



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**CAMILA BONFIM MIRANDA**

**PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
ESGOTO VISANDO A PRODUÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO PARA INDÚSTRIA**

**CAMPINA GRANDE**

**2017**

**CAMILA BONFIM MIRANDA**

**PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
ESGOTO VISANDO A PRODUÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO PARA INDÚSTRIA**

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como exigência para obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

**Orientador:** Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira.

**CAMPINA GRANDE**

**2017**

M672p Miranda, Camila Bonfim.

Pós-tratamento de efluentes de estação de tratamento de esgoto visando a produção de água de reúso para indústria [manuscrito] / Camila Bonfim Miranda. - 2017.

58 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2017.

"Orientação: Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental".

1. Reúso de água. 2. Tratamento de efluentes. 3. Atividades industriais. I. Título.

21. ed. CDD 628.162

CAMILA BONFIM MIRANDA

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como exigência para obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Aprovada em: 17/08/2017

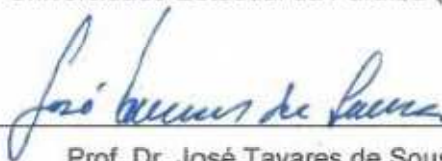
**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. José Tavares de Sousa  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)





## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, o centro e o fundamento de tudo em minha vida, por renovar a cada momento a minha força e disposição e pelos discernimentos concedido ao longo dessa jornada. Serei eternamente grata por ter o privilégio de experimentar e compartilhar da tua soberania. Mesmo eu sendo fraca, o Senhor me fez forte.

À meus pais Nadjoilson Miranda e Sônia Maria e aos meus irmãos Calina Miranda e Hugo Miranda pelo amor, carinho, força e apoio incondicional em todos os momentos. Obrigada pelos sacrifícios que fizeram para que eu chegasse até aqui. A vocês não tenho e nunca terei palavras suficientes para agradecer tudo que fazem por mim. Sem vocês, nada disso seria possível.

À todos familiares que tanto torceram para que esse dia chegasse. Agradeço em especial ao meu tio Severino Maia por todo incentivo e colaboração.

À meu orientador Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira pelos ensinamentos, paciência e atenção, por se dispor a me conduzir neste trabalho. E aos professores participantes da banca examinadora que dividiram comigo este momento tão importante e esperado: Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima e Prof. Dr. José Tavares de Sousa.

À Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgoto Sanitário (EXTRABES), em especial ao Prof. Dr. Adrianus van Handell e aos amigos do laboratório Mariah, Martina, Luciana e Silvânia pela prestatividade, companheirismo e agradável convivência.

Aos meus amigos de curso, em especial a Adriano Oliveira, Isabella Vieira e Thiago Santos, obrigado pela amizade, por todo carinho, paciência e auxílio em todas as horas difíceis. Jamais esquecerei de vocês.

Aos meus primos Martina Maia e Breno Maia por estarem sempre ao meu lado, compartilhando momentos de felicidade, apoio e incentivo.

À todos aqui citados e aqueles aos quais os nomes não apareceram, mas que sabem que fizeram parte desse processo e que muito me ajudaram nessa caminhada o meu muito obrigada.

“Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina.”

Cora Coralina

## RESUMO

Atualmente no Brasil, a escassez e a demanda crescente de uso da água têm gerado preocupação, pois é um recurso vital para a sociedade, daí a importância do reúso da água, que é uma alternativa eficaz para aproveitamento deste recurso, a partir do tratamento de efluentes. O presente trabalho objetivou estudar as técnicas de tratamento para o reúso de água, bem como elaborar uma proposta de pós-tratamento, com a finalidade de produção de água de reúso para aproveitamento industrial. A metodologia utilizada para coleta de dados foi a pesquisa bibliográfica, buscando assim técnicas de pós-tratamento. No presente trabalho foi apresentado uma possível alternativa de tratamento para a recuperação da água, sendo o sistema composto por lagoa de polimento, clarificação, abrandamento e osmose inversa, com a finalidade de remoção de todas as impurezas encontradas no efluente, tendo no fim do tratamento somente água pura. Nesta perspectiva, por meio do estudo realizado e das sugestões apresentadas foi possível constatar que existem inúmeras possibilidades de usos de efluentes tratados em diversos fins na indústria, porém, é necessário a aplicação de tratamentos avançados para adequar os efluentes, de modo que atendam aos requisitos de qualidade exigidos pelas atividades industriais. As alternativas de tratamento propostas neste trabalho promovem melhora significativa no efluente tratado, encontrando-se assim de acordo com os requisitos requeridos da água na indústria.

**Palavras-Chaves:** Reúso de água; Pós-tratamento; Atividades industriais; Efluentes tratados.

## **ABSTRACT**

Actually in Brazil, the scarcity and the increasing demand for water use have generated concern, since it is a vital resource for society, hence the importance of water reuse, which is an effective alternative to use this resource, from the treatment of effluents. The present work aimed to study the treatment techniques for the reuse of water, as well as to elaborate a post-treatment proposal, with the purpose of producing reuse water for industrial use. The methodology used for data collection was the bibliographical research, thus seeking post-treatment techniques. In the present work, a possible treatment alternative for water recovery was presented. The system was composed of polishing lagoon, clarification, relaxation and reverse osmosis, with the purpose of removing all the impurities found in the effluent, having at the end of the treatment pure water only. From this perspective, through the study carried out and the suggestions presented, it was possible to verify that there are many possibilities for the use of treated effluents for various purposes in industry, however, it is necessary to apply advanced treatments to adapt the effluents, so that they meet the requirements of required by industrial activities. The treatment alternatives proposed in this work promote a significant improvement in the treated effluent, thus meeting the required water requirements in the industry.

**Keywords:** Reuse of water; post-treatment; Industrial activities; Treated effluents.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Formas potenciais de reúso de água .....	19
Figura 2: Esquema básico do processo de filtração por membranas.....	28
Figura 3: Representação esquemática dos tipos de filtração por membranas.....	29
Figura 4: Representação dos fenômeno osmose e osmose inversa.....	30
Figura 5: Fenômeno da polarização.....	31
Figura 6: Fluxograma do sistema de tratamento.....	43
Figura 7: Esquema do sistema de lagoa de polimento seguido de clarificação com unidade de coagulação (Co), floculação (Fl), sedimentação (Se), filtração (Fi) e desinfecção (De).....	45
Figura 8: Esquema do sistema de abrandamento químico e recarbonatação, utilizando soda cal para remoção de cálcio e magnésio e recarbonatação com dióxido de carbono.....	46

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Distribuição dos recursos hídricos e densidade demográfica do Brasil....	16
Quadro 2: Benefícios da conservação e reúso da água.....	17
Quadro 3: Tipos de uso, tratamento recomendado e concentração esperada de alguns parâmetros.....	24
Quadro 4: Estratégias de pré-tratamento.....	35
Quadro 5: Características prováveis do efluente da ETE e dá qualidade de água que se deseja para reúso na Coteminas.....	44
Quadro 6: Requisitos mínimos de qualidade para a água de reposição em sistemas de resfriamento e geração de vapor.....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
Ca <sup>2+</sup>	Calcio
CF	Constituição Federal
CIESP	Centro Das Indústrias do Estado De São Paulo
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
Co	Coagulação
CO <sub>2</sub>	Dióxido De Carbono
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
De	Desinfecção
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ED	Eletrodiálise
ETE	Estação De Tratamento de Esgoto
FeCl <sub>3</sub>	Cloreto Férrico
Fi	Filtração
FIESP	Federação Das Indústrias do Estado De São Paulo
FI	Floculação
GAC	Carvão Ativado Granular
MF	Microfiltração
Mg <sup>2+</sup>	Magnésio
N	Nitrogênio
NA	Não Analisado
NF	Nanofiltração
NH <sub>3</sub>	Amônia
OI	Osmose Inversa
OMS	Organização Mundial da Saúde
OR	Osmose Reversa
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogênionico
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PO <sub>4</sub>	Fósforo
PSM	Processos de Separação por Membranas
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
Se	Sedimentação
SST	Sólidos Suspensos Totais
UF	Ultrafiltração



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1 OBJETIVOS .....	14
1.1.1 Objetivo Geral .....	14
1.1.2 Objetivos Específicos .....	14
<b>2. REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	15
2.1 A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA E SUA DISPONIBILIDADE .....	15
2.2 REÚSO DE ÁGUA .....	17
2.2.1 Reúso de água na indústria .....	20
2.2.2 Legislação .....	21
2.3 SISTEMAS DE TRATAMENTO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁGUA .....	22
2.3.1 Processos de separação de membranas .....	26
2.3.1.1 <i>Osmose inversa</i> .....	29
2.3.2 Processos de pré-tratamento para osmose inversa .....	34
2.3.2.1 <i>Lagoas de polimento</i> .....	36
2.3.2.2 <i>Clarificação</i> .....	37
2.3.2.3 <i>Abrandamento</i> .....	39
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	42
<b>4. PROPOSTA DE TRATAMENTO PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO</b> .....	43
<b>5. ESTUDOS ACERCA DOS SISTEMAS DE PÓS-TRATAMENTO DE REÚSO DE ÁGUA PARA APLICAÇÃO EM INDÚSTRIAS</b> .....	48
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	52

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a escassez de água, têm levado a uma preocupação mais abrangente sobre as questões de saneamento, principalmente sobre o destino final e a possibilidade de reúso dos efluentes de estações de tratamento de esgotos, na indústria, agricultura e aquicultura, principalmente nas regiões onde há baixos índices de pluviométricos e escassez de recursos hídricos. No entanto, caso não ocorra tratamento ou o mesmo seja insuficiente, a reutilização de águas residuárias, assim como seu lançamento em corpos aquáticos, poderá acarretar riscos à saúde da população.

O reúso de água surge como uma ferramenta importante para a gestão adequada dos recursos hídricos, em conjunto com o uso racional da água, inclusive vem recebendo crescente atenção em todo o mundo como meio de gestão sustentável da água. De forma geral, o reúso de água busca atrelar as necessidades que a crescente escassez de água possui à possibilidade de usar efluentes de estações de tratamento de esgoto para substituir água doce ou potável em usos menos restritivos da água. De tal maneira que a reutilização da água, além de garantir qualidade e quantidade de água, contribua para aliviar a demanda e preservar o fornecimento desse recurso. Despertando assim o interesse em desenvolver sistemas de tratamento de esgotos para uso desse efluente tratado.

De maneira global, a agricultura é responsável pelo maior consumo de água, seguida pelo abastecimento humano e industrial (MIERZWA; HESPANHOL, 2005). O setor industrial é um importante usuário de água, e deve utilizá-la de forma racional e eficiente (FIRJAN, 2006). Portanto, devido a necessidade de suprir o elevado consumo de água dedicado ao uso industrial, buscou-se outras formas potenciais de oferta de água associados a reúso. Desta forma, uma alternativa para as indústrias é a utilização de efluentes tratados para substituir o uso de água proveniente de recursos naturais ou concessionárias de distribuição.

Contudo, no âmbito industrial existem inúmeras alternativas de aproveitamento de reúso de efluentes tratados, e maioria das vezes, demanda um tratamento suplementar das águas residuárias após o tratamento biológico, dependendo do aproveitamento à que se destina a água de reúso e também da origem dos efluentes que serão utilizados. Portanto, é necessário a aplicação de tecnologias que permita,

com o pós-tratamento do esgoto doméstico, a produção de água que atenda às condições de qualidade necessárias para uso na indústria.

Nas indústrias têxteis há uma demanda considerável de água de alta qualidade para fins de refrigeração. Tendo em vista a situação crítica de abastecimento de água na cidade de Campina Grande - PB e com o intuito de dar uma contribuição para diminuir a demanda, uma alternativa para a indústria seria usar o efluente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da cidade como água bruta. Por meio de tratamento apropriado transformando-o em água que atenda aos requisitos exigidos pelas indústrias. A transformação da qualidade da água produzida na ETE de Campina Grande que se pretende, significa a remoção de todas as impurezas que nela se encontra, tendo no fim do tratamento somente água pura.

Dentro desse contexto, a pesquisa descrita a seguir, tem por objetivo estudar as técnicas de pós-tratamento para o reúso de água na indústria, a partir de efluentes domésticos tratados em Estação de Tratamento de Esgotos, de modo que, a produção de água atenda às condições de qualidade necessárias para a indústria. E a partir destas informações elaborar uma proposta de pós-tratamento com a finalidade de produção de água de reúso para aproveitamento industrial, a partir dos efluentes da Estação de Tratamento de Esgoto de Campina Grande – PB.

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizadas pesquisas bibliográficas e estudo de caso. A pesquisa bibliográfica baseou-se em publicações científicas da área de saneamento. E posteriormente, uma proposta foi elaborada, onde foi possível de forma muito eficaz correlacionar tal conhecimento com abordagens já trabalhadas por outros autores.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo estudar as técnicas de tratamento para o reúso de água na indústria, a partir de efluentes tratados em Estação de Tratamento de Esgotos domésticos de Campina Grande – PB.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar pesquisa literária sobre o reúso de água e as estratégias de reaproveitamento das águas residuárias pelas indústrias.
- Avaliar a partir de dados da literatura, os tratamentos de águas residuárias apresentados pela comunidade científica para o reúso de água.
- Elaborar uma proposta de pós-tratamento com a finalidade de produção de água de reúso para aproveitamento industrial, a partir dos efluentes líquidos da ETE em estudo.

## 2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

### 2.1 A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA E SUA DISPONIBILIDADE

A água é o recurso natural mais importante que se tem, é um bem imprescindível para a vida no planeta. Para Mierzwa (2002), a água é essencial à vida e constitui elemento essencial a quase todas as atividades humanas. Ela é um componente da paisagem e do meio ambiente, e dentre as suas funções e aplicações podem-se destacar: o uso doméstico e industrial, a produção de culturas agrícolas, produção de energia elétrica, a produção industrial de alimentos e demais produtos, além da criação de animais. Enfim, a água está presente em todas as nossas atividades, de forma direta ou indireta.

Porém, por mais que a água seja considerada um recurso natural renovável, não deixa de ser limitado, visto que a disponibilidade de água é reduzida por meio das diversas atividades que necessitem do seu uso. Além disso, outros fatores influenciam na redução da disponibilidade de água, como por exemplo a perda de água por evaporação. Com o aumento da temperatura global, diariamente perde-se grande quantidade de água potável para a atmosfera, que nem sempre retorna ao seu formato físico de origem após as etapas deste ciclo.

Apesar do planeta ser constituído em sua grande maioria por água, a maior parte deste recurso encontra-se na forma de água salgada que constitui os oceanos, restando assim um pequeno percentual aproximado de 30,1% de água doce. O volume de água doce disponível em rios e lagos compreende cerca de 0,007% de todo o resto. Apesar da aparente abundância de recursos hídricos no Brasil (14% das águas doces do planeta e 53% do continente sul americano), sua distribuição natural é irregular nas diferentes regiões do país (FIESP/CIESP, 2004).

O Quadro 1 representa a relação entre a densidade demográfica e a disponibilidade de água entre as regiões do Brasil.

Quadro 1: Distribuição dos recursos hídricos e densidade demográfica do Brasil

<b>Região</b>	<b>Densidade Demográfica (hab./km<sup>2</sup>)</b>	<b>Concentração dos recursos hídricos do país</b>
Norte	4,12	68,50%
Nordeste	34,15	3,30%
Centro-Oeste	8,75	15,70%
Sudeste	86,92	6%
Sul	48,58	6,50%

Fonte: ANA (2010).

A região Norte contém a maior parte da disponibilidade de água do país, no entanto, é a menos habitada. Enquanto as regiões Sudeste e Nordeste apresentam um número bem menor dessas reservas, e com um número elevado de habitantes.

Além do problema de distribuição outros fatores contribuem para a escassez da água, como o desenvolvimento desordenado das cidades, que acarreta a ocupação de áreas de mananciais, provocando assim o esgotamento das reservas naturais. Outro fator importante que determina a quantidade de água disponível para consumo, é a qualidade sanitária deste recurso, que sofre bastante com as contaminações por descarte inadequado de resíduos domésticos e industriais, tornando-o assim cada vez mais escasso.

O setor industrial é também um importante usuário de água, então é fundamental que o seu consumo seja feito de forma sustentável, adotando práticas como o uso racional e eficiente dos recursos hídricos.

As garantias de quantidade e qualidade de água em nossos mananciais, as quais permitirão novos investimentos, expansão da produção industrial e geração de emprego e renda, só poderão ser conseguidas por meio de um amplo esforço do poder público, dos usuários e da comunidade em torno da gestão participativa, descentralizada, harmônica e racional das águas no âmbito dos Comitês de Bacias. As federações e associações de indústrias têm um importante papel no processo de mobilização e representação dos seus filiados nos Comitês (FIESP/CIESP, 2004 v. 1. p. 45).

Levando em consideração que a disponibilidade dos recursos hídricos estar ficando cada dia mais precária, é que se pensou na possibilidade de fazer o reúso da água, seja para uso industrial ou pessoal. Esta prática, por exemplo, pode trazer vários benefícios ambientais, econômicos e sociais conforme pode-se observar no Quadro 2.

Quadro 2: Benefícios da conservação e reúso da água.

<b>Ambientais</b>	<b>Sociais</b>	<b>Econômicos</b>
Redução do lançamento de efluentes industriais em cursos d'água, possibilitando melhorar a qualidade das águas interiores das regiões mais industrializadas das grandes cidades.	Ampliação da oportunidade de negócios para as empresas fornecedoras de serviços e equipamentos, e em toda a cadeia produtiva.	Mudanças nos padrões de produção e consumo.
Redução da captação de águas superficiais e subterrâneas, possibilitando uma situação ecológica mais equilibrada.	Ampliação na geração de empregos diretos e indiretos.	Redução dos custos de produção e Aumento da competitividade do setor.
Aumento da disponibilidade de água para usos mais exigentes, como abastecimento público, hospitalar, etc.	Melhoria da imagem do setor produtivo junto à sociedade, com reconhecimento de empresas socialmente responsáveis.	Habilitação para receber incentivos e coeficientes redutores dos fatores da cobrança pelo uso da água.

Fonte: FIESP/CIESP (2004).

De maneira geral, o reúso de água é capaz de minimizar os conflitos pelo uso da água. Além de preservar a disponibilidade e a qualidade das águas dos mananciais.

## 2.2 REÚSO DE ÁGUA

Tendo em vista o quadro de escassez dos recursos hídricos e a demanda crescente de água, a adoção de estratégias relacionadas ao uso e reaproveitamento vem ganhando destaque. Nessa conjuntura uma prática que vem se tornando cada vez mais comum é o reúso de água. Uma ferramenta de extrema importância para uma adequada gestão dos recursos hídricos, juntamente com o uso racional da água, na busca do controle de perdas e desperdícios, do consumo de água e na redução dos volumes de esgotos produzidos. Para Florencio et al (2006) o reúso de água facilita ao liberar as fontes de água de boa qualidade para abastecimento público e

outros usos prioritários. O uso de esgotos contribui para a conservação dos recursos e acrescenta uma dimensão econômica ao planejamento dos recursos hídricos.

Mancuso e Santos (2003), afirmam que o reúso de água é o processo pelo qual a água passa antes de ser reutilizada, sendo a existência e o tipo do tratamento desta, definido de acordo com as necessidades na qual este efluente tratado vai ser utilizado e de como ele tenha sido usado anteriormente. Mierzwa (2002, p. 136) conceitua reúso de água como "uso de efluentes tratados para fins benéficos, tais como irrigação, uso industrial e fins urbanos não potáveis".

Conforme a Organização Mundial da Saúde (1973) o reúso pode ser classificado em diferentes modalidades, tem-se:

- Reúso direto: ocorre quando os efluentes depois de tratados, são destinados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquíferos e água potável;
- Reúso indireto: ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para o uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída;
- Reciclagem interna: reúso de água em plantas industriais, objetivando economia de água e controle da poluição.

Mancuso e Santos (2003), utiliza-se da classificação definida por Westerhoff (1984), devido sua praticidade e facilidade, segundo a qual existem duas grandes categorias que dividem o reúso em potável e não potável. O reúso potável pode ser dividido em:

- Reúso potável direto: no qual o esgoto tratado retorna ao sistema de abastecimento de água potável para o consumo humano;
- Reúso potável indireto: no qual o esgoto tratado é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição e posteriormente utilizado como água potável.

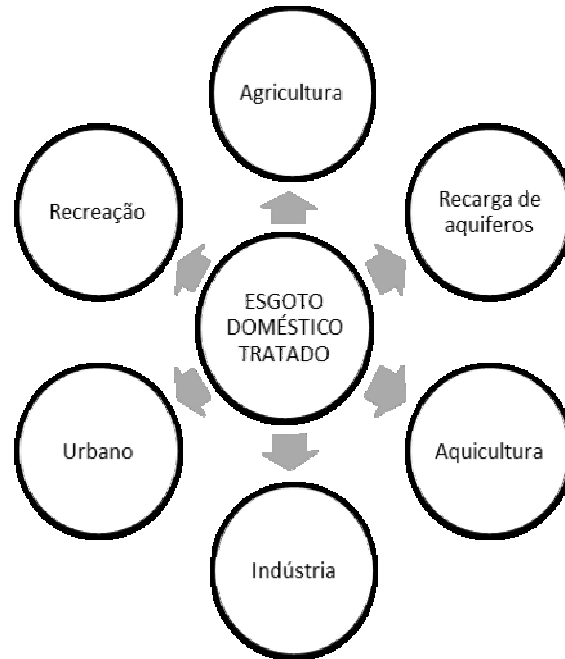
Já o reúso não potável é a utilização do efluente recuperado para fins diferentes do consumo, tais como: agrícola, industriais, recreacionais, domésticos, aquicultura e manutenção de vazões.

De uma maneira geral, o reúso da água pode ocorrer de forma direta ou indireta, decorrentes de ações planejadas ou não planejadas e para fins potáveis e não potáveis. Os tipos de uso, também, estão relacionados às características, condições e fatores locais de onde se deseja utilizar, tais como decisão política,



esquemas institucionais, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais (HESPANHOL, 2002). A Figura 1 apresenta um esquema simplificado dos tipos básicos de usos potenciais de esgotos tratados.

Figura 1: Formas potenciais de reúso de água.



Fonte: Adaptado de Hespagnol (2002).

É importante destacar na Figura 1 as diversas aplicações de águas de reúso. Considerando de forma individual as formas de reúso, alguns exemplos são: urbano, irrigação de áreas verdes, lavagem de ruas; indústria, geração de energia, refrigeração de equipamentos, diversos processos industriais, sistema de incêndio, construção civil; recarga de aquíferos, recarga do lençol freático, regularização de vazão de cursos d'água; agricultura, irrigação de plantas e dessedentação animal; recreação, enchimento de lagoas ornamentais, irrigação de parques e campos de esportes.

Embora existam diversas possibilidades de se aplicar o reúso de água, no Brasil, em busca de se atender a variedade de usos benéficos, os setores que mais utilizam a água de reúso, são as áreas urbanas, indústrias, agricultura e o reúso associado à recarga de aquíferos (MANCUSO; SANTOS, 2003).

### 2.2.1 Reúso de água na indústria

Na indústria, a água é largamente utilizada, seja como matéria-prima nas indústrias de bebidas, produtos de higiene pessoal e limpeza doméstica, alimentos e produtos farmacêuticos, ou também para obtenção de outros produtos, onde a água é utilizada como fluido auxiliar, e para dissipar o calor em torres de refrigeração e caldeiras.

Como alternativas de reúso de água na indústria, existem duas formas a serem consideradas, o reúso macro externo, definido como o uso de efluentes tratados provenientes das estações administradas por concessionárias ou outras indústrias. E outra proveniente de atividades realizadas na própria indústria, que é denominada de reúso macro interno. A adoção do reúso macro interno pode ser de duas maneiras distintas: reúso em cascata e de efluentes tratados.

A forma de reúso que tem sido mais utilizada na indústria é de efluentes tratados, que consiste na utilização de efluentes gerados localmente, após tratamento adequado para a obtenção da qualidade necessária aos usos pré-estabelecidos. Na avaliação do potencial de reúso de efluentes tratados, deve ser considerada a elevação da concentração de contaminantes que não são eliminados pelas técnicas de tratamento empregadas. Já na forma do reúso em cascata, o efluente gerado em um determinado processo industrial é diretamente utilizado, sem tratamento, em um outro subsequente, pois o efluente gerado atende aos requisitos de qualidade da água exigidos pelo processo subsequente.

Existem alguns parâmetros específicos para que a água de reúso seja utilizada na indústria, por isso, é importante um tratamento preliminar adicional, para permitir que a concentração de um poluente específico seja compatível com o processo que o utiliza. A qualidade da água é definida em função de características físicas, químicas, microbiológicas e radioativas (SILVA, 2011).

A FIESP (2004) divulgou por meio do Manual de Conservação e Reúso de Água na Indústria, que a avaliação do potencial de reúso deve ser efetuada posteriormente à fase de gestão da demanda e de reúso em cascata, uma vez que estas ações irão afetar, de forma significativa, tanto a quantidade quanto a qualidade dos efluentes produzidos, podendo comprometer toda a estrutura de reúso que tenha sido implementada anteriormente ao programa de redução do consumo.

### 2.2.2 Legislação

Os processos de reutilização da água estão de acordo com as leis federais, sendo elas encontradas na Constituição de 1988 que estabelece a universalidade dos recursos hídricos, que podem ser federais, no caso de corpos d'água fronteiriços, interestaduais ou que façam divisa entre dois ou mais estados, ou estaduais, se contidos inteiramente em um único estado da federação. Com base na Carta Magna, foi elaborada a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97) que estabelece os seguintes instrumentos de gerenciamento e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamentando os inciso XIX do artigo 21 da CF/88 e altera o artigo 1º da Lei 8.001/90 que já havia modificado a Lei 7990/89 (ABRH, 1997).

A primeira regulamentação que tratou de reúso de água no Brasil foi a norma técnica NBR-13.696, de setembro de 1997. Na norma, o mesmo é abordado como uma opção à destinação de esgotos de origem essencialmente doméstica ou com características similares. Esta mesma norma foi reforçada posteriormente pela Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que estabelece os critérios gerais para a prática de reúso direto de água não potável.

O Brasil possui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que institui a Lei nº 9.433/97 que rege os recursos hídricos, também denominada como Lei das águas. A referida lei estabelece como instrumentos para a utilização dos recursos hídricos: Outorga pelo direito de uso de recursos hídricos; Cobrança pelo uso da água; Enquadramento dos corpos d'água em classes de uso; Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos; Planos de Recursos Hídricos.

Levando-se em consideração os itens que possam se relacionar com a prática de reúso de água, serão apresentados os principais aspectos legais que interferem na gestão dos recursos hídricos:

- Outorga pelo direito de uso de recursos hídricos

Outorga pode ser definido como o mecanismo pelo qual o poder público dá ao usuário uma autorização para se fazer uso do recurso hídrico, por um prazo determinado. Tem como objetivo principal realizar o gerenciamento e controle da qualidade e quantidade da água utilizada, visando garantir a todos os usuários o direito de acesso aos recursos hídricos.

Por meio da outorga é definido quem e como está usando o recurso hídrico, e por meio do mapeamento poder evitar conflitos pelo seu uso. Por meio deste instrumento à cobrança pelo uso da água (DE MIRANDA DIAS et.al, 2017).

A Agência Nacional de Águas (ANA) é a responsável pela emissão de outorgas de direito de uso de recursos hídricos em corpos hídricos de domínio da União, no caso de rios de domínio dos estados e do Distrito Federal, a outorga deve ser solicitada ao órgão gestor de recursos hídricos daquele estado (ANA, 2017).

- Cobrança pelo uso da água

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos, é um instrumento de gestão de recursos hídricos, em especial nas bacias hidrográficas que se encontrem em situação de escassez. Tem como objetivo estimular o uso racional da água, já que a água é um recurso natural finito (esgotável), como também visa gerar recursos financeiros para investir na recuperação e preservação dos mananciais.

Cobrar pelo uso não privatiza o uso da água que é um bem de domínio público. Ela passa a ter maior valor econômico por se tornar escassa, e suas finalidades precisam ser controladas para manter o equilíbrio entre as demandas e disponibilidades hídricas, tanto em relação ao aspecto da quantidade, quanto da qualidade. A cobrança estimula a racionalização do uso da água, pois quanto mais o usuário paga por um bem, mais racional será o seu uso (ANA, 2014).

### 2.3 SISTEMAS DE TRATAMENTO PARA RECUPERAÇÃO DE ÁGUA

A definição do nível de tratamento da água vai depender do seu uso final, pois vai definir o tipo de tratamento adequado para recuperação do efluente, além de medidas de segurança a serem adotados e os custos de operação e manutenção. Ressaltando que a eficiência do projeto está diretamente ligada as condições técnicas adotadas e econômicas (TELLES et al., 2010).

Como descrito por Mancuso e Santos (2003), um sistema de tratamento com enfoque na escolha da tecnologia mais adequada, se dá por uma sequência de processos e operações unitárias de tratamento determinados por três requisitos:

1. Das propriedades do efluente que se deseja tratar;
2. Da qualidade final do efluente que se pretende alcançar com o tratamento;
3. Da eficiência de remoção de cada processo unitário.

Neste contexto, fica claro que é de fundamental importância, identificar o líquido a ser tratado e a determinação dos requisitos mínimos de qualidade para cada reuso, desta forma o sistema de tratamento escolhido deverá apresentar taxas de remoção dos contaminantes compatíveis com as restrições impostas para a aplicação pretendida.

Se tratando de reutilização de água, há uma grande diversidade da fonte, que pode ser desde esgoto bruto até despejos razoavelmente diluídos, como também da própria finalidade a que se destina o efluente tratado, ou tipo de reuso pretendido, é grande também a variedade de sistemas, ou sequências de processos possíveis de ser concebidos. A escolha dos componentes de um sistema de reuso pode ser estabelecida pela experiência do projetista, por ensaios de laboratório, por informações bibliográficas ou pela combinação desses fatores (MANCUSO; SANTOS, 2003).

Segundo Hespanhol e Mierzwa (2005, p.8), “a opção por uma determinada técnica de tratamento ou por uma combinação entre duas ou mais técnicas é o que define um sistema de tratamento”.

Com relação às informações bibliográficas, Richard (1988) apud Mancuso e Santos (2003) em suas publicações propõe sequências de processos que fornecem efluentes com características determinadas a partir de esgotos urbanos, de acordo com o desempenho previsto para cada processo unitário.

De forma geral, a cada nível de tratamento são acrescentados gradativamente processos unitários, para que se obtenham graus de depuração maiores, com diferentes concentrações residuais de contaminantes e, conseqüentemente com o aumento da qualidade do efluente tratado para reutilizações diversas.

Os níveis de tratamentos propostos por Mancuso e Santos (2003) são apresentados no Quadro 3, sendo o menor nível de qualidade o nível 1 e assim sucessivamente, evoluindo para outros subseqüentes pelo acréscimo de processos unitários, até o nível 12 como nível máximo. O Quadro 3 apresenta orientações gerais de reuso de acordo com o tratamento, concentrações esperadas de alguns parâmetros e os tipos de uso.

Quadro 3: Tipos de uso, tratamento recomendado e concentração esperada de alguns parâmetros.

Nível e Descrição do sistema	Concentração esperada					Usos
	SST (mg/L)	DBO (mg/L)	NH3 (mg/L)	PO4 (mg/L)	Coliformes Totais/100 mL	
1 Tratamento primário	80	120	NA	NA	NA	rega de forragens, fibras têxteis e pomares
2 Lodos ativados convencionais e desinfecção.	20	20	NA	NA	<23	rega de pastagem para gado leiteiro e de corte, campos de golfe, jardins públicos, canteiros de rodovias, bosques urbanos e de lagos ornamentais
3 Combinação de filtro biológico, lodos ativados e desinfecção	10	10	NA	NA	<23	similar ao nível anterior
4 Aeração prolongada e desinfecção	10	10	5	NA	<23	aplicações onde a remoção de nitrogênio se faz necessária
5 secundário seguido das recomendações do “Título 22 do Código da Califórnia” (1) e desinfecção	10	10	5	NA	<2,2	aplicações agrícolas para produtos comestíveis, em parques e jardins escolares e para enchimento de lagos para recreação de contato primário.
6 Secundário seguido de filtração direta e desinfecção	10	10	5	NA	<2,2	similar ao nível anterior
7 Secundário, filtro DynasandR(2) e desinfecção	10	10	5	NA	<2,2	similar ao nível anterior
8 Secundário, filtro DynasandR, remoção de fósforo e desinfecção	10	10	1	2	<2,2	Piscicultura

Nível e Descrição do sistema	Concentração esperada					Usos
	SST (mg/L)	DBO (mg/L)	NH <sub>3</sub> (mg/L)	PO <sub>4</sub> (mg/L)	Coliformes Totais/100 mL	
9 Processo EIMCO BardenphoR(3) e desinfecção	10	10	1	2	<2,2	culturas alimentícias, parques, playgrounds, irrigação de pátios, gramados e para lagos recreacionais de acesso irrestrito. (Atendimento pleno ao “Título 22 do Código da Califórnia”)
10 Secundário seguido de filtro DynasandR, adsorção e desinfecção	<2	<2	1	2	<2,2	recarga de lençóis por injeção no solo e recarga de lençóis por meio de bacias de recarga.
11 Secundário, filtro DynasandR, adsorção, osmose reversa e desinfecção	<1	<1	<1	2	<2,2	torres de resfriamento, água de processo, caldeiras e geradores de vapor.
12 Secundário seguido de recarbonatação, osmose reversa e desinfecção	<1	<1	<1	2	<2,2	torres de resfriamento, água de processo, caldeiras e geradores de vapor.

Obs.: O “Título 22 do Código da Califórnia” são normas do Department of Health Services que prescrevem conjuntos de processos e operações unitárias para determinados tipos de reuso; Fonte: Adaptado de Richard (1998) apud Mancuso e Santos (2003).

Embora essa relação não inclua todas técnicas disponíveis, as recomendações anteriores, auxilia na escolha dos sistemas de tratamento de esgotos, como alternativas mais simplificadas, de menores custos e de maior sustentabilidade. Dessa forma, o nível de qualidade a ser alcançado no tratamento de esgotos de origem predominantemente doméstica. Para o reuso em processos industriais de refrigeração e geração de vapor, seria no mínimo 11, uma vez que a qualidade esperada do efluente é a remoção de todas as impurezas encontradas, tendo no fim do tratamento somente água pura, como sistemas isolados ou como sistemas combinados (MANCUSO; SANTOS 2003).

A escolha da tecnologia mais apropriado para o tratamento do efluente depende da análise detalhada, dos tipos e características de contaminantes, que devem ser eliminados ou minimizados, porque a maioria dos processos e operações

unitárias de tratamento, com algumas exceções, são aplicáveis em classes de contaminantes específicos. A escolha de uma técnica de tratamento em particular ou uma combinação de duas ou mais técnicas é o que define um sistema de processamento e deve ser baseada no conhecimento do potencial de cada técnica e os mecanismos envolvidos na redução de contaminantes (OSÓRIO, 2013).

Apesar das suas vantagens as lagoas de estabilização não produzem efluentes que atendam aos requisitos de qualidade exigidos para o reúso. Torna-se de grande importância, portanto, o pós-tratamento dos efluentes produzidos a partir das Estações de Tratamento de Esgotos como uma forma de adequar o efluente aos requisitos de qualidades exigidos para a indústria que tem necessidade de águas com alto grau de pureza.

Como sabemos o pós-tratamento com a osmose inversa é uma forma eficiente de separação por membrana, quando se deseja uma água pura. No entanto, para esta modalidade de tratamento, é necessário que o efluente de entrada possua alta qualidade, pois a membrana da unidade de filtração pode ser contaminada por material coloidal e outros constituintes em excesso danificando ou inutilizando a mesma. Portanto, o processo de osmose inversa usado no tratamento desse efluente pode não ser tão eficiente se atuar sozinha, é necessário combinações de técnicas.

### **2.3.1 Processos de separação de membranas**

Atualmente já existem diversas técnicas que podem ser empregadas para o tratamento de águas residuárias com a finalidade de reutilizá-los, sendo os processos de separação por membranas considerado elemento chave para o tratamento avançado de esgoto. Howell (2004) destaca que a tecnologia de separação por membranas pode contribuir de maneira significativa com a prática do reúso, pois é capaz de produzir água com qualidade superior quando comparada aos processos convencionais.

A tecnologia de filtração por membranas para o tratamento avançado de águas residuárias vem sendo cada vez mais aplicada, com grande sucesso, devido ao aumento da demanda pelo reúso. Os processos de separação por membranas colaboram para viabilizar a construção de sistemas compactos de tratamento de águas residuárias, produzindo água de reúso de elevada qualidade, tornando esta



tecnologia competitiva em relação aos sistemas convencionais usualmente aplicados para o tratamento de água e esgoto (DACANAL; BEAL, 2010).

De acordo com Telles e Costa et al. (2010), os processos de separação por membranas, proporciona diversas vantagens no tratamento de águas residuárias, onde se destacam:

- Sistemas de tratamento compactos;
- Água ultrapura para propósitos industriais;
- Grande e estável produção de água;
- Capacidade de recuperar tanto o permeado (água limpa) e concentrado;
- Baixo requisitos de energia.

Em contrapartida as desvantagens das membranas, segundo Seneviratne (2007), são:

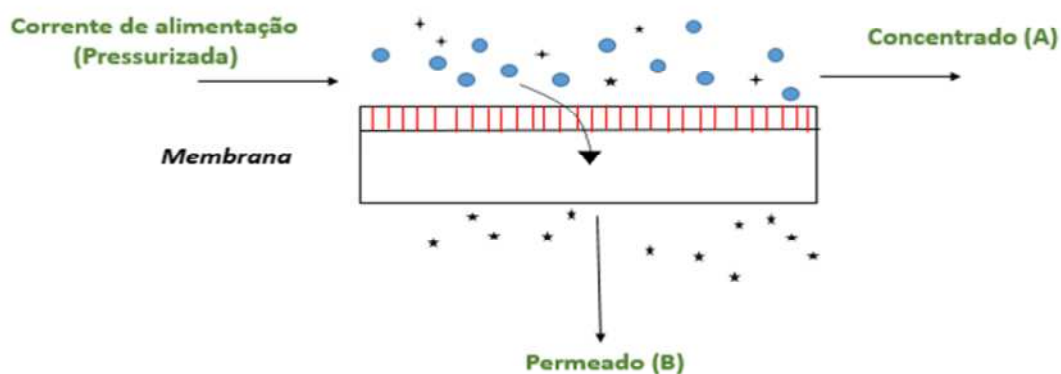
- Alto investimento inicial;
- Requer substituição periódica da membrana;
- Tendência a incrustação irreversível exigindo substituições com maior frequência;
- Produtos químicos fortes, solventes e pH extremo podem degradar certos elementos da membrana;
- Aplicação limitada em altas temperaturas.

Os processos de separação por membranas (PSM) são utilizados em diversos segmentos de indústria, principalmente naquelas que exigem ou necessitam de processos de filtração, clareação ou fracionamento das correntes, em especial onde é necessário desempenho confiável e repetitivo.

As tecnologias de filtração e separação permitem remover substâncias que variam desde sólidos em suspensão até elementos iônicos através de membranas, impulsionada por uma força motriz utilizando-se a pressão hidráulica para promover a separação de fases, o permeado e o concentrado (CAVALCANTI, 2009). Dentre os processos de separação de membranas, empregados no tratamento de águas residuárias, estão: microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF), osmose inversa (OI) e eletrodialise (ED). Elas se diferenciam quanto ao tamanho das partículas ou moléculas que são capazes de reter e na pressão necessária para impulsionar o sistema de filtração (VAN DER BRUGGEN et. al., 2003; NEUFFER, 2013).

Segundo Oliveira (2016), os processos de filtração por membranas envolvem três fluxos de solução: a alimentação, solução a ser filtrada, o permeado, uma porção da alimentação que passa através da membrana com a pressão aplicada, desde que seus componentes sejam menores que os poros da membrana e o concentrado, parte da alimentação que não passa pela membrana é seletivamente retido como mostra a Figura 2.

Figura 2: Esquema básico do processo de filtração por membranas.

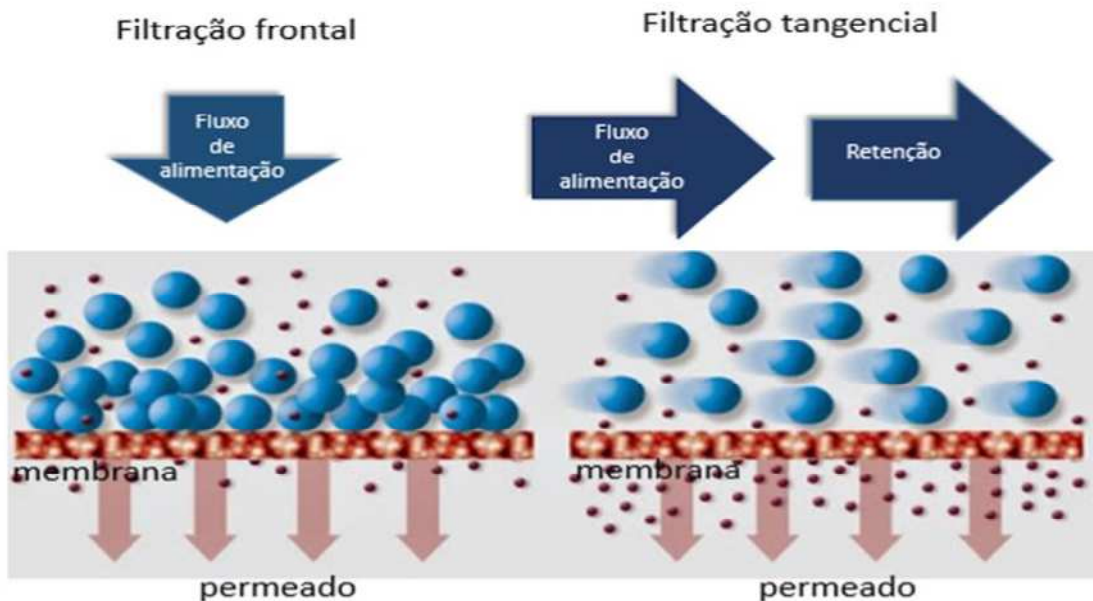


Fonte: Reglero (2014).

Assim, no processo de filtração por membranas, a corrente de alimentação escoia paralelamente ao longo da superfície da membrana e divide-se, por sua vez, em duas correntes: o concentrado ou retido e o permeado, como está ilustrado na Figura 2. A corrente do permeado é essencialmente constituída por solvente ou solução clarificada, enquanto a do concentrado por partículas e solutos rejeitados pela membrana, cuja concentração é superior à corrente de alimentação.

Em sistemas de separação por membranas pode ocorrer duas maneiras distintas de modos de operação. O primeiro é conhecido como filtração frontal, a alimentação e o permeado escoam perpendicularmente à superfície da membrana e o outro modo de operação é denominado filtração tangencial, a alimentação se dá na direção tangencial à membrana, enquanto o permeado é transportado transversalmente à ela, estabelecendo um diferencial de pressão através da membrana Figura 3.

Figura 3: Representação esquemática dos tipos de filtração por membranas.



Fonte: Baldin (2014).

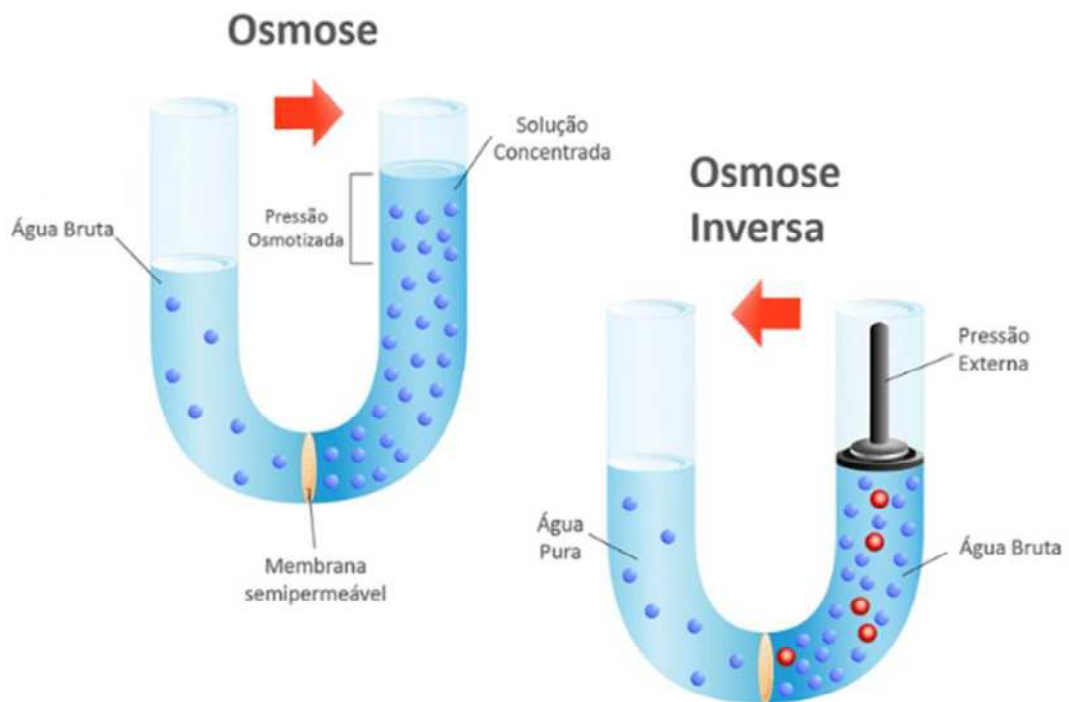
Conforme pode ser visto na Figura 3 o aumento na concentração das partículas retidas próximo a superfície ocorre para os dois tipos de filtração, porém seu efeito pode ser reduzido na filtração tangencial, uma vez que, algumas partículas passem pela membrana, mas a maioria seguem o fluxo da alimentação, reduzindo a formação da torta, já na filtração frontal, as partículas começam a formar uma torta, o que reduz o fluxo de água filtrada até a torta ser contra-lavada (OLIVEIRA, 2016; DE JESUS, 2016).

### 2.3.1.1 Osmose inversa

O processo de separação por membranas é uma das técnicas de tratamento de água para fins industriais mais eficazes, sendo considerado também como um tratamento terciário para efluentes industriais e domésticos. Dentre estes processos, a osmose inversa tem o maior número de aplicações industriais consolidadas, sendo utilizada principalmente na produção de água de composição ultrapura, no tratamento de águas residuárias para reúso e na dessalinização de água do mar (SHATAT et al., 2013).

Segundo Hespanhol (2005, p.9) o processo de osmose inversa é baseado no fenômeno natural da osmose, “que consiste na passagem de água pura através de uma membrana semipermeável de uma solução salina diluída para uma mais concentrada, até que se atinja o equilíbrio”. Desta maneira, ocorre o aumento do nível de líquido da solução mais concentrada, e essa diferença de nível entre duas soluções é conhecida como pressão osmótica de equilíbrio, conforme a Figura 4.

Figura 4: Representação dos fenômenos osmose e osmose inversa.



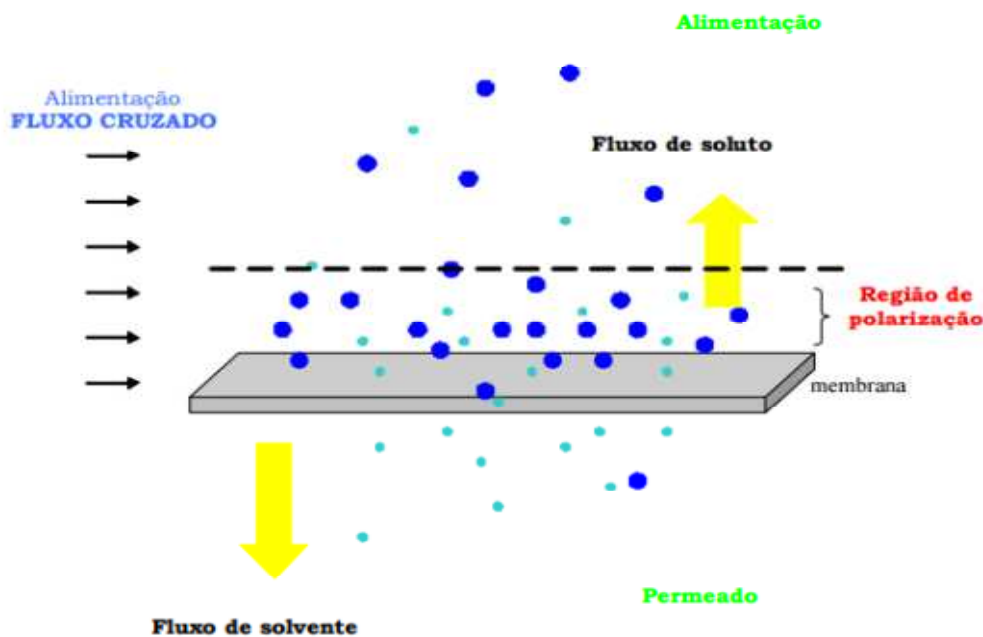
Fonte: Portal Petrochem.

Pode-se dizer que a osmose inversa é o oposto deste fenômeno, ou seja, do fluxo natural da osmose, daí a denominação de osmose inversa. Esse fenômeno está esquematizado na Figura 4, onde uma pressão superior à pressão osmótica de equilíbrio deve ser aplicada sobre o lado da solução mais concentrada, a fim de que ela seja forçada a permear a membrana na direção a solução menos concentrada, ou seja, a água relativamente pura atravessa a membrana, enquanto os sólidos dissolvidos são retidos no compartimento de alimentação (CAVALCANTI, 2009; SANTOS, 2015; HESPANHOL; MIERZWA, 2002).

Para superar a pressão osmótica, a pressão de operação no processo de osmose inversa é elevada, e dependendo da solução a ser processada, pode atingir valores em torno de 10 a 60 atm (CAVALCANTI, 2009). Schneider e Tsutiya (2001) afirma que a pressão de operação do processo de osmose inversa deve superar também a resistência da membrana, a resistência da zona de concentração-polarização e a resistência interna do equipamento a ser utilizado no sistema.

Toda vez que os componentes de uma solução permeiam seletivamente através de uma membrana, o soluto é parcialmente retido e começa a se acumular na superfície da membrana, formando uma fina camada onde a concentração de componentes é superior à da água de alimentação. Desta forma gera-se um movimento difusivo deste soluto no sentido de voltar ao seio da solução, estabelecendo um perfil de concentração deste soluto nesta região. Esse fenômeno é conhecido como polarização de concentração, Figura 5 (OLIVEIRA, 2007).

Figura 5: Fenômeno de polarização.



Fonte: Oliveira (2007).

Segundo Schneider e Tsutiya (2001), este fenômeno é o principal responsável pelo acúmulo de partículas, macromoléculas e íons na superfície da membrana, portanto, a formação de tortas de filtro, de camada de gel, de sais precipitados ou de

biofilmes microbianos são consequências secundárias da camada de concentração-polarização.

Essa concentração não se trata de um problema relevante para a operação de membranas de osmose inversa, porém a sua ocorrência pode dar origem a outros tipos de fenômenos que prejudicam o desempenho da membrana, como incrustações por deposição, incrustações por precipitação e bioincrustações (ORISTANIO et al., 2006; OLIVEIRA, 2007).

A incrustação das membranas depende da qualidade da corrente de alimentação no sistema, no entanto, há uma enorme variedade de possíveis materiais que pode precipitar na superfície das membranas de osmose inversa, sendo composto por partícula inorgânicas, matéria orgânica, bactérias, fungos, algas e protozoários. Segundo Porto (2014), os principais problemas operacionais dos processos de separação por membranas são causados por vários tipos de incrustações, que incluem: incrustações por precipitação, incrustações por deposição e bioincrustações.

A incrustação por deposição é conhecido em inglês como *fouling*, que é o resultado do acúmulo de material incrustante sobre a superfície da membrana, que muitas vezes pode ser irreversível. De acordo com Oliveira (2007), a incrustação por deposição é causada pelo acúmulo de sólidos em suspensão ou dissolvidos na superfície da membrana, tipicamente no lado da alimentação do sistema. Os materiais incrustantes incluem: substâncias coloidais e matéria orgânica. Estes materiais podem ainda causar entupimento do canal de alimentação dos módulos de membranas.

Segundo Porto (2014), este acúmulo leva à deterioração física e química das membranas pela abrasão e oxidação das camadas poliméricas e o aumento das pressões em virtude da maior resistência da água em atravessar a membrana. Também é comum o aumento da passagem de sais uma vez que a concentração no interior dos módulos passa a ser maior.

Ridgway e Flemming (1996) comentam que o *fouling* é um dos principais aspectos do alto custo dos PSM, devido aos seguintes fatores: redução do fluxo de operação das membranas; necessidade de pré-tratamento em processos de NF e OI; interrupção do processo durante limpeza química e redução da vida útil das membranas.

Já incrustação por precipitação ocorre devido à precipitação de compostos solúveis presentes na alimentação, quando estes atingem o limite de solubilidade, na

grande maioria das vezes, ocasionado por sais insolúveis, este fenômeno é conhecido como *scaling*. Como o permeado consiste de água com baixa concentração de sal, a concentração de íons na alimentação aumenta. Devido à polarização de concentração, este efeito se intensifica próximo à superfície da membrana, podendo atingir o limite de solubilidade dos sais e ocorrer a precipitação sobre a membrana (PORTO, 2014).

Os agentes de incrustação inorgânica mais comumente encontrados em membranas de osmose inversa incluem: carbonatos, sulfatos, fosfatos, hidróxidos metálicos, sulfitos e sílica.

Assim como os demais tipos, a incrustação gerada por precipitação reduz a qualidade e o fluxo permeado e diminui a vida útil da membrana.

As bioincrustações é o tipo de depósito mais preocupante na operação de sistemas de osmose inversa alimentados com águas de superfície e de reúso. O depósito biológico ocorre devido ao acúmulo de material orgânico na superfície da membrana, incluindo fragmentos celulares, substância polimérica extracelular e microrganismos, que resulta na formação de biofilmes (BAKER; DUDLEY, 1998).

Para a melhor compreensão dos efeitos das bioincrustações é importante entender os processos naturais da formação e desenvolvimento do biofilme. Ao entrar em um sistema de osmose inversa, os microrganismos encontram uma grande superfície de membrana onde o efeito da polarização de concentração proporciona uma maior concentração de nutrientes dissolvidos, formando um ambiente adequado para a formação do biofilme. Conforme o biofilme vai crescendo, os microrganismos vão morrendo e servindo de alimento para outros microrganismos. Nas águas naturais ou industriais, o biofilme pode ser desenvolvido mesmo em locais onde há baixa concentração de nutrientes (OLIVEIRA, 2007).

A prevenção e o controle da formação de bioincrustações podem ser feitos através da redução da concentração dos microrganismos presentes na corrente de alimentação e/ou redução da concentração dos seus nutrientes, por meio do pré-tratamento, ou ainda através de um programa de limpeza das membranas.

A formação dos biofilmes é um dos principais aspectos do alto custo da osmose inversa, devido à perda de produtividade, à necessidade do uso de um pré-tratamento, aumento de custos com manutenção, aumento do consumo de energia e à diminuição do tempo de vida útil da membrana.

Cuidados especiais devem nortear a operação das membranas, notadamente quanto a formação de incrustações, bem como bioncrustações. Assim sendo, são necessários controles envolvendo pH, cloro livre e incrustações de íons. O pré-tratamento torna-se indispensável na prevenção do depósito biológico, focando principalmente na remoção dos nutrientes, visando limitar o crescimento do biofilme. Um abrandador também pode ser necessário como pré-tratamento (CAVALCANTI, 2009).

A escolha de uma unidade de osmose inversa deve principalmente levar em consideração sua aplicação específica, assim como seu objetivo. Dessa forma, é necessário conhecer e escolher a membrana adequada, a maneira como o sistema é montado e orientado em relação ao fluxo. O conhecimento dessas características é de suma importância para impedir fenômenos que limitam o funcionamento e o desempenho do sistema.

### **2.3.2 Processos de pré-tratamento para osmose inversa**

Como sabemos o pós-tratamento com a osmose inversa é uma forma eficiente de separação por membrana, quando se deseja uma água pura. No entanto, para esta modalidade de tratamento, é necessário que o efluente de entrada possua alta qualidade, pois a membrana da unidade de filtração pode ser contaminada por material coloidal e outros constituintes em excesso danificando ou inutilizando a mesma. Portanto, o pré-tratamento é de suma importância para as membranas e sua eficiência e desempenho.

Mierzwa e Hespanhol (2005) citam as seguintes limitações da osmose inversa: gases dissolvidos e compostos orgânicos de baixo peso molecular não são removidos; a membrana não tolera ataque químico pela solução de alimentação; não é adequada para tratar efluentes com material em suspensão; substâncias com baixa solubilidade são capazes de precipitar na superfície da membrana, e a corrente do concentrado pode ser problemática para o destino final.

Para que possa ser prevenido e controlado, o potencial para ocorrência da incrustação deve ser sempre antecipado. A identificação detalhada do problema é necessária para permitir a medida mais eficiente a ser tomada, e com isso pode-se adotar o pré-tratamento mais adequado.



Na prática, um sistema de osmose inversa é composto, não apenas pelo subsistema de osmose inversa, mas também pelo subsistema de pré-tratamento, subsistema de pós-tratamento e subsistema de limpeza química, os quais irão exercer grande influência no desempenho e eficiência do sistema de purificação de água como um todo, bem como na qualidade final da água obtida (MIERZWA, 2002).

Os principais problemas relacionados à perda de eficiência e redução da vida útil das membranas de osmose reversa estão associados à deposição de material em suspensão ou espécies que possam precipitar na superfície da membrana. Assim há três regras que devem ser seguidas para que o sistema tenha um bom desempenho: remoção dos sólidos suspensos; remoção dos oxidantes e prevenir as precipitações na superfície das membranas (OLIVEIRA, 2007).

Para que sejam evitados os problemas de deposição e incrustação, que irão causar perda na eficiência do sistema pelo entupimento ou colmatação da membrana, algumas estratégias de pré-tratamento estão sugeridas no Quadro 4.

Quadro 4: Estratégias de pré-tratamento.

<b>Estratégia</b>	<b>Ações</b>
Aumentar a solubilidade	Controle de pH, temperatura e adição de Complexantes
Retardar a precipitação	Uso de anti-incrustantes
Remover íons de baixa solubilidade	Abrandadores
Remoção de sólidos suspensos e fósforo	Filtros, centrífugas/decantadores, precipitação, coagulação, sedimentação, floculação
Remoção de solventes orgânicos	Destilação
Controle dos microrganismos	Pausterização, esterilização e tratamento químico.
Remoção de sólidos orgânicos dissolvidos	Nanofiltração e Ultrafiltração

Fonte: Adaptado WAGNER, (2001).

Segundo Mierzwa (2002), a escolha do tipo de pré-tratamento a ser adotado é função das características da corrente de alimentação a ser submetida ao processo de osmose inversa. Há uma enorme variedade de possíveis pré-tratamentos para osmose inversa incluindo: filtração dupla ou simples; abrandamento e/ou troca iônica; ultrafiltração; filtros de carbono ativado; ajuste de pH, entre outros. Nenhum deles irá acabar com as incrustações nas membranas, podendo ser necessário utilizar-se uma

combinação entre os diversos processos citados anteriormente, para que se possa obter um ponto ótimo na produtividade da membrana.

### *2.3.2.1 Lagoas de polimento*

As lagoas de estabilização não produzem efluentes que atendam aos requisitos de qualidade exigidos para o reúso, apesar de apresentarem um efluente final com concentrações de DBO5 e SST baixas e boa qualidade microbiológica (CAVALCANTI et al., 2001). As baixas eficiências apresentadas com relação à remoção dos nutrientes N e P e as elevadas concentrações de algas no seu efluente fazem com que esse tipo de tratamento não se adeque a padrões de qualidade muito restritivos. Isso porque, as condições em lagoas de estabilização não são propícias para a remoção biológica de nutrientes, tendo-se que procurar alternativas.

A necessidade da remoção total ou parcial dos compostos nitrogenados ou na sua transformação em outros compostos depende dos requisitos exigidos para os tipos de uso. Caso o objetivo seja o reúso dessa água, a necessidade de compatibilização com os padrões de qualidade específicos ao reúso pretendido pode exigir a remoção de todos os compostos de nitrogênio.

Entre as opções de pós-tratamento, destaca-se o uso de lagoas de polimento, pelo fato de oferecerem condições favoráveis para remoção de nutrientes e patógenos (VON SPERLING, 2002). Estas lagoas recebem baixa carga orgânica do efluente previamente tratado na ETE e, portanto, podem ser dimensionada especificamente para remoção de coliformes fecais e nutrientes (CAVALCANTI, 2009).

O material nitrogenado em águas residuárias compõe-se principalmente de nitrogênio amoniacal (gasoso,  $\text{NH}_3$ ; e salino,  $\text{NH}_4^+$ ) e nitrogênio orgânico (uréia, aminoácidos e outras substâncias orgânicas como o grupo amino). Ocasionalmente ocorrem traços de formas oxidadas do nitrogênio, nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).

A aplicação de lagoas de polimento tem a grande vantagem que a remoção de nitrogênio ocorre por processos naturais de fotossíntese e dessorção de  $\text{CO}_2$  e amônia, sem que haja necessidade de adição de substâncias químicas ou aplicação de equipamentos. A essência do método é usar as condições favoráveis de consumo biológico de  $\text{CO}_2$  através da fotossíntese para se elevar o pH das lagoas.

Em lagoas de polimento devido à alta taxa de fotossíntese, o valor do pH pode ser elevado o suficiente para que permita remoção de nutrientes por processos físicos e químicos. A dessorção de amônia ocorre quando o pH é alto e o nitrogênio amoniacal predomina na forma gasosa ( $\text{NH}_3$ ), provocando o desprendimento de gás amônia. Para valores altos de pH também pode ser observada uma considerável redução de fosforo devido à formação de fosfato insolúvel que pode precipitar.

### *2.3.2.2 Clarificação*

O processo de clarificação pode ser utilizado como uma técnica de pré-tratamento de efluentes, objetivando o polimento de efluente previamente tratados com relação a sólidos em suspensão e turbidez, visando tratamentos avançados (filtração simples, micro ou ultrafiltração, osmose inversa e outros) com finalidade de reúso. Em muitos casos, a indústria faz tratamento adicional, incluindo a clarificação para remoção de nutrientes.

Uma grande variedade de espécies químicas, algas e organismos vegetais, substâncias de origem química e biológica, bactérias e organismos patogênicos contidas em águas residuárias conferem cor e turbidez. Estes sólidos em suspensão ou dissolvidos, por possuírem carga superficial negativa, sofrem um grau de repulsão muito grande, permanecendo no meio até que sejam criadas condições favoráveis para a sua remoção (ALMADA, 2008).

Um dos métodos mais comumente usados para a remoção de sólidos suspensos ou dissolvidos na água potável ou em efluentes é o processo de clarificação que é composto basicamente de quatro etapas: coagulação, floculação, sedimentação e filtração. Os processos de clarificação objetivam remoção de sólidos e na precipitação de poluentes mediante adição de coagulantes ou floculantes no esgoto, seguidas de uma mistura rápida para dispersá-los e mistura lenta para promover a formação de flocos sedimentáveis em unidades de decantação (MANCUSO; SANTOS, 2003).

A etapa inicial de clarificação é denominada de coagulação, que tem como objetivo principal neutralizar as cargas superficiais eletronegativas das partículas em suspensão ou em estado coloidal, por meio da adição de cargas positivas presentes

em sais metálicos e polímeros, que ao reagirem reduzem as forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão.

A coagulação é uma etapa de grande importância no tratamento, uma vez que as etapas subsequentes dependem desta, portanto, é essencial determinar a dosagem e a condição ótima para aplicação do coagulante.

Após a coagulação, inicia-se o processo de floculação onde as partículas sólidas desestabilizadas na etapa anterior são forçadas a se movimentar, a fim de que sejam atraídas entre si e formando flocos maiores e mais pesados, para posterior separação nas unidades de sedimentação ou flotação.

No processo de floculação, inicialmente são aplicados gradientes de velocidade mais elevados para aumentar as chances de contato das partículas, na medida que os flocos são formados o gradiente de velocidade é então reduzido, para diminuir sua quebra devido a agitação (DI BERNARDO et al, 2002).

A terceira etapa da clarificação é denominada de sedimentação ou decantação e, tem por objetivo separar da água os flocos formados na floculação. De acordo com Di Bernardo et al (2002), esta separação é resultado de um processo físico em que as partículas suspensas apresentam movimento descendente devido à ação da gravidade em função de sua maior massa específica em relação ao líquido, deste modo propiciando a clarificação do meio líquido.

No processo de coagulação/floculação vários produtos químicos têm sido aplicados como coagulantes e auxiliares de floculação. Podem ser classificados em quatro grandes categorias: (1) cal, é usada quando se pretende principalmente a remoção de fósforo, dureza de cálcio, sólidos em suspensão e turbidez; (2) sais de alumínio, pode ser aplicado antes, durante ou após o tratamento secundário, e a remoção de fósforo é maior quando o coagulante é aplicado durante ou após o tratamento biológico, uma vez que quase todo o fósforo, nesses pontos, encontra-se na forma de ortofosfato; (3) sais de ferro, principalmente o cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ), são bastante eficientes na remoção de sólidos em suspensão e fósforo dos esgotos; (4) polímeros, são usados como coadjuvantes nos processos de coagulação. Recomenda-se a realização de ensaios em laboratórios para a escolha do tipo e da dosagem de produtos químicos (MANCUSO; SANTOS, 2003).

Embora possa otimizar o polimento do efluente final por meio da retenção dos sólidos suspensos, da remoção da turbidez e da DBO, e conseqüentemente, atender

padrões mais restritivos para o reúso, a clarificação, pode também promover a remoção de fósforo.

A tecnologia de clarificação para remoção de fósforo ganhou grande atenção entre as décadas de 1960 e 1970, devido a capacidade dos sais de alumínio e ferro em precipitar fósforo, impulsionada pela meta de redução em corpos d'água receptores. Atualmente a coagulação com sais de alumínio e ferro é o método mais comum de remoção de fósforo (SILVA, 2009).

No processo de tratamento de esgotos sanitários, seja aeróbio ou anaeróbio, a fração orgânica do fósforo e os polifosfatos de alto peso molecular são hidrolisados, transformando-se em ortofosfatos, portanto, o fósforo se encontra presente no efluente tratado em forma de ortofosfatos.

A remoção de fósforo, via química, pode ser feita como pós-tratamento, ou seja, no efluente de um tratamento biológico. Neste caso são adicionados cal ou sais metálicos ao efluentes, eles reagem com ortofosfato solúvel formando precipitados fosfatados. Em resumo, o íon metálico presente no produto químico com ação coagulante reage com o ânion fosfato presente no despejo, formando um precipitado.

Os principais parâmetros que afetam a remoção de fosfatos são a dosagem do coagulante, pH final e a concentração inicial de fósforo. Tchobanoglous (2003 apud Silva 2009) identificam além destes, outros fatores como concentração de SST, alcalinidade, custos do produto químico, gerenciamento do lodo gerado, métodos de disposição e compatibilidade do produto químico com outras etapas do tratamento.

O processo físico-químico para a remoção de fósforo é uma técnica eficiente, em virtude de seu benefício na remoção deste nutriente. Apresenta algumas vantagens em relação às demais técnicas, como o fácil controle do processo e rapidez, ocupa menor espaço para instalação e com menor custo. Tem como desvantagens, adição elevada de sais, de modo que o custo de produtos químicos é alto, a massa de lodo é considerável e ainda gera outro problema, a acumulação de íons na água, que aumenta a salinidade (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999).

### *2.3.2.3 Abrandamento*

A dureza é em tese causada pela presença de sais de cálcio e magnésio. Eventualmente também o zinco, estrôncio, ferro ou alumínio podem ser levados em

conta na aferição da dureza. A presença de altas quantidades de sais, sobretudo cálcio e magnésio podem agravar a formação da incrustação das membranas de osmose inversa. Na indústria, além do problema relacionado ao consumo de sabão, as substâncias responsáveis pela dureza da água podem precipitar nas paredes de tubos e equipamentos, principalmente se estes forem aquecidos, podendo resultar na obstrução da tubulação ou equipamento, ou em algum problema mais grave, como no caso de caldeiras para a geração de vapor (MIERZWA; HESPANHOL, 2005). Nas membranas de osmose inversa as substâncias que causam dureza reduzem a qualidade, o fluxo permeado e diminui a vida útil da membrana.

De acordo com Abrikian (2012) após detectar-se o estado de dureza em que se encontra a água ou efluente, é necessário aplicar um tratamento na mesma, onde diversas técnicas podem ser utilizadas, porém a mais comum é o abrandamento.

A técnica de abrandamento consiste na remoção das substâncias responsáveis pela dureza, cálcio e magnésio da água. De um modo geral, pode-se dizer que existem, basicamente, três técnicas para o abrandamento da água, ou seja, o processo de abrandamento pela cal - carbonato de sódio, o processo por troca iônica e o processo de separação por membranas, sendo cada um destes indicados para uma determinada faixa de dureza (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

O processo de abrandamento com cal - carbonato de sódio é uma reação de precipitação química, a qual visa transformar as espécies solúveis, de cálcio e magnésio, em espécies insolúveis. Após o processo de precipitação, devido à formação de partículas insolúveis de carbonato de cálcio e hidróxido de magnésio, é necessário que seja adotado um processo de separação dos sólidos formados. Estes processos são usados quando a dureza da água é excessivamente elevada, sendo possível obter-se uma redução na concentração de íons cálcio e magnésio de modo a resultar em uma água com dureza final próxima de 80,0 mg/L.

Já o abrandamento por troca iônica consiste em fazer a água atravessar uma resina catiônica que captura os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , liberando uma quantidade equivalente de outras espécies iônicas que estavam armazenadas na estrutura da resina, sendo que estes íons não irão comprometer a qualidade da água tratada. Os processos de troca iônica e separação por membranas possibilitam reduzir em até 100% a dureza da água, devendo-se observar que estes processos são os mais adequados para o abrandamento de água com uma dureza relativamente baixa, como

por exemplo, menor ou igual a 80 mg/L, que é o limite do processo de abrandamento com cal - carbonato de sódio (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

### 3. METODOLOGIA

Este trabalho foi elaborado através de uma pesquisa bibliográfica que de acordo com Cerro, Bervian, e Silva, (2007, p.60):

A pesquisa bibliográfica procura explicar um problema a partir de referências teóricas publicadas em artigos, livros, dissertação e teses. Pode ser realizada independentemente ou como parte da pesquisa descritiva ou experimental. Em ambos os casos busca-se conhecer e analisar as contribuições culturais ou científicas do passado sobre determinado assunto, tema ou problema.

A pesquisa foi fundamentada em livros, artigos de periódicos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses, nacionais e internacionais, sobre o tema estudado.

A partir do levantamento bibliográfico foi elaborado uma discussão, onde foi possível reunir um grande número de informações detalhadas com a finalidade de trazer maior conhecimento sobre o assunto. Desse modo até mesmo levar ao diagnóstico de soluções para os problemas levantados.

Assim, uma proposta foi elaborada, onde foi possível de forma muito eficaz correlacionar tal conhecimento com abordagens já trabalhadas por outros autores.



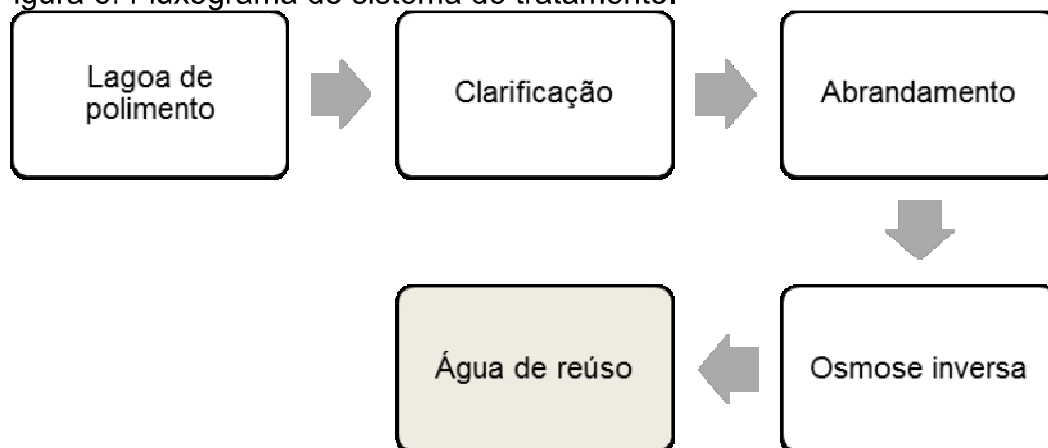
#### 4. PROPOSTA DE TRATAMENTO PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO

A qualidade do efluente final da ETE não permite a sua utilização direta na indústria devido as suas características serem incompatíveis com as exigências de qualidade para determinados fins industriais de usos desejados nesta pesquisa. O objetivo da proposta de tratamento é a melhoria da qualidade do efluente tratado na ETE através de tecnologias de tratamento avançado de efluentes líquidos, com a finalidade de possibilitar a utilização do efluente tratado na indústria.

As soluções sugeridas nesta pesquisa são baseadas através da revisão da literatura, bem como em experiências nacionais e internacionais relacionadas ao reúso de efluentes domésticos tratados.

Uma possível alternativa de tratamento avançado para o efluente da ETE em estudo, contempla a seguinte configuração de tratamento Figura 6.

Figura 6: Fluxograma do sistema de tratamento.



Fonte: Autor (2017).

Torna-se importante destacar que o processo de clarificação é composto pelas etapas de coagulação, floculação, sedimentação e filtração.

São necessárias duas etapas para se atingir os requisitos de qualidade dos efluentes tratados para o reúso na indústria, a primeira etapa engloba a complementação da remoção da carga orgânica, nutrientes, coliformes e dos sólidos em suspensão. Os processos envolvidos para esta primeira etapa são os seguintes: (1) lagoas de polimento, para remoção de nitrogênio; (2) clarificação, para remoção de sólidos em suspensão e de fósforo. Já a segunda etapa está relacionada à redução

da dureza e dos sais do efluente. Para esta etapa os processos utilizados são: (1) abrandamento, para remoção da dureza; e (2) osmose inversa, para remoção dos sais.

A concentração e a qualidade estimada para a água recuperada por este sistema são expostas no Quadro 5.

Quadro 5: Características prováveis do efluente da ETE e dá qualidade de água que se deseja para reúso.

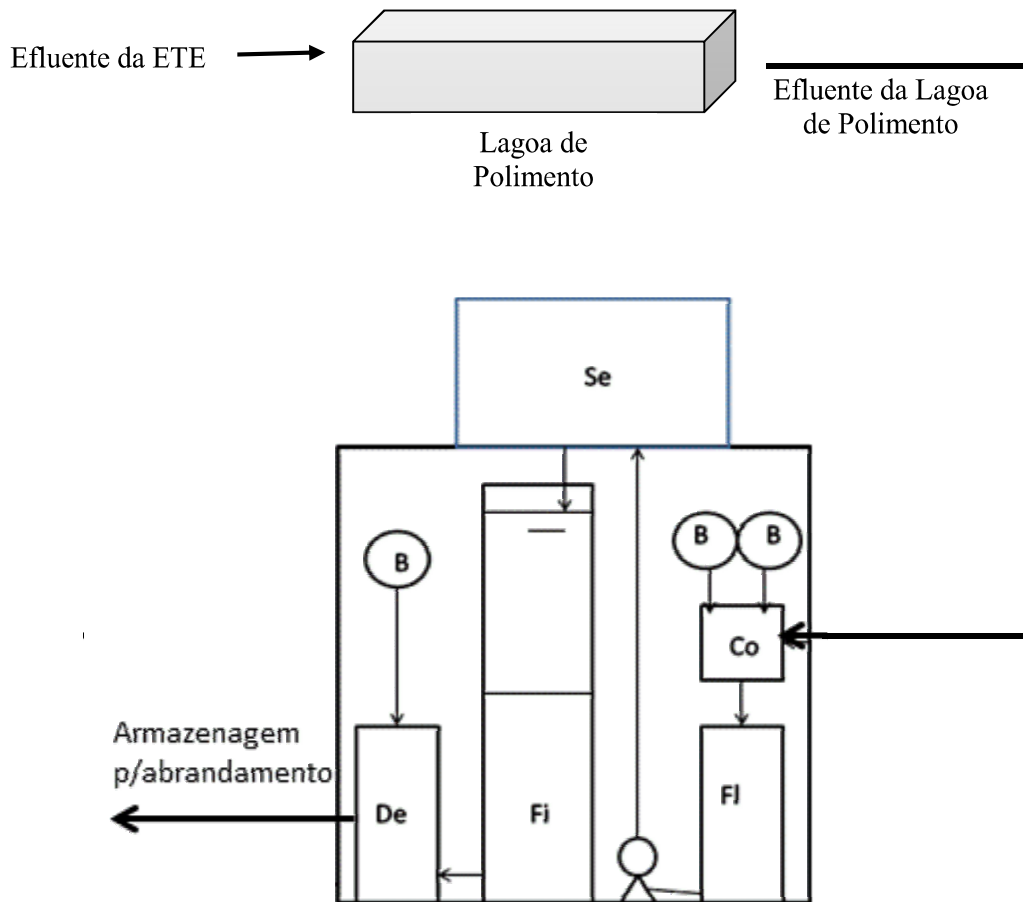
<b>Impureza</b>	<b>Unidade</b>	<b>Processo</b>	<b>Efluente da ETE</b>	<b>Água para reúso</b>
Algas	$\mu\text{g.L}^{-1}$	Clarificação	500	5
Sólidos em suspensão	$\text{mg.L}^{-1}$	Clarificação	100	2
Material orgânico (DQO)	$\text{mg.L}^{-1}$	Clarificação	150	10
Nitrogênio	$\text{mg.L}^{-1}$		50	1
Fósforo	$\text{mg.L}^{-1}$	Clarificação	8	1
Ovos de helmintos	$\text{n}^{\circ}.\text{L}^{-1}$	Clarificação	0	0
Bactérias termotolerantes	$\text{n}^{\circ}100.\text{mL}^{-1}$	Desinfecção	10.000	0
Dureza	$\text{mgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$	Abrandamento	300	3
Ferro	$\text{mg.L}^{-1}$	Abrandamento	2	0,2
Sais	$\text{g.L}^{-1}$	Osmose inversa	1	0,01

Fonte: Autor (2017).

Apesar da boa qualidade dos efluentes de lagoas de estabilização facultativas e de maturação, estes podem apresentar altas concentrações de sólidos suspensos, atingindo valores superiores a  $100 \text{ mg.L}^{-1}$  (MIDDLEBROOK, 1995 apud SANTOS, 2006). Sendo assim, para a utilização destes efluentes como água de reúso na indústria, é necessário realizar um pós-tratamento do mesmo.

O sistema proposto para reúso do efluente tratado da ETE para a primeira etapa está ilustrado na Figura 7. Para garantir a qualidade em termos de turbidez e nutrientes, propõe-se a implantação de uma lagoa de polimento e a instalação de uma unidade de clarificação.

Figura 7: Esquema do sistema de lagoa de polimento seguido de clarificação com unidade de coagulação (Co), floculação (Fl), sedimentação (Se), filtração (Fi) e desinfecção (De).



Fonte: Autor (2017).

Dentre as vantagens desse sistema destaca-se a capacidade de remoção de nutrientes remanescentes no efluente, tendo em vista que a filtração melhora significativamente a qualidade do efluente tratado, além de promover a remoção de larvas de helmintos e protozoários, conforme indicado por Florêncio et al. (2006). A coagulação tem alta eficiência na remoção de sólidos suspensos e matéria orgânica dissolvida.

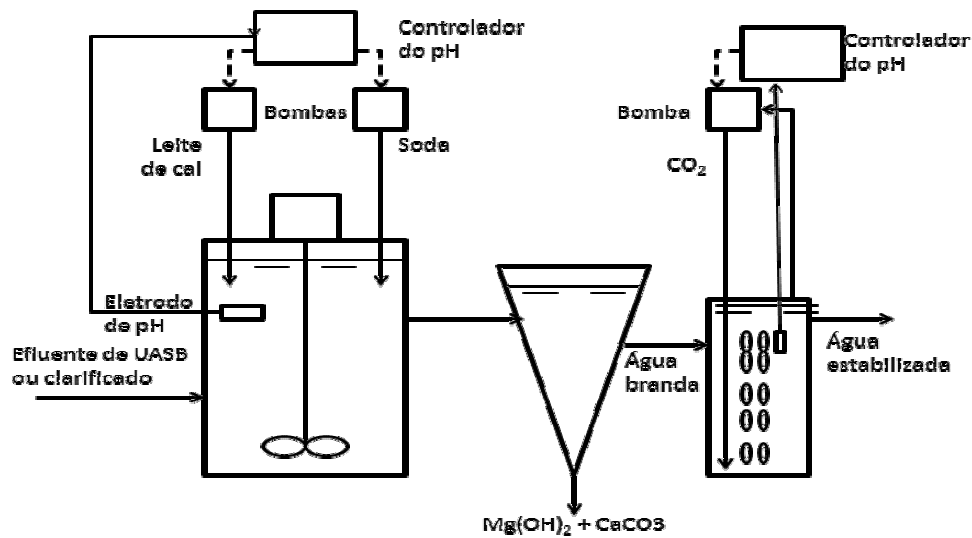
As principais desvantagens deste método podem ser apontadas como a necessidade de áreas de instalação superiores à de sistemas mais modernos, altos custos de operação e a baixa eficiência na remoção de partículas dissolvidas, microrganismos e carbono orgânico, mesmo quando bem operados. A utilização de coagulantes como sulfato de alumínio ou cloreto férrico gera lodo, um passivo ambiental que deve ser tratado e disposto adequadamente.

O lodo produzido deverá ser submetido a uma fase complementar de tratamento para sua estabilização, e em seguida passar por uma etapa final de adensamento e desidratação, e posteriormente deverá ser destinado a aterro sanitário.

A segunda etapa do tratamento toma como afluente o efluente com o padrão de qualidade situado imediatamente a jusante dos processos descritos nos itens anteriores, ou seja, com baixas concentrações de sólidos suspensos e nutrientes. Esta etapa tem por objetivo a remoção da dureza e dos sais.

Após a clarificação o efluente tratado é desinfectado e, posteriormente, passa por um sistema de abrandamento que reduz a dureza, metais e sólidos suspensos a concentrações mais baixas. Tal etapa tem como objetivo reduzir o potencial de incrustação das membranas de osmose inversa e dos equipamentos das indústrias. A Figura 8 apresenta o esquema do sistema de abrandamento para obter o efluente livre da dureza.

Figura 8: Esquema do sistema de abrandamento químico e recarbonatação, utilizando soda cal para remoção de cálcio e magnésio e recarbonatação com dióxido de carbono.



Fonte: Autor (2017).

A água pré-tratada é então enviada para um sistema de osmose inversa. Este sistema tem por objetivo remover sais e substâncias remanescentes que não foram removidas nos processos anteriores.

O sistema de membranas de osmose inversa possui alta eficiência no tratamento de efluentes, podendo inclusive produzir água potável. Estudos sobre a

qualidade de efluente doméstico tratado por osmose inversa têm demonstrado que a qualidade da água recuperada é acima inclusive dos tratamentos convencionais (OSÓRIO, 2013).

A vantagem da osmose inversa é que elas ocupam áreas menores que os tratamentos convencionais, apresentam estabilidade operacional e água tratada com excelente qualidade. E tem como principal desvantagem o alto custo de implantação e manutenção.

De uma maneira geral, a prática do reúso só pode ser adotada caso as características do efluente, com a adoção das técnicas de pós-tratamento indicadas, sejam compatíveis com as exigências de qualidade para cada uso planejado.

Os requisitos mínimos de qualidade da água para os usos previstos na indústria, conforme dados disponíveis em literatura (EPA, 1992), são apresentados no Quadro 6.

Quadro 6: Requisitos mínimos de qualidade para a água de reposição em sistemas de resfriamento e geração de vapor.

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Água para Torres de Resfriamento</b>	<b>Água para Caldeiras de Alta Pressão</b>
DBO	(mg.L <sup>-1</sup> )	25	-
DQO	(mg.L <sup>-1</sup> )	75	1,0
SST	(mg.L <sup>-1</sup> )	100	0,5
Fósforo	(mg.L <sup>-1</sup> )	4,0	-
N-NH <sub>3</sub>	(mg.L <sup>-1</sup> )	1,0	0,1
Turbidez	NTU	50	-
Dureza	(mg.L <sup>-1</sup> )	650	0,07
SDT	(mg.L <sup>-1</sup> )	500	200
Alcalinidade	(mg.L <sup>-1</sup> )	350	40
Sílica	(mg.L <sup>-1</sup> )	50	0,7

Fonte: Hespanhol et al. (2001).

Comparando-se os valores apresentados nos quadros 5 e 6, verifica-se que a utilização do esgoto tratado da ETE, após a adoção das técnicas de tratamento, propostas, atinge os padrões de qualidade específicos para cada uso, o que demonstra a viabilidade técnica da prática de reúso proposta.

## 5. ESTUDOS ACERCA DOS SISTEMAS DE PÓS-TRATAMENTO DE REÚSO DE ÁGUA PARA APLICAÇÃO EM INDÚSTRIAS

Diversos tipos de pós-tratamento de reúso de água na indústria tem sido estudado por universidades, centros de pesquisa e empresas por todo o mundo. Em suma, aproximadamente 40 países realizam diversos estudos de casos que fornecem uma variedade de abordagens para reutilização de água de forma segura e sustentável (NEVES, 2014). Os estudos buscam viabilidade econômica, analisando a qualidade da água de reúso de acordo com a sua finalidade e padrões aceitáveis.

Processos de coagulação/floculação química são muitos usados para remover a cor, a turbidez (NTU) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) de águas residuárias. Enquanto a osmose inversa e abrandamento é empregada para reduzir a condutividade e a dureza total dos efluentes.

Pesquisas realizadas por Adin (1999) mostraram a influência dos agentes coagulantes, cloreto férrico e do sulfato de alumínio, na redução da turbidez e das partículas coloidais formados no tratamento terciário com objetivo de reúso industrial. Ele concluiu que o tamanho da partícula e a turbidez dependem do pH do meio e da dosagem aplicada que variou de 5 – 50 mg/L. A taxa de remoção é praticamente igual para os dois agentes coagulantes. E que o conhecimento da distribuição do tamanho das partículas facilita a implantação do projeto e na especificação do filtro a ser usado.

Estudos realizados em escala piloto por Vanzetto et al. (2012) aplicando um pós-tratamento físico-químico, como uma etapa de polimento em efluentes oriundos do tratamento biológico, foram realizados ensaios de jar-test empregando-se três coagulantes diferentes: cloreto férrico, sulfato de alumínio e policloreto de alumínio nas dosagens de 20, 40, 60, 80 e 100 mg/L. O gradiente de mistura rápida usado foi de 500/s em um tempo de mistura de 30 segundos. O gradiente de mistura lenta foi 50/s num tempo de 10 minutos, adotando-se duas velocidades de sedimentação 0,4 e 0,2 cm/min. Os melhores resultados foram alcançados com 40 mg/L de sulfato alumínio, valores remanescentes de DQO em torno de 20 mg/L, turbidez menor que 4 uT e fósforo total inferior a 0,4 mg/L.

Fabreti et al. (2006) estudou o pós-tratamento de efluente de lagoa de estabilização processo físico-químico através de coagulação, floculação e decantação para a remoção de sólidos, com dosagens de sulfato de alumínio determinadas previamente em ensaios em escala de laboratório. Ambos os efluentes tratados

através do processo físico-químico em questão demonstraram eficiência e alcançaram residuais de fósforo próximos ou até inferiores a 1,0 mgP/L. Nos dois casos, apresentaram aumento substancial na redução da DQO, 74% para o efluente da lagoa facultativa e 60% para o da anaeróbia, e de sólidos em suspensão, 75% de remoção para o efluente da lagoa facultativa e 90% para o da anaeróbia. Também foram analisados alguns indicadores biológicos, onde obtiveram uma redução de 1 a 2 unidades logarítmicas de Coliformes Termotolerantes, resultando em densidades em torno de  $10^3$  NMP/100 mL para os efluentes de ambas as lagoas.

Contudo, inúmeras pesquisas já comprovaram que o processo de clarificação especificamente a coagulação/floculação também são eficazes para remoção de fósforo no tratamento de águas residuárias, como podemos observar no estudo de Baccarin et al. (2013), que avaliou a remoção de fósforo de efluentes provenientes do tratamento biológico convencional, logo após ser submetido ao tratamento físico-químico de coagulação e posterior sedimentação aplicado em batelada de 2 L, com o uso de equipamento Jar-Test, aplicando-se coagulantes específicos e variadas concentrações, a 115 segundos de mistura rápida a 120 rpm, 600 segundos de mistura lenta a 40 rpm. A análise de fósforo total mostrou que os maiores valores de eficiências foram com o uso de agente coagulante cloreto férrico seguida do agente coagulante sulfato de alumínio, foi de 94% e 83% respectivamente com destaque para as eficiências nas concentrações de 200 mg/L e 250 mg/L.

No que corresponde à osmose inversa, Wosniak (2015) avaliou a operação do processo de osmose reversa (OR) para um pós-tratamento da água produzida na ETAIA, tendo em vista a qualidade final do permeado e a mistura com a água produzida na estação. Para o estudo foi avaliado a qualidade do filtrado de um filtro de carvão ativado granular (GAC), a qualidade do permeado da OR. Também houve a avaliação da retenção, rejeição e taxa de permeabilidade da OR para dois tipos de membranas ESPA 1- 4040 e ESPA 2 LD- 4040. Os resultados demonstraram que filtro de GAC removeu 100% do cloro residual, e que a membrana ESPA 1- 4040 apresentou um fluxo de permeado 32,4 L/ (m<sup>2</sup>•h) ou 63,5% do fluxo padrão e uma retenção salina 97,65%. A membrana ESPA 2 LD- 4040 apresentou um fluxo 32,8 L/(m<sup>2</sup>•h) ou 77,3% do fluxo padrão e uma retenção salina 97,79%.

Um efluente após passar por um tratamento de lodo ativado e filtro de areia, foi submetido a uma ultrafiltração seguida de osmose reversa, a 8 bar de pressão e numa vazão de 800 L/h, foi testada em escala piloto por Ciardelli, Corsi e Marcucci (2000).

A osmose reversa foi composta por dois módulos de membranas de poliamida, tipo Toray, em espiral, colocadas em série e com uma área de 54 m<sup>2</sup> cada. Aplicou-se uma vazão de 500 L/h e uma pressão de 8 bar, onde 60 % foi permeado e o restante foi descartado. Eles observaram que o filtro de areia retém cerca de 95 % dos surfactantes aniônicos. A filtração em areia seguida da ultrafiltração fez a remoção total dos sólidos em suspensão e a turbidez teve uma redução de 95 %. Variações nos parâmetros hidráulicos não foram observados durante a osmose reversa, indicando a ausência de entupimento da membrana. Com a osmose reversa foram alcançadas uma redução de 95 % dos sais e dos compostos orgânicos. Também a DQO e a cor tiveram uma redução de praticamente 100%. Eles concluíram que o permeado da osmose reversa tem boas características físico-químicas (remoção quase total de sais e do conteúdo orgânico) e que poderá ser reusado em todos os processos da indústria têxtil, até mesmo nas mais exigentes, como no tingimento de fios de lã ou de cores claras. A água obtida apresentou qualidade melhor do que a do consumo normal, o que propicia o seu reúso no processo.

Estudos mostram que o segmento industrial foi pioneiro na utilização da água de reúso no Brasil. A necessidade de obter o recurso para exercer suas atividades fez com que quatro empresas localizadas no Polo Industrial de Cubatão em São Paulo em 1993 começassem a tratar seus efluentes e iniciarem a prática de reúso de água para refrigerar os processos fabris. Mais tarde a fábrica da General Motors em São Caetano do Sul começou a tratar 100% do recurso que utilizava (LEITE, 2003; HESPANHOL, 2013).

Atualmente, além das empresas privadas há também o reúso público, gerado pelas ETEs. Como exemplo temos a estação de tratamento de esgoto Jesus Netto da Sabesp que trata 60 litros por segundo de esgotos sanitários, sendo que 45.000 m<sup>3</sup>/mês que são fornecidos para a Indústria Coats Correntes desde 1997, a qual utiliza a água para o tingimento de linhas. (PÁDULA FILHO, 2004; SABESP, 2012; HESPANHOL, 2013). Outra indústria que também utiliza água de reúso pública por rede de distribuição é a Santher. A empresa utilizava água por meio de captação do rio Aricanduva. Devido aos altos custos dessa alternativa, a empresa cogitava mudar sua planta de cidade, com a alternativa de reúso, a empresa utiliza cerca de 60.000 m<sup>3</sup>/mês de água de reúso (HESPANHOL, 2013).



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do presente trabalho foi possível constatar que existem inúmeras possibilidades de usos de efluentes tratados em diversos fins na indústria, uma vez que diversas tecnologias já estudadas apresentaram resultados satisfatórios quanto a qualidade destes efluentes. Além disso, atualmente já existem diversas técnicas de tratamento, onde o nível da tecnologia empregada varia dependendo da qualidade necessária para a água de reúso.

Dois fatores devem ser observados quanto a escolha da tecnologia a ser aplicada:

- Primeiro: é conhecer as características físico-química do efluente, objeto do tratamento.

- Segundo: é saber qual deverá ser a aplicação da água obtida após tratamento.

Comparando a qualidade do efluente tratado na ETE com os requisitos mínimos para uso de água na indústria, identifica-se a necessidade de aplicação de tratamento adicional para adequar os efluentes domésticos, tendo em vista que as características do efluente tratado na ETE não atendem aos requisitos para as atividades industriais de sistemas de resfriamento e geração de vapor.

As alternativas de tratamento propostas promovem melhora significativa no efluente tratado, fornecendo características compatíveis com os requisitos de qualidade da água para a utilização em sistemas de resfriamento e geração de vapor. Quando aplicadas técnicas de tratamento de maneira isolada não apresentam boa eficiência. Portanto, melhores resultados serão alcançados quando houver a conjugação de tecnologia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos. **Política e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Comissão de Gestão: São Paulo, 64p.

ADIN, A. Particle Characteristic: A Key Factor in Effluent Treatment and Reuse. **Water Science and Technology**, vol. 40, issue 4 - 5, p 67 – 74, 1999.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos**, 2013, p. 45. Disponível em: [http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite\\_relatorioConjuntura/projeto/index.html](http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/index.html). Acesso em 01/02/2017

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos**. Cobrança pelo uso da água: volume 7. Brasília: ANA, 2014

ALMADA, Rafael Barreto. **Processos físico-químicos acoplados para tratamento de efluente industrial para fins de reuso**. 2008. 141p. Dissertação (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

ALDROVANDI, Paula. **Avaliação da ultrafiltração como etapa de polimento no tratamento de efluente hospitalar**. 2014. 41p. Monografia (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

BACCARIN, Lindsay Iara Pegoraro et al. Pós-tratamento físico-químico de efluente sanitário para remoção de fósforo com sais inorgânicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v. 13, n. 2, 2013.

BAKER, J. S., DUDLEY, L. Y. "Biofouling in membrane systems – a review". **Desalination**, v.118, pp. 81-90, 1998.

BRASIL. Decreto-Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 8 de janeiro de 1997; 176º da Independência e 109º da República.

BRASIL. Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios para o reuso de água não potável, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, v. 3, n. 1, p. 31, 28 nov. 2005a. Seção 1, p. 31-36.

CAVALCANTI, José Eduardo. W. A. **Manual de tratamento de efluentes industriais**. São Paulo: Engenho, 2009. 453p.

CAVALCANTI, P. F. F.; VAN HAANDEL, A.; KATO, M. T.; VON SPERLING, M.; LUDUVICE, M. L.; MONTEGGIA, L. O.; **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por lagoas de polimento**. In: CHERNICHARO, C. A. L. (coordenador). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Belo Horizonte – MG, p. 105-170, 2001.

CAVALCANTI, P. F. F. **Aplicação de reatores UASB e lagoas de polimento no tratamento de esgoto doméstico**. João Pessoa-PB. Gráfica Santa Marta; Universidade Federal de Campina Grande, 2009. 172p.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia Científica**. 6ª. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CIARDELLI, G.; CORSI, L. and MARCUCCI, M. - Membrane separation for wastewater reuse in the textile industry. **Resources, Conservation and Recycling**, vol. 31, issue 2, p. 189 – 197, 2000.

DACANAL, M; BEAL, L. L. Filtro anaeróbio associado à membrana de microfiltração tratando lixiviado de aterro sanitário. **Eng. Sanit. Ambient.** v. 15, n. 1, pp. 11-18, 2010. ISSN 1413-4152. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v15n1/v15n1a02.pdf> >. Acesso em: 05 fev 2017.

DE JESUS, Camila Knysak Camargo. **Reaproveitamento de meio de cultivo de *Arthrospira platensis* tratado por processos de microfiltração e ultrafiltração**. 2016, 102 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Bioquímica-Farmacêutica). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

DE MIRANDA DIAS, Nayara; MORALES, Gundisalvo Piratoba; BELTRÃO, Norma Ely Santos. Política dos recursos hídricos no Pará: a evolução do instrumento de outorga de direito de uso dos recursos hídricos. **Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales**, (enero-marzo 2017). Disponível em: <http://www.eumed.net/rev/cccss/2017/01/agua.html>. Acesso em: 24 mar 2017.

DI BERNARDO, Luiz; DI BERNARDO, Angela; CENTURIONE FILHO, Paulo Luiz. **Ensaio de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. Rima, 2002. 237p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. **Guidelines for Water reuse**. Washington (DC), USA, 1992.

FABRETI, Aline Akabochi; **Pós-tratamento de efluentes de lagoas anaeróbias e facultativas com sulfato de alumínio e decantação acelerada**. 2006. 156p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R.; AISSE, M. M. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. 1.ed. Rio de Janeiro.RJ: RiMa/ABES - Projeto PROSAB, 2006.

FIESP, Federação das Indústrias do Estado de São Paulo - Conservação e Reúso de Água para Indústria, **Manual de Orientações para o Setor Industrial**. São Paulo: FIESP/CIESP, vol 1, 90p., 2004.

FIRJAN. **Manual de conservação e reúso da água na indústria**. Rio de Janeiro: DIM, 2006.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios e recarga de aquíferos. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. São Paulo, v.7, n. 4, p. 75-95, 2002.

HESPANHOL, I. Conservação e reúso de água como instrumento de gestão. São Paulo: ABES, 2013. Palestra apresentada em 12/03/2013.

HESPANHOL, I. MIERZWA, J. C.; PIRES, L. C. Propostas de reúso de esgotos tratados pela usina de geração de energia Carioba – II. São Paulo, 2001.

HOWELL, J. A. Future of membranes and membrane reactors in green technologies and for water reuse. **Desalination**. v. 162. p. 1-11, United Kingdom, 2004.

LEITE, A. M. **Reúso de águas na gestão integrada de recursos hídricos**. 2003, 120p. Tese (Mestrado em planejamento e Gestão Ambiental), Universidade Católica de Brasília, Brasília ,2003.

MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício dos (eds.). **Reúso de Água**. Barueri, SP: Manole, 2003. p590.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4. ed. Boston: McGraw-Hill, 2003.

MIERZWA, José.Carlos. **O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria estudo de caso da KODAC Brasileira**. 2002. 367p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MIERZWA, José Carlos; HESPANHOL, Ivanildo; **Reúso de água: uso racional e reúso**. São Paulo: Oficina de textos, 2005. p129.

NEUFFER, D. **Sustainable water supply and wastewater treatment as a contribution to environmental protection**. 6° Simpósio Brasil-Alemanha de Desenvolvimento Sustentável - Amazônia Gestão Integrada do Desenvolvimento Sustentável, 2013, Santarem. Book of Abstracts (Amazonia - integrated management for sustainable development). Santarem: UFOPA, 2013. p. 70-70.

NEVES, S. S. Modelos de comercialização da água de reúso. 4° Encontro Setorial: Desenvolvendo Novas Aplicações para a Água de Reúso. São Paulo: Sabesp, 2012. Palestra apresentada em 05/12/2012.

OLIVEIRA, Amanda Tobias Costa de. **Determinação do fluxo crítico e fluxo limite em membrana de microfiltração utilizada no pós-tratamento de esgoto doméstico**. 2016. 24p. Monografia (Curso de Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

OLIVEIRA, Daniela Romão De. **Pré-tratamento do processo de osmose inversa utilizando a microfiltração e investigação de técnicas de limpeza e recuperação de membranas**. 2007. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

ORISTANIO, B. de S.; PEIG, D. B.; LOPES, M. A. S. **Desenvolvimento de um sistema de pré-tratamento para osmose reversa**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

OSÓRIO, Rafaela Cristina Faria. **Estudo do potencial reúso industrial de água não potável a partir de efluentes domésticos tratados**. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. 141p.

PÁDULA FILHO, H. Sistema de reúso de água: projetos e estudos de casos. In: MANCUSO, P. C. S. e SANTOS, H. F. **dos Reúso de Água**. São Paulo: Manole, 2004, cap. 14, p. 479-490.

PORTAL PETROCHEN. Disponível em: < <http://www.petrochem.pt/pt/area-de-negocio/tratamento-de-aguas/equipamentos/filtracao/o-que-faz-e-como-funciona-uma-osmose-inversa.html>>. Acesso: 25 mar 2017.

PORTO, kamila Freitas. **Estudo de remoção da sílica dissolvida para fins de pré-tratamento de sistemas com membranas**. 2014, 57p. Monografia (Curso de Química Industrial). Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande-PB, 2014.

REGLERO, G. Tecnologías limpias aplicables a la recuperación de productos a partir de subproductos: Extracción por fluidos supercríticos. Universidad Autónoma de Madrid. [online] Disponível em: <http://www.portalechero.com/innovaportal/v/3374/1/innova.front/tecnologia-de-membranas:-aplicables-a-la-recuperacion-de-productos-de-corrientes-liquidadas>>. Acesso em: 05 fev 2017.

SABESP, Companhia de saneamento básico do estado de São Paulo. **Relatório de Sustentabilidade**. São Paulo, 2012.

SANTOS, M. F. **Estudo preliminar da avaliação técnica de metodologias de tratamento terciário do efluente tratado gerado na ETE da Cetrel para reúso em atividades industriais**. Dissertação (mestrado em gerenciamento e tecnologias ambientais no processo produtivo), Universidade Federal do Bahia, Salvador, 2007. 136 p.

SANTOS, E. et al. Uso de esgoto doméstico tratado em lagoas de estabilização na alevinagem de tilápia do Nilo: análise de contaminação microbiológica. In: VIII SIBESA. Fortaleza, 2006. **Anais**. 156p.

SCHNEIDER, R.P.; TSUTIYA, M.T. **Membranas Filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reúso**. 1ª Ed, ABES, São Paulo, 2001.

SENEVIRATNE, M. **A Practical approach: to water conservation for commercial**

**and industrial facilities.** 1.ed. Estados Unidos: Publishing Elsevier Science, 2007.

SHATAT, M.; WORALL M., RIFFAT, S. **Opportunities for solar water desalination worldwide:** Review. *Sustainable Cities and Society*, v. 9, p. 67-80, dez. 2013.

SILVA, Camila Vidal Alves. **Remoção de fósforo em estação compacta de tratamento de esgotos sanitários através de precipitação química.** 2009. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.

SILVA, E. **Avaliação de Impactos Ambientais no Brasil.** Viçosa: SIF, 2011.

TELLES, D. D; COSTA, R. H. P. G. **Reúso da água:** conceitos, teorias e práticas. Editora Edgard Blucher Ltda. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2010. 408 p.

VAN DER BRUGGEN, B. et al. A Review of Pressure-Driven Membrane Processes in Wastewater Treatment and Drinking Water Production. **Environmental Progress**, v. 22, p.46-56, 2003.

VAN HAANDEL, Adrianus; Marais, GERRIT. **O comportamento do sistema de lodo ativado.** Campina Grande: Epgraf, 1999. 488p.

VANZETTO, S. et al. Pós tratamento de lagoa de polimento utilizando coagulação/precipitação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 52., 2012, Recife: **Anais...** Recife, 2012. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2012/trabalhos/5/659-14405.html> //>. Acesso em: 07 mar. 2017.

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização.** 2ª ed. (Impressão ampliada). Belo Horizonte: UFMG/DESA, 2002.

WAGNER, J. Membrane filtration handbook practical tips and hints, **Osmonics Inc.** 2nd, 2001.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and health safeguards, Of a WHO meeting of experts.** Technical report series, Genebra, 1973.

WOSNIAK, Alcely Jose et al. APLICAÇÃO DE OSMOSE REVERSA PARA PÓS-TRATAMENTO DE ÁGUA PARA FINS INDUSTRIAIS (ESTUDO DE CASO) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28., 2015, Rio de Janeiro: **Anais...** Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://www.abes.org.br/cibesa/2015/trabalhos/5/659-14405.html> //>. Acesso em: 04 mar. 2017.