podendo produzir separações de forma eficiente e barata de acordo com a necessidade da aplicação. Para aplicações em que se pretendem separar partículas pequenas, da ordem de milímetros ou menores, normalmente são utilizadas membranas como meio filtrante. Conforme Metcalf & Eddy (2016), membranas funcionam como uma barreira seletiva que permite a passagem de determinados constituintes presentes na água, enquanto retêm outros.

Na tecnologia de membranas, comumente são utilizados os termos alimentação, permeado e concentrado. Alimentação se refere à corrente afluyente ao sistema de separação por membranas. A parcela que atravessa a membrana é referida como permeado, enquanto que a que ficou retida é chamada de concentrado ou rejeito.

Segundo Metcalf & Eddy (2016), os processos de separação por membranas incluem a microfiltração (MF), a ultrafiltração (UF), a nanofiltração (NF), a osmose reversa (OR) e a eletrodialise (ED), distinção relacionada à capacidade de retenção de materiais (Figura 8).

Figura 8: Abrangência dos processos de separação por membrana por tamanho de partícula e exemplos de materiais retidos



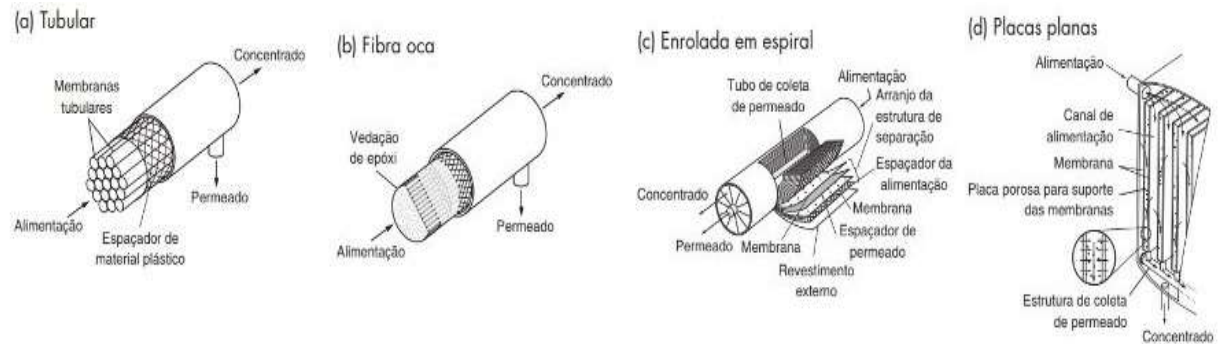
Fonte: Metcalf&Eddy,2016, adaptado

Os processos de separação por membranas também podem ser classificados com base em outros critérios, como: configuração da membrana, material da membrana e natureza da força motriz aplicada.

Com relação à configuração das membranas, na área de tecnologia de separação por membranas, o termo módulo é utilizado para descrever uma unidade que inclui as membranas (ou elementos), a estrutura de confinamento da membrana e o vaso de pressão, com os dispositivos de entrada e saída das correntes envolvidas.

Os principais tipos de módulos utilizados em tratamento de água e efluentes incluem: tubular, fibra oca e enrolada em espiral. Módulos de placas planas e cartuchos plissados também estão disponíveis, mas são mais utilizados em processos industriais (Figura 9).

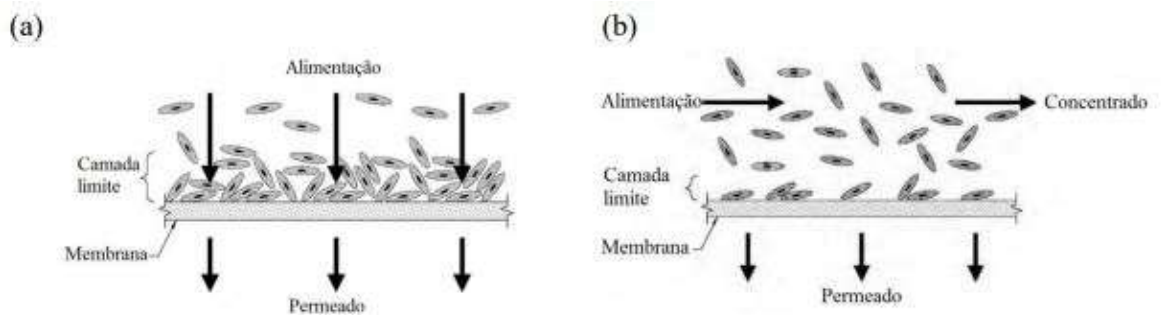
Figura 9: Tipos de membranas



Fonte: Metcalf & Eddy, 2016, adaptado

Quanto à configuração hidráulica, o fluxo de alimentação pode ser frontal (*deadend/depositionmode*) ou tangencial (*suspensionmode/crossflow*). No primeiro, o fluxo de alimentação é perpendicular à superfície da membrana, e a direção da corrente contribui para a formação da torta, pelo acúmulo de partículas em suspensão. Neste caso, o volume de permeado é igual ao volume de alimentação. No fluxo tangencial, a corrente de alimentação é paralela à superfície da membrana, permitindo reduzir o acúmulo de material suspenso nesta devido à força cisalhante imposta à superfície da membrana (USEPA,2010 *apud* NEDER, 2020). Uma vez que em sistemas que operam em fluxo tangencial parte do volume da alimentação é perdida na forma de concentrado, é utilizado o conceito de recuperação (Figura 10)

Figura 10 Alimentação frontal (a) e tangencial (b)

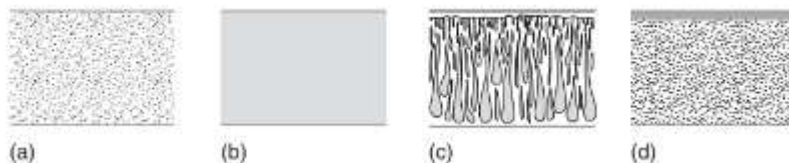


Fonte: USEPA,2010 *apud* NEDER,2020

Já o escoamento nas membranas pode ser realizado de fora para dentro e de dentro para fora. Em muitas aplicações para tratamento de efluentes nas quais são utilizadas membranas de fibra oca ou placa plana, o fluxo é de fora para dentro. Com esse padrão de escoamento, as membranas podem ser contralavadas com ar, água ou a combinação dos dois. O padrão de escoamento de fora para dentro também é utilizado quando a concentração de sólidos na alimentação é elevada.

Em geral, três tipos de membranas são produzidos: simétricas, assimétricas e de filme fino composto. Nas membranas simétricas, a estrutura interna é uniforme por toda a extensão da membrana, que pode ser porosa ou não porosa (densa). As membranas assimétricas são produzidas pelo processo de inversão de fases e consistem de uma camada superior muito fina ($1\ \mu\text{m}$) e uma camada porosa de maior espessura (até $100\ \mu\text{m}$), que serve de suporte e apresenta alta capacidade de fluxo. Na prática, nas membranas assimétricas, os poros internos apresentam-se na forma de canais, com diâmetro crescente da superfície para a base da membrana. As membranas compostas são feitas a partir da aplicação de uma camada fina de acetato de celulose, poliamida ou outra camada ativa ($0,15$ a $0,25\ \mu\text{m}$ de espessura) sobre um substrato poroso para dar estabilidade à membrana (Fig. 11).

Figura 11. Tipos de estrutura interna de membranas (a) simétrica com macroporos (b) não porosa (densa) simétrica (c), assimétrica (d), filme fino composto (TFC)



Fonte: Metcalf & Eddy, 2016

Com relação aos materiais das membranas, essas podem ser feitas com diversos materiais orgânicos (poliméricos) e inorgânicos (cerâmicos). As membranas utilizadas para o tratamento de efluentes são feitas com materiais poliméricos, embora membranas cerâmicas também sejam utilizadas.

Do ponto de vista da força motriz, os processos de separação por membranas utilizam como força motriz a pressão hidráulica ou o vácuo, exceto a eletrodialise onde a força motriz é a diferença de potencial elétrico.

Os processos de separação que utilizam a pressão hidráulica como força motriz são divididos em duas categorias: os de baixa pressão, que incluem a MF e UF, e os de alta pressão, que incluem a NF e a OR. Na tabela 4 a seguir estão listados os processos de separação por membrana e sua pressão aplicada:

Tabela 4: Características dos processos de separação por membrana

Processo de separação	Faixa de pressão utilizada	Detalhes da membrana	
		Materiais	Configuração
Microfiltração (MF)	Até 3,5 bar	Acrilonitrila, cerâmica, polipropileno (PP), polisulfona (PS), politetrafluoretileno (PTFE), fluoreto de polivinilideno (PDVF), náilon	Entrada em espiral, fibra oca, placa plana
Ultrafiltração (UF)	Até 10 bar	Poliamida, cerâmica, acetato de celulose (CA), PP, PS, PVDF, teflon	Entrada em espiral, fibra oca, placa plana
Nanofiltração (NF)	Até 25 bar	Celulose, poliamida, filme fino composto (TFC), PS, PVDF	Entrada em espiral, fibra oca
Osmose reversa (OR)	Até 80 bar	Celulose, poliamida, filme fino composto (TFC)	Entrada em espiral, placa plana

Fonte: Rader,2003, Metcalf& Eddy,2016, adaptado

2.8 ULTRAFILTRAÇÃO E TRATAMENTO DE EFLUENTES

A ultrafiltração é uma tecnologia avançada de separação empregada em vários processos industriais. Segundo S. Al Aaniet *al.* (2020), esta foi inicialmente empregada como técnica de fracionamento na década de 1960. Desde então, as membranas de ultrafiltração têm sido continuamente melhoradas, e suas aplicações se estenderam a vários campos, como recuperação química, filtração de células, produção de laticínios, usos médicos, recuperação de águas residuais, tratamento de águas e concentração de sucos.

As razões que permitem que a ultrafiltração substitua os processos tradicionais de purificação e desinfecção incluem a simplicidade e relativamente baixo uso de energia, menor necessidade de controle operacional, pouca utilização de produtos químicos, condições suaves de temperatura de operação e um produto de alta qualidade (S. Al Aaniet *al.*, 2020). Segundo Lautenschlager (2006), mesmo com acentuada oscilação da turbidez na água de alimentação da UF, o sistema produz água permeada com turbidez estável.

A tecnologia de ultrafiltração tem sido utilizada cada vez mais no tratamento de águas residuárias devido a seu relativamente baixo consumo de energia e de produtos químicos e sua alta eficiência (Chao, et al, 2018), amplamente aceita como uma das

tecnologias com melhor custo benefício para tratar efluentes secundários para usos não potáveis (Moulin, et al. 2021).

Segundo Salih, et al (2021), um dos principais desafios da técnica é o decréscimo do fluxo de permeado devido à incrustação (*fouling*) nas membranas, que é causada pela aderência dos contaminantes na superfície da membrana (formação de torta), adsorção nos poros ou obstrução dos mesmos, diminuindo o rendimento da membrana. A incidência de incrustação em cada um de seus mecanismos varia principalmente com as características da matriz afluenta, propriedades físico-químicas da membrana, configuração hidráulica do sistema e condições operacionais (Lautenschlager, 2006). No tratamento de esgotos domésticos, a incrustação se dá principalmente por biopolímeros, como proteínas e polissacarídeos e por materiais em suspensão (Zhenget al, 2020 apud Neder,2020).

A figura 12 representa um sistema de ultrafiltração utilizado para tratamento de efluentes industriais e também efluentes domésticos. É o sistema referido como ultrafiltração convencional, onde membranas, geralmente de fibra oca são posicionadas dentro de tubos. São sistemas com filtração de fora para dentro, onde a alimentação é pressurizada no tubo.

Figura 12: sistema de ultrafiltração convencional



Fonte: Park et al (2015)

Dentro das tecnologias de ultrafiltração utilizadas em plantas de tratamento de efluentes domésticos destaca-se o chamado biorreator de membrana (MBR, membranebioreactor). É uma combinação de um sistema de lodos ativados com membranas de ultrafiltração (Park et al,2015). Estas são instaladas dentro dos

tanques de aeração, removendo o efluente tratado destes sem a necessidade de tratamento posterior. A figura 13 apresenta um conjunto de membranas (rack ou cassete) de um sistema MBR, e sua disposição no tanque de aeração.

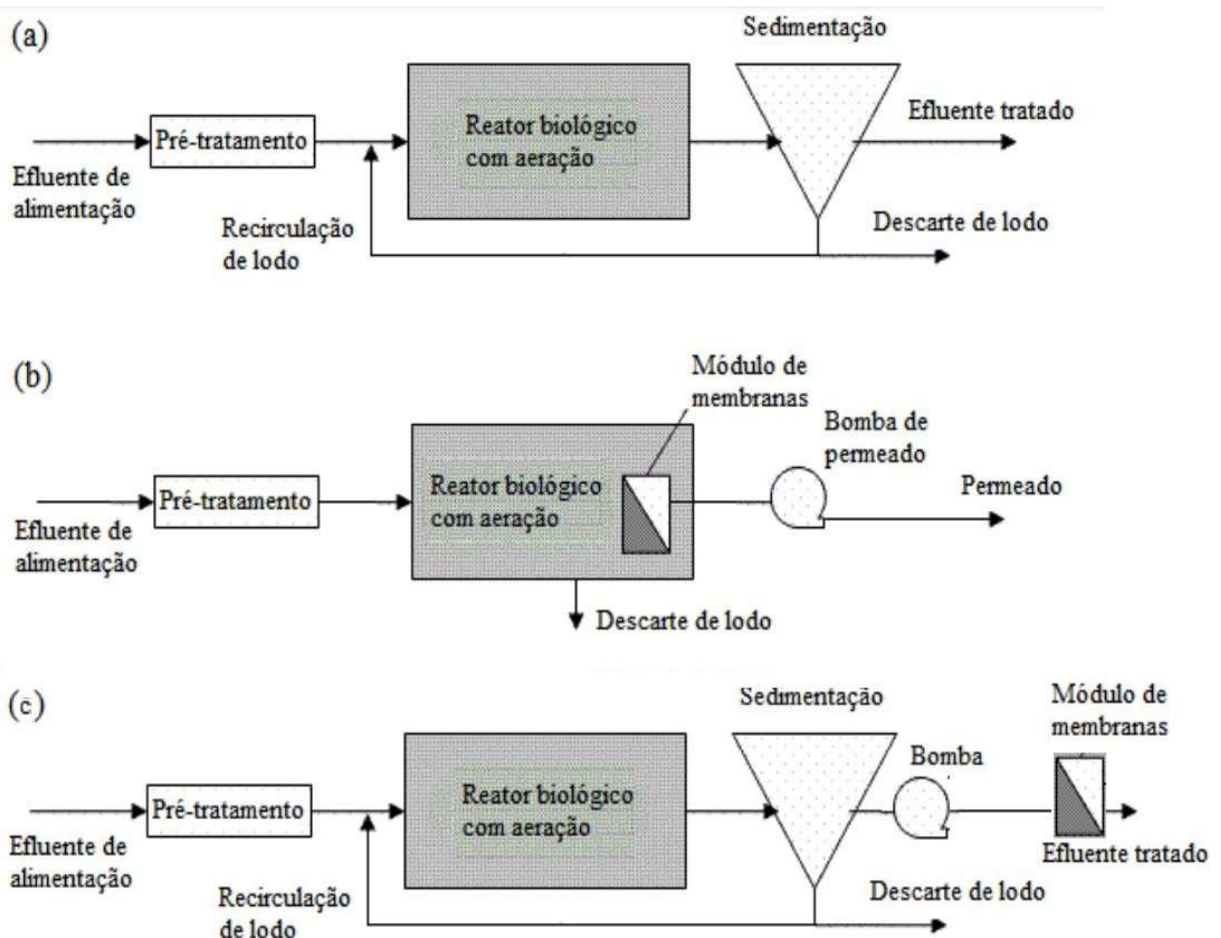
Figura 13: Rack contendo diversos módulos de membranas para sistemas MBR



Fonte: Park et al (2015)

Esta configuração de ultrafiltração foi criada em 1989 por Yamamoto et al (1989, apud S. Al-Asheh et al. 2021) visando diminuir a incrustação e o alto consumo de energia dos sistemas de ultrafiltração convencionais (Figura 12), posicionando as membranas (Figura 13) dentro do tanque de aeração e utilizando pressão de sucção para extrair o efluente tratado, ao invés de bombear o fluido a ser filtrado através da membrana. A figura 14 traz esquemas simplificados dos sistemas de ultrafiltração convencional (figura 14c), de um sistema MBR (figura 14b) e de um sistema de lodos ativados convencional (figura 14c), apresentando de forma sintética o fluxo de operação e a disposição dos equipamentos no processo.

Figura 14 Esquemas simplificados de (a) sistemas de lodos ativados convencionais (b) MBR e (c) ultrafiltração convencional.



Fonte: adaptado de Park et al (2015)

Os sistemas MBR proporcionam economia e maior durabilidade que os sistemas de ultrafiltração convencionais por utilizar a aeração do tanque para evitar o contato dos sólidos com a membrana. Demandam mais energia elétrica do que um sistema de lodos ativados convencional, mas são mais econômicos que os demais processos de ultrafiltração.

Tanto os sistemas MBR quanto os demais sistemas de ultrafiltração convencional apresentam excelente performance no tratamento de efluentes. Entretanto, resta como desafio a busca pela ótima configuração de sistema e controle operacional, visando minimizar os processos de incrustação e obter sistemas cada vez mais eficientes e duráveis, atendendo a padrões de lançamento de efluente cada vez mais exigentes e contribuindo para a despoluição dos corpos receptores.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem por objetivo investigar a aplicabilidade e viabilidade técnico-financeira da implantação de tecnologias de filtração como estágio final do tratamento de esgotos sanitários na cidade de Porto Alegre, usando como estudo de caso a ultrafiltração na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Sarandi, que opera sob responsabilidade do Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

-Comparar tipos de sistemas de ultrafiltração comercialmente disponíveis e que atendam às dimensões/vazões da estação, bem como o nível de remoção de poluentes desejado.

-Avaliar a disponibilidade de potenciais fornecedores de sistemas comerciais e de insumos para a operação e manutenção.

-Avaliar a viabilidade técnica e financeira da utilização de tecnologias de ultrafiltração como estágio final de tratamento de esgotos sanitário na ETE Sarandi.

4 METODOLOGIA

Para a presente análise, é necessário compreender o cenário do saneamento na cidade de Porto Alegre e mais especificamente, do sistema de esgotamento sanitário Sarandi, ao qual a ETE Sarandi pertence; sua inserção na bacia do rio Gravataí, bem como o papel deste na formação do lago Guaíba. Por outro lado, é necessário traçar o perfil das tecnologias de filtração para que seja possível uma análise crítica da aplicabilidade deste tipo de sistema ao tratamento de esgotos da ETE Sarandi.

Desta forma, a metodologia aplicada ao presente projeto consiste em:

- 1- Realizar atualização bibliográfica acerca dos processos de ultrafiltração utilizadas no tratamento de efluentes domésticos, suas vantagens, desvantagens e especificidades da aplicação, em relação a operação e manutenção;
- 2- Apresentar e discutir a problemática da poluição dos corpos hídricos pela ocupação humana, em específico da microbacia do baixo Rio Gravataí, bem como apresentar a situação atual do saneamento na região e o papel do Departamento Municipal de Águas e Esgotos de Porto Alegre neste cenário.
- 3- Realizar pesquisa juntamente ao mercado visando identificar a disponibilidade de fornecedores das tecnologias abordadas, dos insumos e de manutenção para estes sistemas.
- 4- Avaliar o custo de instalação, operação e manutenção dos sistemas abordados, realizando uma análise crítica quanto ao custo benefício destas tecnologias.
- 5- Discutir o uso das tecnologias de ultrafiltração como ferramenta de despoluição dos corpos receptores do esgotamento sanitário de Porto Alegre.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 SANEAMENTO BÁSICO NA MICROBACIA DO BAIXO RIO GRAVATAÍ

A microbacia do baixo Rio Gravataí se constitui na parte final deste, onde deságua no lago Guaíba. Banha os municípios de Gravataí, Cachoeirinha, Canoas, Viamão, Alvorada e Porto Alegre recebendo, por consequência, efluentes industriais e domésticos destas cidades.

A cidade de Porto Alegre tem uma contribuição expressiva na utilização desta porção do rio, por avizinhar ao rio área bastante povoada. Esta área se caracteriza pela ocupação majoritariamente residencial, contando com bairros bastante populosos, vários condomínios, conjuntos residenciais e prédios. Por esta razão, pode-se afirmar que o impacto da cidade de Porto Alegre nesta porção do Rio Gravataí é causado em sua grande maioria pelos esgotos domésticos, cujo manejo é de responsabilidade do DMAE.

A poluição decorrente de efluentes domésticos é nociva em diversos aspectos. A veiculação de doenças pelos corpos hídricos é uma problemática que ainda hoje aflige comunidades pelo mundo todo, inclusive no Brasil. Este é um impacto direto da falta de saneamento básico na saúde pública e a principal preocupação dos governos quando o assunto saneamento básico vem à tona. A nocividade da falta de condução e tratamento dos efluentes sanitários é potencializada pela deficiência no tratamento da água. É estimado que cerca de 35 milhões de brasileiros ainda não tem acesso à água tratada, e 100 milhões não possuem coleta de esgoto (SNIS,2022). No ano de 2021, o Brasil teve mais de 130 mil internações por doenças de veiculação hídrica (DATASUS,2021).

O esgoto não coletado das residências acaba alcançando redes pluviais, arroios e por fim os rios da bacia em que estas estão inseridas. Neste percurso, torna os arroios e rios impróprios para o contato, através da multiplicação dos organismos patogênicos pelas condições adequadas de nutrientes e umidade. Tem potencial para infectar seres humanos tanto diretamente como através de animais que tem contato com esses locais. Por fim, exaurem a capacidade destes corpos hídricos de manter formas de vida mais complexas, através do consumo do oxigênio dissolvido na água.

No ecossistema, o lançamento de efluentes não tratados tem efeitos devastadores. Embora normalmente não possuam substâncias particularmente tóxicas a qualquer forma de vida terrestre ou aquática, os efluentes sanitários contam com uma carga orgânica elevada. Associada ao grande volume decorrente dos grandes centros urbanos, leva aos corpos receptores uma quantidade de substrato que este não é capaz de depurar.

Os esgotos contêm grandes quantidades de substâncias orgânicas complexas, provenientes da digestão dos seres humanos, bem como alimentos e outros materiais. Estas substâncias, que são a anteriormente citada carga orgânica, são normalmente degradadas por microrganismos, predominantemente bactérias, até a completa oxidação destes compostos. No meio ambiente, as bactérias que realizarão esta degradação são majoritariamente aeróbias, o que, com carga orgânica em excesso e a conseqüente proliferação destas bactérias, consumirá o oxigênio dissolvido disponível no corpo hídrico. Este quadro se agrava à medida que aumenta a carga orgânica lançada, resultando em uma gradual diminuição da diversidade da fauna e posteriormente da flora daquele ecossistema, na ordem da necessidade destes organismos pelo oxigênio dissolvido no corpo receptor. Este efeito é mais aparente em situações onde efluentes industriais, com volume reduzido, mas carga orgânica altíssima é despejado irregularmente em rios, resultando em massiva morte de peixes. Embora os efluentes domésticos causem esses efeitos, a carga orgânica destes é menos concentrada, o que torna estes efeitos mais crônicos.

A exposição frequente dos cursos d'água às cargas orgânicas provenientes de efluentes sanitários geram, de forma mais crônica, desequilíbrios nos ecossistemas, modificando diversas características destes. A presença constante de substrato para a proliferação de bactérias e o exaurimento do oxigênio dissolvido e conseqüente eliminação de formas de vida complexas como peixes e outros animais privilegia o crescimento de organismos que em circunstâncias normais teriam sua população controlada. Essa situação é denominada de eutrofização.

Os indicadores do baixo Rio Gravataí apontam para uma poluição de característica predominantemente doméstica, evidenciado pelos elevados valores de *E. Coli*, conforme anteriormente apresentado. Essa afirmação é corroborada pelos dados de cobertura de redes coletoras de esgoto no SES Sarandi, que correspondem a cerca de 27% do sistema. Considerando uma população de aproximadamente 250mil pessoas no sistema, podemos estimar que o esgoto gerado por cerca de

185mil pessoas alcança o baixo Rio Gravataí sem tratamento. Considerando uma contribuição de 50g de DBO por habitante por dia (Von Sperling,2012), é possível estimar que chegam ao corpo receptor 9,25 toneladas de carga orgânica por dia.

O tratamento dos efluentes doméstico, através de ETEs diminui de maneira expressiva a quantidade de carga orgânica a chegar no corpo receptor, além de eliminar a chegada de patógenos a este. Estações como a ETE Sarandi removem cerca de 95% da carga orgânica que recebe, percentual que, se aplicado à estimativa realizada anteriormente, reduziria a carga orgânica recebida pelo rio por dia em 8,79 toneladas por dia.

Fica evidente que o principal desafio da cidade de Porto Alegre no tocante à diminuição e despoluição do Rio Gravataí passa majoritariamente pelo aumento da capacidade de coletar o esgoto sanitário e conduzi-lo às ETEs. Universalizar a coleta de esgoto é fundamental e questão de saúde pública, e deve ser prioridade dos gestores públicos na obtenção e utilização de recursos para este fim.

Entretanto, em um cenário onde a totalidade dos esgotos domésticos do SES Sarandi fosse coletado e destinado à ETE Sarandi, esta não teria capacidade para atender à demanda. Seria necessária a implementação dos módulos previstos para a estação para isso, o que depende, além do recurso disponível, da resolução de questões técnicas relacionadas às tecnologias previstas para os módulos e que se mostraram pouco eficazes no módulo operante e também ao lançamento do efluente tratado no corpo receptor.

O módulo operacional da ETE Sarandi no momento atende a cerca de 20% do SES, o que o coloca como importante agente no saneamento básico do sistema, apesar da cobertura de rede limitada. Agir no sentido de tornar a ETE mais eficiente tem, além do impacto direto na qualidade do efluente tratado e melhora nos indicadores do Rio Gravataí, potencial para servir de modelo para a implementação dos demais módulos, através do uso de tecnologias testadas e aprovadas naquele sistema.

5.2 ETE SARANDI-PARTICULARIDADES E DESAFIOS

A ETE Sarandi foi idealizada como uma estação modular, projetada para possuir seis módulos. O tratamento preliminar foi projetado para ser dividido por dois módulos, bem como o sistema de desidratação do lodo. Cada módulo seria constituído por um reator UASB, seguido de dois reatores aeróbios dividido em áreas anaeróbia, anóxica e aeróbia, além de dois decantadores circulares. Foi prevista coagulação do lodo por cloreto férrico ou sulfato de alumínio e desinfecção através da geração *in situ* de dióxido de cloro. Na desidratação, o lodo seria adensado através de um flotor e posteriormente por centrífugas. Os seis módulos teriam capacidade para tratar 958 L/s de esgoto.

Até o presente momento um módulo foi executado e está em operação desde 2015. No processo de implantação e estabelecimento da rotina de operação, várias das tecnologias idealizadas se mostraram inadequadas às condições da estação, como o flotor, por exemplo, que deixou de ser utilizado. Por questões relacionadas a orçamento algumas estruturas não foram concluídas a ponto de serem utilizadas, como os reatores UASB. A coagulação e desinfecção ainda não foram implementadas.

Questões externas à ETE também influenciaram na implementação das tecnologias. O principal exemplo e característica importante é a carga orgânica afluyente à estação. Devido à baixa cobertura de rede e alto índice de infiltração nas mesmas, a estação recebe uma carga orgânica menor do que a estimada em projeto, além de apresentar variações expressivas na carga recebida em eventos como chuvas fortes. Este aspecto diminuiu, por exemplo, a necessidade de operar o reator UASB, uma vez que sua função seria o abatimento da carga orgânica recebida. Caso fosse posto em operação, na situação atual não haveria carga suficiente para manter o sistema, visto que para a correta operação e devida depuração do esgoto é necessário manter equilibradas as condições para que as colônias de microrganismos de interesse se estabeleçam. O mesmo se aplica aos sistemas de coagulação e desinfecção, pois na situação atual de operação o ganho de performance do sistema não seria interessante frente ao investimento em produtos químicos necessário.

Um fator que é característico de ETEs municipais e que é bastante potencializado pela situação das redes do SES Sarandi é a variabilidade de vazão e

carga orgânica. A estação como um todo se comporta como um organismo e como tal, a estabilidade é fundamental para manter os equilíbrios necessários para otimizar os resultados da estação. Quanto mais robusta a carga orgânica normalmente recebida pela estação, melhor ela absorve eventos adversos, como paradas para manutenção, chuvas volumosas, faltas de energia e obstruções nas redes.

Assim sendo, a ETE Sarandi acaba sofrendo bastante nestas circunstâncias, e isso se reflete nos resultados da estação. Na maior parte do tempo, a estação lança um efluente de ótima qualidade, atendendo a toda a legislação ambiental. Entretanto apresenta episódios de perda de sólidos no efluente e momentos em que a qualidade do efluente diminui significativamente.

Levando em consideração que estas variações de vazão e carga afetam todas as ETEs, em especial a ETE Sarandi, foi proposta a adoção da ultrafiltração. Caso econômica e tecnicamente viável, os sistemas de ultrafiltração podem equipar os demais módulos da ETE Sarandi e podem ser adaptados nas demais ETEs do DMAE, para que se caminhe na direção da despoluição do rio Gravataí e do Lago Guaíba.

5.3 SISTEMAS DE ULTRAFILTRAÇÃO DISPONÍVEIS COMERCIALMENTE

Para a realização do presente trabalho foram realizadas buscas em empresas de equipamentos para saneamento que forneceram/fornecem produtos ao DMAE, além de buscas na internet. Dado o caráter comercial das propostas, a divulgação das mesmas não é permitida, sendo seu conteúdo confidencial. Por essa razão não é possível entrar em detalhes como seria ideal. Entretanto, as informações atendem ao propósito do presente trabalho, que tem um enfoque muito mais qualitativo do que quantitativo. Devido à citada confidencialidade, os valores propostos serão aproximados e as particularidades dos produtos oferecidos não serão descritos.

Nas buscas por fornecedores de sistemas comerciais de ultrafiltração a primeira impressão obtida é a escassez. Infelizmente é limitado o número de fornecedores para equipamentos voltados ao saneamento em geral. Sendo os sistemas de ultrafiltração uma tecnologia pouco difundida no Brasil, mais ainda ficam escassas as fontes. Os fornecedores disponíveis atuam no tratamento de água, tendo muito pouca expertise no uso da tecnologia em saneamento.

Nas consultas às empresas foram passadas algumas informações básicas sobre a qualidade do efluente, vazão média e total da ETE e qualidade de efluente desejada.

Das empresas consultadas apenas duas apresentaram sistemas que poderiam atender às necessidades da ETE. Uma das empresas fornece sistemas de ultrafiltração convencional, onde o efluente da ETE, após a saída do decantador seria bombeado através dos módulos de ultrafiltração, passando antes por filtros de maior abertura. Os filtros preliminares possuem poros de 200 μm , enquanto as membranas de ultrafiltração (UF) contam com abertura de 0,01 μm e superfície de filtração de 90 m^2 .

O sistema ofertado é equipado com membranas em fibra oca de PVDF, e trabalha com a pressão transmembrana (PTM) normal de 200kPa e máxima de 300kPa, com fluxo de fora para dentro. Além disso o sistema conta com um grupo motor bomba centrífuga com potência de 150cv, três filtros preliminares, 88 módulos de membranas de UF bem como um grupo motor bomba de 100cv de potência para backwash, além de tanques de armazenamento e bombas dosadoras para os produtos químicos necessários para a limpeza dos módulos. Também integra o sistema um reservatório de 20 m^3 para armazenamento de água para a lavagem e um bombeamento com potência de 50cv, além do painel elétrico e instrumentos como medidores de vazão e pressão.

Quanto à operação, é proposto que seja realizado backwash com o próprio filtrado por 30 segundos a cada 30 minutos. As limpezas CIP teriam periodicidade bimestral ou trimestral. Estas limpezas utilizariam hipoclorito de sódio 12,5%, ácido cítrico 50%, ácido fosfórico 85%, hidróxido de sódio 25% e bissulfito de sódio 38%.

O custo aproximado de implementação do sistema, com a instalação e sem levar em consideração eventuais mudanças necessárias na saída da ETE foi estimado em R\$ 6.300.000,00 (seis milhões e trezentos mil reais). O custo operacional estimado, contendo o consumo energético, de reagentes e de reposição de membranas foi de cerca de R\$ 400.000,00 (quatrocentos mil reais) por ano. Cada membrana possui área de filtração de 90 m^2 e apresenta custo unitário aproximado de R\$ 18.000,00 (dezoito mil reais). Cerca de 50% do custo operacional se refere ao gasto de energia.

O sistema de UF ofertado possui como aspecto interessante o fato de demandar poucas alterações na infraestrutura da ETE. Basta interligar a saída dos

decantadores ao sistema e este à tubulação de saída. Há espaço disponível na estação para a instalação do sistema e de seus tanques de armazenamento. Embora desejável para melhorar a performance e durabilidade das membranas, não é exigido o uso de coagulantes antes do sistema de UF. Tecnicamente o sistema seria de execução relativamente simples, embora de custo elevado.

Além do sistema de UF convencional, foi proposto um sistema MBR para a instalação na ETE Sarandi. O fornecedor contatado trabalha com as membranas, e utiliza empresas parceiras para fornecer os demais equipamentos e mão de obra. Por esta razão, e pelo fato deste sistema demandar alterações mais significativas no processo não foi possível obter o orçamento em tempo hábil para a conclusão do presente trabalho. Apesar disso, o dimensionamento e estudo da viabilidade e custo deste sistema em particular continua sendo executado.

Os pontos da tecnologia de MBR que se destacam em relação à ultrafiltração convencional são o consumo menor de energia e o fato de estes sistemas operarem com teores de sólidos muito mais elevados do que os lodos ativados convencionais. Isto otimiza a utilização dos tanques de aeração, tornando a estação capaz de tratar mais esgoto utilizando os mesmos tanques. Além disso, com o MBR não há necessidade da utilização dos decantadores, o que libera as estruturas executadas para o uso como reservatórios para limpeza, evitando o custo da implementação de tanques novos. A Figura 16 apresenta um dos módulos da EPAR Capivari II da SANASA de Campinas, em que se utiliza um sistema MBR. Arranjo bastante similar ao que se propõe na ETE Sarandi.

Figura 16 Módulo da EPAR Capivari II da SANASA em Campinas utilizando o sistema MBR



Fonte: GASPERI (2018)

No caso específico da ETE Sarandi, o controle da quantidade de sólidos no decantador (altura da manta de lodo) através da recirculação é um ponto crítico da operação. No cenário atual, a equipe precisa atentar para que a manta de lodo não suba e conseqüentemente se percam sólidos no efluente. Na hipótese da instalação do sistema de UF convencional o controle da manta de lodo no decantador continua necessário, pois a saída excessiva de sólidos pode sobrecarregar e diminuir a vida útil dos filtros e membranas. O sistema MBR possui a vantagem de eliminar esse controle, facilitando a operação e a tornando mais suscetível à automatização.

5.4 DISCUSSÃO

Apesar dos poucos dados com respeito ao custo da implantação dos sistemas de UF e das limitações quanto à confidencialidade dos dados obtidos, é possível analisar perspectivas quanto à viabilidade do uso destas tecnologias. Existem diversas variáveis que tornam uma análise técnico-econômica uma tarefa que demanda muito mais do que o tempo de execução de um projeto de conclusão de curso de graduação.

O tratamento de efluentes domésticos é desafiador por suas características, que diferem consideravelmente de efluentes industriais. Os esgotos se caracterizam por elevados volumes, carga orgânica baixa e com alta variabilidade em comparação com os efluentes industriais.

O uso de tecnologias de UF para o tratamento de esgotos domésticos no Brasil ainda é bastante limitada. Segundo o Atlas Esgotos 2020 da Agência Nacional de Águas (ANA), no Brasil operam 4ETEs com tecnologias de ultrafiltração, sendo uma com sistema MBR. Como exemplo é possível citar a EPAR (Estação produtora de Água de Reuso) Capivari II, da SANASA em Campinas, SP. A Estação tem capacidade para o tratamento de 365L/s, apresentando excelentes resultados, segundo dados de 2012 a 2017 da SANASA, como remoção de carga orgânica superior a 99,7%, de nitrogênio total na ordem de 98,8% e sólidos suspensos totais acima de 99,2%, além de um valor de *E. Coli* e Coliformes termotolerantes próximo a zero (GASPERI, 2018). A remoção de fósforo, no entanto foi da ordem de 70,9%, ficando abaixo dos 75% de remoção citados na licença de operação da ETE Sarandi de Porto Alegre.

A remoção de fósforo é um ponto crítico no caso de Porto Alegre, pois a bacia do baixo Gravataí e Lago Guaíba possuem naturalmente níveis mais altos de fósforo, o que favorece o eutrofismo. Através do controle das condições operacionais, é possível minimizar a emissão de fósforo mesmo na configuração atual das ETEs. Entretanto, na configuração atual não é possível evitar eventos de perda de sólidos e consequente emissão de fósforo acima do exigido em licença. Neste ponto em específico a ultrafiltração convencional, por alterar menos o sistema atual parece mais adequada a este fim. As condições de sólidos nos tanques de aeração são controladas para favorecer a remoção de nutrientes, em especial o fósforo. O controle do tempo de retenção de sólidos é um parâmetro fundamental neste controle, pois o fósforo é assimilado pelos microrganismos, ficando retido no lodo e sendo retirado do sistema

de forma mais eficiente. O fósforo não assimilado fica em solução, não podendo ser removido mesmo com membranas. Um sistema MBR trabalha com um teor muito mais elevado de sólidos, o dobro aproximadamente, além de conseqüentemente impactar no tempo de retenção dos sólidos. A assimilação do fósforo pelos microrganismos (pelo lodo) aumenta com a remoção de carga orgânica mas diminui com o tempo de retenção. Isto torna desafiadora a retirada de fósforo através de sistemas MBR. Assim sendo, são necessários estudos para certificar que o uso deste sistema poderia remover fósforo de forma estável e eficiente, seja através de estratégias de controle operacional ou através da adição de coagulantes.

É importante também analisar que mesmo com um sistema como a ultrafiltração serão necessárias adaptações no sistema da ETE, visando otimizar os resultados e a durabilidade das membranas, pelos custos das próprias e pelo custo energético, que é o mais elevado custo operacional e que está diretamente relacionado à pressão transmembrana (PTM). Sem os devidos cuidados, a PTM tende a aumentar com as incrustações, tornando necessário o uso cada vez maior de energia para atender à vazão da ETE. A ativação do sistema de coagulação da ETE é desejável e necessária para qualquer modalidade de ultrafiltração, implicando em custos que não estão previstos nas propostas comerciais. Além disso, com o uso de coagulantes a tendência é uma geração maior de sólidos, impactando também nos custos de disposição do lodo da ETE.

O tratamento primário da ETE precisa também de adequações, de forma a minimizar a chegada de sólidos que podem causar danos às membranas. A ETE Sarandi conta com uma peneira de abertura 3mm. Para uma separação adequada ao sistema de membranas, os fabricantes sugerem peneiras com abertura de no máximo 2 mm, implicando na troca deste equipamento, que possui um valor elevado.

Em suma, embora em declínio, o custo de implantação e operação de um sistema de ultrafiltração, convencional ou MBR continua elevado. Além disso, são necessários estudos práticos do comportamento destes sistemas nos efluentes da cidade de Porto Alegre, dadas as particularidades dos próprios efluentes, das redes coletoras e do clima. Tecnologias de ultrafiltração em efluentes, por ainda demandarem investimentos significativos, têm o reuso como fator determinante para a viabilidade da operação, prosperando principalmente em locais onde há escassez de água. Esta é uma limitação no caso de Porto Alegre, que felizmente tem este recurso em abundância. É possível também avaliar a utilização de sistemas com

membranas com abertura maior, caracterizando a microfiltração. Embora apresentem menor potencial de reter partículas, representam inegavelmente um ganho de performance com custos de implantação e operação reduzidos em relação à ultrafiltração.

Outro ponto importante é que as licenças de operação das ETEs são propostas com base nas tecnologias em uso pelas companhias de saneamento. Não há sentido em exigir em licença níveis de remoção de nutrientes que a planta não tem condições técnicas de alcançar. Por esta razão, implementar um sistema que melhora o tratamento da forma que a ultrafiltração promete, com o custo que possui também não encontra justificativa no ordenamento legal.

A implantação de sistemas como este encontra sua justificativa no fato de fornecer estabilidade à operação, evitando os eventos de perda de sólidos e de consequente qualidade aos quais os processos em atividade estão sujeitos. Além disso, sistemas como os propostos neste trabalho favorecem a automatização das estações, resultando em eficiência e em redução de custos em relação à pessoal e à segurança. Sobretudo, o ganho de eficiência das estações de tratamento de esgoto traz inegável benefício aos corpos receptores, especialmente em bacias altamente poluídas como a do baixo Rio Gravataí.

Aliado à cobertura de rede adequada, a adoção de sistemas de ultrafiltração tem potencial para impactar de maneira significativamente positiva a bacia do baixo Rio Gravataí, melhorando a qualidade de um dos rios mais poluídos do país e contribuindo para a melhora do lago Guaíba, impactando no ambiente e na captação de água para a cidade, diminuindo custos de tratamento da água distribuída.

6 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA PROPOSTA

6.1 ECONOMICO E AMBIENTAL

Dentre as diferentes tecnologias disponíveis para o tratamento de efluentes sanitários, a ultrafiltração se apresenta como uma alternativa bastante eficiente, podendo ser dimensionada de acordo com a qualidade que se deseja para o efluente. Sendo um processo físico, tem potencial para retirar desde sólidos coagulados até macromoléculas, inclusive micro plásticos, que tem ganhado destaque pelo seu potencial de circulação na natureza e que são, em grande parte, gerados nas residências.

A caracterização e estudo da aplicabilidade de tecnologias para o uso como estágio final em estações de tratamento de esgoto é forma de nortear e otimizar os investimentos da cidade, o que redundará em economicidade para a administração pública e qualidade de vida para a população, através da consequente melhoria do ambiente em que vivem.

Apesar dos avanços obtidos nos últimos anos, uma parcela significativa dos esgotos da cidade de Porto Alegre ainda é lançada *in natura* nos corpos hídricos e isso é um desafio para o Departamento Municipal de Águas e Esgotos para os próximos anos. Juntamente com a devida coleta e destinação dos esgotos domésticos é vital a adequação das estações de tratamento de esgoto existentes na cidade para não só atender à demanda resultante como também entregar um efluente com cada vez mais qualidade e atendendo a padrões de emissões cada vez mais exigentes.

A tecnologia da ultrafiltração tem se tornado uma alternativa viável para o tratamento de efluentes domésticos, pois a tecnologia de confecção das membranas e estratégias de operação tem permitido um consumo cada vez menor de energia, principal custo operacional, e diminuído os custos de implantação. Embora o uso destas tecnologias no tratamento de efluentes ainda seja restrita, especialmente a locais onde há necessidade de reuso da água, é promissora a proposta da utilização da mesma visando à despoluição dos corpos hídricos.

Apesar de não tenha sido possível realizar o orçamento do sistema MBR, é possível estimar seu custo em relação ao sistema de ultrafiltração convencional. Analisando o dimensionamento dos fornecedores dos dois sistemas, pode-se observar que ambos utilizam maquinário e insumos semelhantes, o que aproxima seu

custo. O sistema MBR, embora trabalhe com uma pressão transmembrana menor (e conseqüentemente demande um bombeamento de permeado de menor potência), necessita utilizar os sopradores do tanque de aeração para operar, o que representa um aumento no consumo de energia em relação ao sistema de lodos ativados atualmente em operação. Além disso, as membranas ofertadas para o sistema MBR têm capacidade de filtração menor em relação ao sistema concorrente (50L/m² contra 90 L/m²), o que aumenta a necessidade de membranas na configuração MBR. Supondo custos de membrana semelhante e levando em consideração que o custo destas impacta fortemente no custo de implantação, é razoável supor que o custo de implantação do sistema MBR vá se apresentar superior ao da ultrafiltração convencional, embora nos custos operacionais essa tendência deva se inverter. A necessidade de adequar o tratamento preliminar também impacta nos custos de implantação do sistema MBR, uma vez que essa adequação é fundamental para este sistema, enquanto que para o sistema de ultrafiltração convencional é desejável, mas não indispensável. Quanto à implementação, o sistema MBR traz como vantagem o aproveitamento dos decantadores instalados como reservatórios, diminuindo este custo em relação ao sistema convencional.

A implantação de sistemas de ultrafiltração apresenta um custo bastante localizado, enquanto seus benefícios se apresentam de forma difusa. Embora apresente custos de implantação relativamente elevados, a operação destes sistemas pode impactar positivamente nos custos com pessoal (através da automatização das estações), no meio ambiente e até mesmo no tratamento de água da cidade. Recuperar o Rio Gravataí e o Lago Guaíba além do óbvio benefício ambiental tem potencial benéfico para questões como a utilização do lago pela população, através da melhora da qualidade das águas. Por sua vez esta utilização pode gerar grande melhora na qualidade de vida das pessoas que vivem do lago, seja através da pesca ou de comércios à beira do lago.

O tratamento de esgotos domésticos possui um papel fundamental na conservação e boa utilização dos corpos hídricos e é vital a adoção de medidas para a conscientização da sociedade quanto a este papel. Uma sociedade ciente da importância de cuidar de seus rios e lagos certamente veria a melhora do tratamento de esgotos como algo vantajoso, e não como um custo a ser evitado.

6.2 NA CADEIA TECNOLÓGICA

Fundamentalmente, a adoção de uma técnica como a ultrafiltração é um passo gigantesco no tratamento de esgotos domésticos, tanto na cidade de Porto Alegre como no estado e no país. Como anteriormente discutido, essa tecnologia é de uso bastante restrito no Brasil e tem indiscutível impacto positivo em termos de desempenho. Representa uma evolução técnica significativa, levando o tratamento de efluentes a um outro patamar de qualidade.

Embora existam questões mais fundamentais no saneamento básico da cidade que exigem prioridade em sua adequação, o estudo e posterior adoção de tecnologias avançadas de tratamento como a ultrafiltração, tanto em sua configuração convencional como em sistemas MBR representa um marco técnico na história do tratamento de esgoto da cidade de Porto Alegre, comparável às primeiras ETEs instaladas nos anos 80, à inauguração da ETE São João Navegantes, em 2000, com uma capacidade muito maior e com mais tecnologia em relação às anteriores e à inauguração da ETE Serraria em 2015, uma das maiores da América Latina e consequente condução e tratamento do esgoto de grande parte da cidade, que alcançava o lago Guaíba sem tratamento.

A adoção bem-sucedida de um sistema de Ultrafiltração na ETE Sarandi representa, além da mudança de patamar na qualidade do efluente gerado por esta estação, um modelo, tanto para os necessários módulos da própria ETE Sarandi quanto para as demais ETEs da cidade, contribuindo significativamente para a despoluição do lago Guaíba e Rio Gravataí e para o avanço das tecnologias de tratamento de efluentes na cidade de Porto Alegre.

7 CONCLUSÃO

Da elaboração do presente projeto tecnológico vem muito aprendizado quanto à tecnologia da ultrafiltração e seu uso no tratamento de esgotos. Uma vez que se trata de uma tecnologia utilizada em contexto diverso do observado na cidade de Porto Alegre e que apresenta uso ainda bastante restrito, se faz necessário um olhar crítico tanto ao analisar a bibliografia disponível quanto no contato com fornecedores. A correta análise dos contextos de utilização atual e das necessidades do processo na ETE Sarandi é fundamental para evitar equívocos.

Destas análises restam como sistemas aplicáveis na ETE Sarandi, por capacidade de atender às dimensões da ETE e por seu desempenho os sistemas de ultrafiltração convencional e os sistemas MBR. Enquanto a ultrafiltração convencional mantém a estação com uma configuração mais próxima da atualmente instalada, tendo como vantagem uma menor probabilidade de impacto negativo nos processos já consolidados, o sistema MBR implicaria em uma mudança na operação da ETE como um todo, tornando mais necessário um estudo deste impacto no resultado global da ETE (especialmente na remoção de fósforo). Por outro lado, o sistema MBR, por trabalhar com uma pressão transmembrana menor, possivelmente traria economicidade na questão energética, bem como na possibilidade de uma futura automação.

Quanto à disponibilidade de fornecedores e insumos, é possível concluir que existem fornecedores para as tecnologias propostas, bem como para os insumos utilizados. Por ser uma tecnologia ainda pouco utilizada no país, especialmente para atender as características e vazões envolvidas no tratamento de efluentes domésticos, ainda há bastante espaço para que o mercado torne mais disponível essa tecnologia e insumos para o uso em ETEs. Além disso, com o crescente interesse por tecnologias que atendam a parâmetros ambientais cada vez mais rigorosos e com o potencial da técnica a tendência é a popularização e diminuição dos custos dos insumos à medida que a pesquisa de materiais vá avançando e se obtenham membranas que sejam mais resistentes às incrustações, mais duráveis e que impliquem em consumo menor de energia.

Em suma, a tecnologia da ultrafiltração se apresenta como alternativa viável para o uso como estágio final de tratamento da ETE Sarandi do DMAE de Porto Alegre. Embora um estudo mais aprofundado dos impactos da implementação destas

tecnologias se faça necessário, especialmente no caso dos sistemas MBR, a tecnologia da ultrafiltração apresenta valores de implementação e operação que vem diminuindo com o tempo, permitindo uma projeção favorável para o futuro. Sua aplicabilidade em outros contextos deixa claro que não se trata de uma tecnologia que cairá em desuso, ou que vá se tornar progressivamente mais dispendiosa. A ultrafiltração indiscutivelmente representa um grande progresso técnico no tratamento de efluentes e traz consigo a perspectiva de automatização, além de praticamente eliminar a variabilidade na qualidade do efluente e contribuir para a despoluição das bacias hidrográficas, no caso específico, do baixo Rio Gravataí.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL AANI,S. et al. Ultrafiltration membranes for wastewater and water process engineering: A comprehensive statistical review over the past decade. **JournalofWaterProcessEngineering**. 2020, 35, 1012

BRASIL.**Enquadramento Dos Corpos De Água Em Classes**.Gestão das águas Brasília, DF: ANA, 2023. Disponível em: < <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos/enquadramento-dos-corpos-de-agua-em-classes>>. Acesso em: 23/08/2023.

BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm Acesso em: 14/08/2023.

BRASIL. **Lei nº 11445**, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm Acesso em: 23/08/2023.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 430**, de 13 de maio de 2011. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/CONAMA/RE0430-130511.PDF> Acesso em 23/08/2023.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2005. Disponível em: http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf Acesso em 23/08/2023

BRASIL.**Sistema Nacional de informações em Saneamento (SNIS)**.PainelBrasília, DF:, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/es> Acesso em: 14/01/2024

BRASIL.**Sistema de informação do Sistema único de Saúde (DATASUS)**Brasília, DF:, 2021. Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/>Acesso em: 14/01/2024

BOURSCHEID, A.J., **Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí**: Relatório Final. Porto Alegre, RS:2012. Disponível em: <http://www.riogravatai.com.br/index.php/comite-gravatahy-documentos/category/3-plano-de-bacia> .Acesso em: 23/08/2023.

CHAO, G., et al. A Review Of Ultrafiltration And Forward Osmosis: Application And Modification.**IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, 2018, 128, 012150.

GASPERI,R.L.P.**Experiência de Campinas –SP na Produção de água de reuso EPAR Capivari II-SANASA**. Espaço Consórcio PCJ-8º Fórum Mundial de água ,Painel 7-Sistemas de tratamento e reuso de água. Brasília DF:2018. Disponível em:

<https://agua.org.br/novosite/wp-content/uploads/2018/03/Painel-7-Renata-de-Gasperi-1.pdf> Acesso em 13/01/2024.

FEPAM. **Qualidade Da Água Superficial Nas Regiões Hidrográficas Do Rs (Guaíba, Litoral E Uruguai)**. Relatório Técnico. Porto Alegre, RS:2023. Disponível em: <https://fepam.rs.gov.br/relatorios-da-qualidade-da-agua> .Acessado em 23/08/2023.

IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil** : 2015. Rio de Janeiro, RJ:2015. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94254.pdf> . Acesso em: 23/08/2023

LAUTENSCHLAGER, S. R.; **Otimização do processo de ultrafiltração no tratamento avançado de efluentes e águas superficiais**. 226p Tese (Doutorado em Engenharia) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

LEITE, A,E,B (2004). **Simulação do lançamento de esgotos domésticos em rios usando um modelo de qualidade d'água, SisBAHIA®** Dissertação (Mestrado em , Escola Nacional de Saúde Pública, Fiocruz, Rio de Janeiro, RJ, 86 p.

MAESTRI, R.S. **Biorreator à Membrana como alternativa para o tratamento de esgotos sanitários e reuso da água**. 117p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

METCALF & EDDY. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. 5ª ed, Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2016. 1986p

MORAVIA, W.G. **Avaliação do tratamento de lixiviado de aterro sanitário através de processo oxidativo avançado conjugado com sistema de separação por membranas**. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

MOULIN, P., et al. Ultrafiltration as tertiary treatment for municipal wastewater reuse. **Separation and Purification Technology**, 2021, 272, pp.

NEDER, T. F. (2020). **Dimensionamento e Estimativa de Custos de Sistema de Ultrafiltração como Alternativa à Etapa de Flotação por Ar Dissolvido da ETEB Norte**. 119 p. Monografia (bacharel em engenharia civil). Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

PARK, H. et al. **Principles of membrane bioreactors for wastewater treatment**. 1ª ed, BocaRatón, FL: Ed Taylor & Francis Group, 2015

PORTO ALEGRE. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Porto Alegre: Volume 1 Diagnóstico**. Porto Alegre, RS:2015. Disponível em: https://prefeitura.poa.br/sites/default/files/usu_doc/sites/dmae/01_PMSB_Diagnóstico_web.pdf . Acesso em: 23/08/2023

RADER, A.S. **Estudo Teórico-experimental do processo de microfiltração de partículas de sílica em suspensão aquosa**. 105p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2003.

REVISTA ECOS. Porto Alegre. Departamento Municipal de Água e Esgotos, 2022.
Disponível em:

https://prefeitura.poa.br/sites/default/files/usu_doc/sites/dmae/Revista%20Ecos%2060%20anos%20-%20Web%20%281%29.pdf . Acessado em 23/08/2023.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução CONSEMA nº 355. 13 de julho de 2017;

Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201708/16083333-357-2017-colaboracao-iphan.pdf> Acesso em 23/08/2023.

SALIH, I.K. et al. A Mini-Review of Enhancing Ultrafiltration Membranes (UF) for Wastewater Treatment: Performance and Stability. **ChemEngineering** 2021, 5, 34.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Lodos ativados.**, Vol. 4, 3ª ed, Belo Horizonte: Ed UFMG, 2012.46

ANEXO I

Variáveis e seus limites para as classes de enquadramento, segundo a resolução CONAMA 357/2005

VARIÁVEIS	UNIDADE	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4
pH		6 –9	6 -9	6 –9	6 –9
OD	mg/L O ₂	6	5	4	≥ 2
DBO	mg/L O ₂	3	5	10	-
Turbidez	UNT	40	100	100	-
Cor	Pt/L	Natural	75	75	-
Clorofila a	µg/L	10	30		-
Densidade de cianobactérias	cel/mL	20,000	50,000	100,000	-
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	500	500	500	-
Alumínio dissolvido	mg/L Al	0,1	0,1	0,2	-
Cádmio total	mg/L Cd	0,001	0,001	0,01	-
Chumbo total	mg/L Pb	0,01	0,01	0,033	-
Cloreto total	mg/L Cl	250	250	250	-
Cobalto total	mg/L Co	0,05	0,05	0,2	-
Cobre dissolvido	mg/L Cu	0,009	0,009	0,013	-
Cromo total	mg/L Cr	0,05	0,05	0,05	-
Ferro dissolvido	mg/L Fe	0,3	0,3	5,0	-
Fluoreto total	mg/L F	1,4	1,4	1,4	-
Fósforo total (ambiente lêntico)	mg/L P	0,020	0,030	0,05	-
Fósforo total (amb. intermediário)	mg/L P	0,025	0,050	0,075	-
Fósforo total (ambiente lótico)	mg/L P	0,1	0,1	0,15	-
Lítio total	mg/L Li	2,5	2,5	2,5	-
Manganês total	mg/L Mn	0,1	0,1	0,5	-
Mercúrio total	mg/L Hg	0,0002	0,0002	0,002	-
Níquel total	mg/L Ni	0,025	0,025	0,025	-
Nitrato	mg/L N	10,0	10,0	10,0	-
Nitrito	mg/L N	1,0	1,0	1,0	-
Nitrogênio amoniacal total	mg/L N	3,7 para pH ≤ 7,5 2,0 para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 para 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 para pH > 8,5	3,7 para pH ≤ 7,5 2,0 para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 para 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 para pH > 8,5	13,3 para pH ≤ 7,5 5,6 para 7,5 < pH ≤ 8,0 2,2 para 8,0 < pH ≤ 8,5 1,0 para pH > 8,5	-
Prata total	mg/L Ag	0,01	0,01	0,05	-
Urânio total	mg/L U	0,02	0,02	0,02	-
Vanádio total	mg/L V	0,1	0,1	0,1	-
Zinco total	mg/L Zn	0,18	0,18	5,0	-

Fenóis totais	mg/L de C ₆ H ₅ OH	0,003	0,003	0,01	1,0
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1,000	2.500 ^(a) / 1.000 ^(b) / 4.000 ^(c)	-

Fonte: BOURSCHEID,2012