



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UniCEUB  
FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS  
APLICADAS – FATECS**

**PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

**JOÃO PAULO GUIMARÃES TELLES**

**AVALIAÇÃO TEÓRICA DA UTILIZAÇÃO DE MEMBRANAS  
SEMIPERMEÁVEIS NA FILTRAGEM DE EFLUENTES  
LÍQUIDOS**

**BRASÍLIA-DF  
2016**



**JOÃO PAULO GUIMARÃES TELLES**

**AVALIAÇÃO TEÓRICA DA UTILIZAÇÃO DE MEMBRANAS  
SEMIPERMEÁVEIS NA FILTRAGEM DE EFLUENTES  
LÍQUIDOS**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e Pesquisa pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS

Orientação: Davi Tadeu Borges Marwell

**BRASÍLIA-DF  
2016**

## Resumo

Nesta pesquisa, estudaram-se os processos de filtração com o uso de membranas semipermeáveis no reuso ou no reaproveitamento de água para melhorar a qualidade do efluente final, potencializar sua utilização e minimizar os desperdícios. A utilização de elementos filtrantes no tratamento de efluentes é uma alternativa cada vez mais aplicada na remoção de impurezas de efluentes líquidos, no processo de dessalinização de águas salobras ou águas marinhas, no aumento da eficiência no tratamento de efluentes industriais e entre outros. O processo de filtração com a utilização de membranas semipermeáveis é usualmente associado com a aplicação de um gradiente de pressão, normalmente obtido com um conjunto moto-bomba, necessário para que o fluido obtenha a energia necessária para vencer a perda de carga na membrana. Contudo, cada método de filtração possui uma característica própria. Esses métodos têm viabilizado a utilização de águas marinhas ou águas salobras no abastecimento humano e na irrigação. O presente trabalho objetiva analisar o uso de membranas de filtração a partir de resultados experimentais e operacionais nos processos de microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa no tratamento de efluentes líquidos. Nesta análise, construiu-se uma matriz com principais resultados experimentais e dados teóricos obtidos em trabalhos científicos. As informações coletadas foram a vazão de permeado, os tipos de membrana, os principais fabricantes, os custos de produção do permeado, os custos com energia elétrica e a pressão adotada nos diversos métodos utilizados. A partir dos resultados, realizou-se uma análise estatística utilizando o software R com o objetivo de obter os valores mais frequentes para cada método de filtração. A escolha desse software baseou-se nos tipos de ferramentas estatísticas disponíveis e por ser um software livre. Os resultados demonstram que o processo de filtração usando a osmose reversa é o mais eficiente, mas apresenta um custo de operação mais elevado devido ao custo de energia elétrica consumida. A ultrafiltração mostrou-se uma alternativa mais viável para o abastecimento público e a irrigação.

**Palavras-chave:** Membranas de Filtração. Osmose Reversa. Tratamento de efluentes.

## Sumário

1. Introdução.....	5
2. Referencial teórico .....	7
2.1. Método de filtração:.....	8
2.2. Processos de separação por membranas: .....	9
2.2.1. Microfiltração .....	9
2.2.2. Ultrafiltração:.....	10
2.2.3. Nanofiltração .....	12
2.2.4. Osmose Reversa .....	13
2.3. Pré-Tratamento .....	15
2.4. Incrustações <i>Fouling</i> e Retrolavagem.....	16
2.5. Tipo de membranas e desempenho .....	18
3. Metodologia de pesquisa.....	20
4. Resultados .....	21
5. Conclusão e Considerações finais .....	25
Referências .....	26
Anexo I.....	29

## **1. Introdução**

A atual crise de água que se apodera no Brasil e do mundo e vem crescendo abundantemente, porém, água é a principal substância para a circulação da sobrevivência/crescimento da população. Tendo em vista que o produto água é explorado, utilizado e desgastado cada vez mais de forma negligente/imprudente. Com isso, os problemas sobre a escassez de água e a falta de saneamento ocorre quando há o lançamento de produtos gerados por cidades e indústrias em mananciais de água ou em áreas limpas onde a própria corrente de água proveniente das chuvas carregam poluições/resíduos para os leitos dos rios ou pelo o solo através da percolação.

Recentemente ocorreu uma séria crise hídrica em São Paulo, em especial no sistema da Cantareira, provocando vários problemas de desabastecimento para população. Esse sistema foi construído para reservar e abastecer grande parte da cidade de São Paulo, porém com as variações climáticas que aconteceram e também associado ao crescimento populacional, ocorreram algumas consequências, como o racionamento da água devido a diminuição da vazão disponível nos reservatórios. A Sabesp estima que em São Paulo 25% da água se perde no caminho entre a distribuidora e as torneiras das casas, portanto em vez adotar uma política de racionamento, decidiu-se que quem economizar menos 20% do consumo terá um desconto de 30% na conta de água.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (BRASIL, 2013). O sistema de saneamento básico no Brasil e em países em desenvolvimento ainda se encontra muito precário. Estima-se que mais de 80% da água usada no mundo e mais de 90% nos países em desenvolvimento não é coletada e nem tratada. Apenas 39% dos esgotos do país são tratados, 82,5% dos brasileiros são atendidos com abastecimento de água tratada e 48,6% da população têm acesso à coleta de esgoto.

Esta pesquisa consiste em realizar um estudo, baseado em fundamentos teóricos, dos processos de filtração, utilizando membranas formadas por um conjunto de filtros semipermeáveis. O início desse projeto começa pelo pré-tratamento, no qual a função é

controlar as impurezas na água e nas membranas o controle das incrustações. O pré-tratamento pode ser simples ou não, vai depender do grau de agressividade do material e do volume relacionado com a quantidade e a densidade, devido a isso tem a indicar o uso de química com coagulantes ou não (Taylor e Jacobs, 1996).

Portanto, o processo tratamento efluentes por separação por meio de membranas vem conquistando espaços no mercado da água, pelo problema de escassez, mas atentasse que cada membrana tem um tratamento dirigido para tal finalidade, tendo em vista os diversos usos, como a irrigação, o abastecimento humano, uso nas indústrias, a dessalinização águas salobras e entre outros.

Tendo em vista uma grande variedade de métodos de filtração, tais como, microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e a osmose reversa, em que cada um tem uma capacidade de filtração combinado juntamente com a membrana e a pressão de utilização. As membranas têm características próprias como porosidade, vazão, vida útil e material vai que será rejeitado. (VIGNESWARAN et al. 2012)

Um breve exemplo é o Programa Água Doce que visa à implantação, recuperação e a ampliação de dessalinização da água. Esse programa tem uma meta de atender a 2,5 milhões de pessoas. A água se tornou um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola, tendo em vista a ausência de chuvas e, portanto, a pouca disponibilidade de reservas de água doce. O Governo Federal por meio do Ministério do Meio Ambiente atualmente está executando o Programa Água Doce na busca de novas fontes de recursos para complementar a disponibilidade hídrica. A sugestão tecnológica que foi utilizada foi a dessalinização por osmose reversa, porque é o processo com mais eficiência produzir água potável.

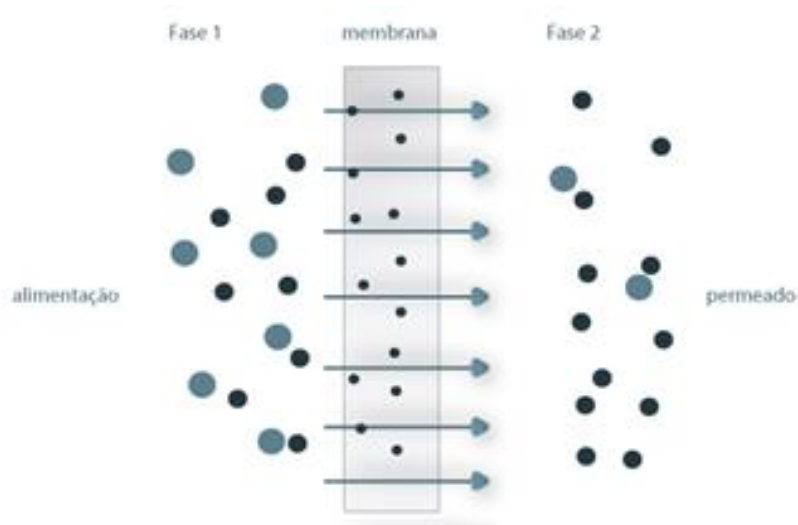
Considerando a relevância do tema, esta pesquisa objetiva apresentar um estudo teórico por meio de uma análise estatística de resultados para avaliar o uso de membranas filtrantes como uma alternativa tecnológica na produção de águas de reuso apresentando um tratamento adequado para cada tipo uso.

## 2. Referencial teórico

Para Ravanchi *et al.* (2009), o processo de filtração por membranas é uma tecnologia que vem cada vez mais ganhando espaços, porque ela contribui para tratamento e o reaproveitamento da água. Esse processo que utiliza membranas como uma barreira seletiva, semipermeáveis, que filtra ou retém as moléculas de tamanhos, pesos e densidades diferentes, evitando o transporte de algumas impurezas; mas pra esse transporte acontecer e graças a uma gradiente de pressão e uma velocidade tangencial de circulação, porém varia de acordo com o tipo da natureza da membrana, morfologia e devido os tamanhos dos poros e entre outros processos; contudo essa força e motriz e aplicada sobre o componente de alimentação.

Os tipos de processos de filtração por membranas permitem o fracionamento de solutos dissolvidos em fluídos líquidos. De acordo com Mulder (1991), esse processo usa o escoamento tangencial ou *crossflow*, promove a separação de partículas sólidas em suspensão de correntes líquidas ou gasosas em escoamento frontal. A membrana é definida como uma barreira permeável e seletiva, que restringe a transferência de massa entre duas fases; (fase 1 = alimentação e a fase 2 = permeado no qual é todo componente que conseguiu atravessar a membrana, visando à filtração detalhada, ou seja, com rejeitos em concentração), conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Representação esquemática de um sistema de duas fases separado por uma membrana



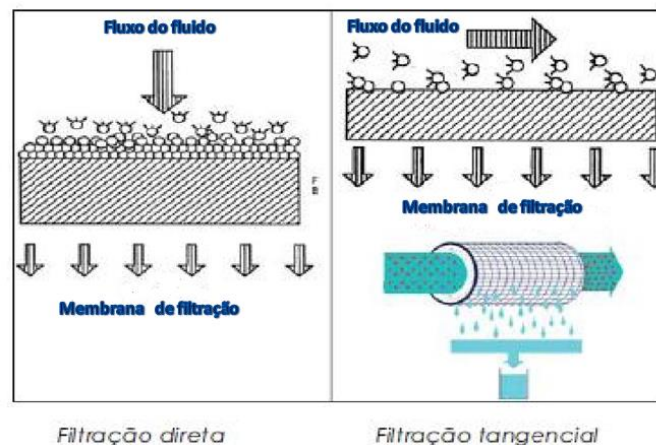
Fonte: Mulder, 1991.

## 2.1. Método de filtração:

Sendo assim existem outros meios de filtragem no qual cada uma tem uma explicação correta, os processos de filtragem estão divididos em gravidade, pressurizada, direta e a tangencial. Segundo Sturm (2012), os tipos de filtração mais utilizados são a filtração por gravidade, pressurizada, direta e tangencial, conforme ilustrado na figura 2. Segundo o mesmo autor esses processos são definidos da seguinte forma:

- Filtração por gravidade: O fluido percola por um meio filtrante devido à força gravitacional;
- Filtração pressurizada: Para que se atinja uma pressão fundamental é necessária à utilização de bombas, para que se obtenha uma velocidade desejável e assim obter uma vazão necessária no meio filtrante;
- Filtração direta ou *dead-end*: O fluido a ser separado é “empurrado” em fluxo frontal para a uma membrana. O processo necessita de retrolavagem periodicamente para eliminar os sólidos acumulados na superfície da membrana. O efluente gerado só ocorre na retrolavagem;
- Filtração tangencial ou *crossflow*: O fluido é deslocado em alta velocidade tangenciando as proximidades da membrana enquanto outra bomba por sucção faz com que o fluido seja aspirado contra as membranas fazendo com que os sólidos fiquem retidos na membrana e água permeada passe. Caso queira a parte que ficou retida na membrana pode ser circulado novamente pela alimentação.

Figura 2: Ilustração da revista Meio Filtrante, os modos de filtração.



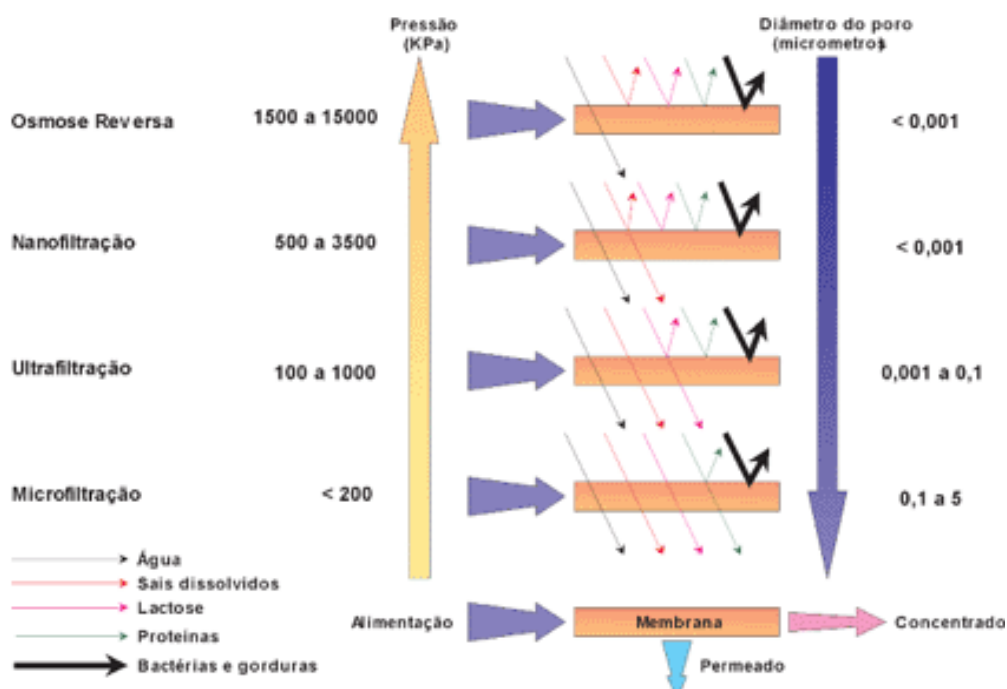
Fonte: STURM (2012), adaptado pelo autor.



## 2.2. Processos de separação por membranas:

Existem quatro tipos de processos de separação por membranas: microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e a osmose reversa. Cada processo está associado a um tipo especial de membrana que apresentam porosidade de tamanhos diferentes e é por esta razão que é possível a separação de matérias com diferentes dimensões, densidades e entre outros. (VIGNESWARAN *et al.*, 2012). A Figura 3 apresenta as principais características dos processos de separação por membranas.

Figura 3: Características dos processos de separação por membranas.



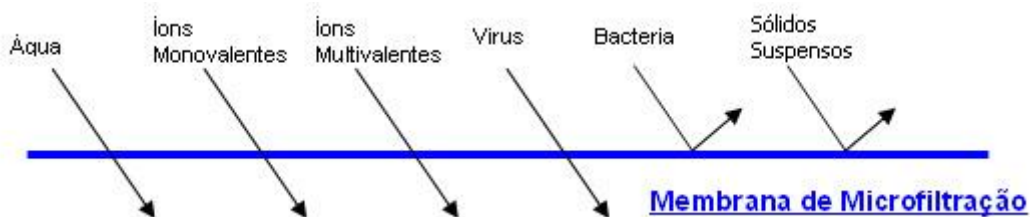
Fonte: Mierzwa *et al.* (2008), adaptado pelo autor.

### 2.2.1. Microfiltração

Para Souza (2009), a microfiltração é um processo de separação por membranas (*cross-flow*) em que há uma força diretriz que é a diferença de pressão, sendo esta menor que 200 KPa (1KPa= 1Kg/m<sup>2</sup>), através da membrana e os poros da membrana. Uma membrana típica de microfiltração possui tamanho com uma porosidade na faixa de 0,1 a 5 micrómetro. São muito utilizadas para separar material particulado em suspensão com tamanhos entre 0,1 e 10 micrómetro. O processo de microfiltração é utilizado para remover sólidos de diferentes composições, formas, tamanhos e pesos em

suspensão e também bactérias de efluente a ser tratado. Mas há uma divergência nesse tipo de filtragem, pois absorve contaminantes virais da água a ser tratada, já que são menores que os poros da membrana de microfiltração e em alguns casos as bactérias se acoplam aos vírus e acabam sendo absorvidos juntos. Além disso, há uma redução na turbidez da água. Esse processo pode ser ilustrado na Figura 4.

Figura 4: Representação da membrana de Microfiltração.



Fonte: <http://www.wgmsistemas.com.br/p1.asp>

Segundo Sturm (2012), a microfiltração reduz a quantidade de vírus, bactérias e material orgânico e o grau de remoção está relacionado ao tamanho da impureza ou composto e também ao tamanho do poro da membrana. Ter um tamanho de poro específico e processos contínuos ajuda a obter como resultado final uma água com qualidade constante, o que é de grande importância para processos em que a qualidade tem que ser boa. Sempre que se puder converter física ou quimicamente um composto num material suspenso com tamanho adequado poderá ser removido pela microfiltração.

De acordo com o mesmo autor a necessidade da aplicação, os módulos de microfiltração podem ser de fibras ocas ou tubulares. Geralmente, as membranas tubulares são usadas para efluentes ou recuperação de metais pesados porque possuem alta resistência química e abrasão. Já as membranas de fibras ocas são utilizadas para água ou processo com sólidos menos abrasivos (STURM, 2012).

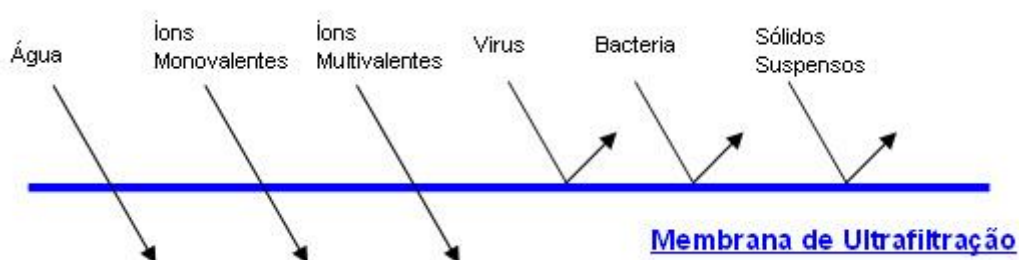
### 2.2.2. Ultrafiltração:

De acordo com estudo realizado por Moura *et al.* (2014), as membranas de ultrafiltração fazem parte de uma família significativamente ampla de membranas.

Essas membranas diferem-se pela porosidade, ou seja, a capacidade de deter sólidos é a principal forma de classificar o tipo da membrana.

A mesma autora estabelece que a ultrafiltração é um processo de separação por membranas utilizadas quando se deseja purificar e fracionar soluções contendo macromoléculas. As membranas da ultrafiltração apresentam poros na faixa de 0,001 a 0,1 micrómetro, ou seja, menores do que a microfiltração, mas conseqüentemente com menor permeabilidade, tendo que trabalhar com uma pressão ou uma força motriz entre 100 a 1000 KPa (1KPa= 1Kg/m<sup>2</sup>) que é necessária para obter fluxos permeados elevados o suficiente para que o processo possa ser utilizado industrialmente. A representação esquemática desse método pode ser visualizada na Figura 5.

Figura 5: Representação da membrana de ultrafiltração.



Fonte: <http://www.wgmsistemas.com.br/p1.asp>

Membranas de ultrafiltração têm o objetivo de purificar soluções contendo matéria biológica, rejeitar solutos, normalmente macromoléculas, como as proteínas, sendo que no permeado passam açúcares e sais. A ultrafiltração promove a remoção de sólidos suspensos, bactérias e vírus, compostos orgânicos dissolvidos e substâncias inorgânicas dissolvidas, podendo substituir as tecnologias de sedimentação e filtração em areia, produzindo uma água com melhor qualidade (MOURA *et al.* 2014).

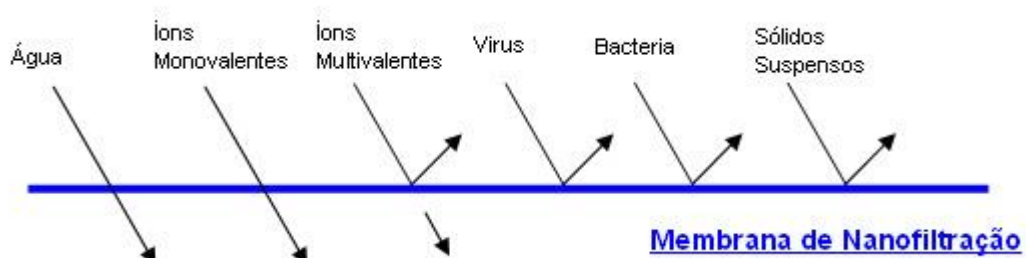
Existem diversos tipos de membranas de ultrafiltração, mas as mais usadas são as de fibra oca que, quando projetadas para fluxo de fora para dentro, deixam o lado ativado do lado de fora, enquanto o permeado limpo passa através da membrana. A água limpa, então, sai pelas paredes da membrana.

Segundo Moura *et al.* (2014), a eficiência das membranas é amplamente comprovada, sendo que a qualidade da água ou do efluente tratado é altíssima. Por isso, as membranas também ajudam as empresas a cumprirem as exigências para os lançamentos de efluentes em corpos receptores e sistemas de coleta de esgotos sanitários. O problema é o seu custo, que depende muito da vazão de água, que é estabelecida com base de dados obtidos através planos, e com isso é o que faz muitas empresas desistirem de implantá-la. Além disso, este método costuma ser bastante utilizado como pré-tratamento de águas superficiais, água de mar, e efluentes biologicamente tratados, para os sistemas de desmineralização por membranas. A ultrafiltração é método é mais utilizado para a concentração do retido, fracionamento de solutos, purificação de água para consumo humano e tratamento de esgotos.

### 2.2.3. Nanofiltração

De acordo com Cirra (2011), a nanofiltração compõe um tipo de membrana que é mais fino do que a de ultrafiltração, mas não tão fino como a de osmose reversa. O diâmetro dos poros é da ordem menor que 0,001 micrómetro. O mecanismo de separação de filtração também envolve solubilidade e difusão. A pressão osmótica começa a ter influência sobre o fluxo de solvente através da membrana. A representação esquemática da nanofiltração pode ser observada na Figura 6.

Figura 6: Representação da membrana de nanofiltração.



Fonte: <http://www.wgmsistemas.com.br/pl.asp>

Segundo o mesmo autor, o processo de nanofiltração permite separar as moléculas de acordo com seus tamanhos específicos. A separação é obtida através da membrana e aplicação de um gradiente de pressão 500 a 3500 KPa (1KPa = 1Kg/m<sup>2</sup>).

Esta tecnologia é frequentemente usada na separação de substâncias orgânicas, tais como micropoluentes e íons polivalentes, mas, neste processo os íons monovalentes passam livremente pela membrana. Espécies iônicas maiores, incluindo íons bivalentes e multivalentes, e moléculas mais complexas são amplamente retidas. O mecanismo de transferência de massa é a difusão que permite que certas soluções iônicas (tais como: sódio e cloretos), predominantemente íons monovalentes, bem como água, se propaguem. Remove cálcio e magnésio, mas não é tão eficiente na remoção de dessalinização deixando passar um pouco de cloro.

Portanto, a nanofiltração é utilizada em várias áreas, tais como dessalinização corantes líquidos ou concentrar antibióticos. A utilização desta tecnologia tem crescido consideravelmente nos últimos anos. Nos dias de hoje é muito comum à utilização da nanofiltração na purificação de águas, no processo de abrandamento de água, na descoloração e na remoção de micropoluentes (CIRRA, 2011).

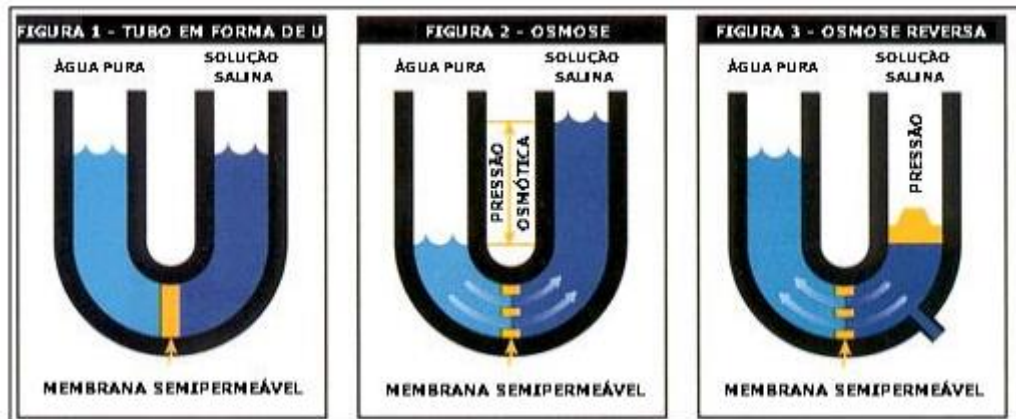
#### 2.2.4. Osmose Reversa

O último método de filtração apresentado neste trabalho é a osmose reversa. A osmose é uma propriedade coligativa conceituada como a passagem de solvente através de membrana semipermeável não porosa, muito parecido com o que ocorre dentro das células. O significado da palavra osmose: difusão de solvente da solução menos concentrada para a mais concentrada, igualando assim à concentração de ambas as soluções. (FOGAÇA, 2016)

De acordo com Ferraro (2008), a pressão osmótica das soluções é proporcional à concentração de soluto. Para que a produção de permeado seja razoável, a diferença de pressão hidrostática através da membrana tem que ser elevada, para água, varia entre 1500 e 15000 KPa ( $1\text{KPa} = 1\text{Kg/m}^2$ ). Ao interpretar à pressão osmótica é a pressão necessária para que a osmose não ocorra em uma solução, pressão osmótica aumenta conforme o número de partículas dissolvidas em uma solução. Os poros são menores que 0,001 micrômetros e sua tecnologia é capaz de deixar passar apenas água pelas suas membranas, retendo inclusive íons. A osmose reversa significa uma inversão de cursores ou de sentido de fluxo, isso só ocorre quando se aplica a grandes pressões sobre o meio aquoso, conseqüentemente contrariando o fluxo natural da osmose. A explicação da osmose reversa é a membrana que permite apenas a passagem do

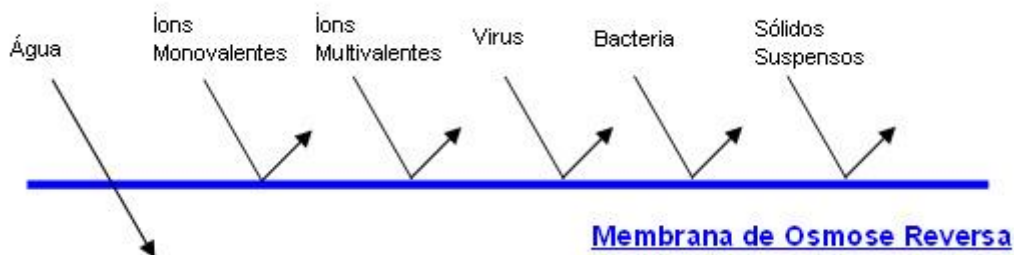
solvente, retendo os demais solutos como, o resultado final desse processo é uma água ultrapura, em que a remoção do efluente pode chegar a 99% dos sais dissolvidos. O funcionamento desse processo é apresentado nas Figuras 7 e 8.

Figura 7: Diagrama esquemático osmose reversa.



Fonte: [www.waterworks.com.br/osmosereversa\\_tecnologia.html](http://www.waterworks.com.br/osmosereversa_tecnologia.html)

Figura 8: Representação da membrana de osmose reversa.



Fonte: <http://www.wgmsistemas.com.br/p1.asp>

De acordo com Aguiar (2010) a utilização da osmose reversa está ligada a separação de íons, onde dentre eles são:

- Irrigação: Devido ao uso de águas de rio ou poço surgiu um problema de acumulação de sais em solo na agricultura, pois a partir de certo patamar de sais no solo há danos às plantações. A Osmose Reversa é capaz de remover este excesso de sais de forma economicamente viável.

- Produção de produtos químicos: Hospitais, conglomerados farmacêuticos e laboratórios utilizam o processo de Osmose Reversa para garantir máxima pureza em seus produtos.
- Dessalinização de água do mar: Devido à falta de fontes de água potável para consumo humano quanto para outros processos, o uso de águas do mar vem crescendo e a membrana de Osmose Reversa pode reduzir a concentração de cloreto de sódio, tornando esse processo mais viável.

A diferença entre os processos de filtração é que cada um filtra um determinado tipo de substâncias de acordo com o tamanho dos poros e das substâncias. Isso porque é uma tecnologia que serve tanto para tratamento de água como também para efluente, pré-tratamento ou para sólido, remoção de compostos específicos.

### 2.3. Pré-Tratamento

A primeira etapa para o controle de incrustações nas membranas é o pré-tratamento do efluente no qual vai alimentar o tal processo, isso ocorre para não sobrecarregar o processo. A micro-filtração é o mais simples do pré-tratamento, porque ele não envolve nenhuma química, porém quando há uma água de superfície é tratada, as referências de pré-tratamento simples podem ter mudanças como, ajustes de PH, adição de químicas, sedimentação e entre outros. Devido a isso, o processo pode ser mais grosseiro (BRASIL, 2012).

De acordo com o fabricante Filmtec (1995) é fundamental um sistema de pré-tratamento para garantir a eficiência é o tempo de vida do sistema de osmose reversa. A seleção do pré-tratamento apropriado deve ser de forma que aumente a eficiência e a vida da membrana e diminua a quantidade de sólidos suspensos na água de alimentação, tais como a precipitação de sais solúveis como o Carbonato de Cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) ou Sulfato de Bário ( $\text{BaSO}_4$ ) e outros agentes químicos que geram a degradação da membrana. Com todos esses recursos elaborados temos um produto de fluxo permeado otimizado, rejeição de agentes químicos, recuperação do produto e também o custo de operação.

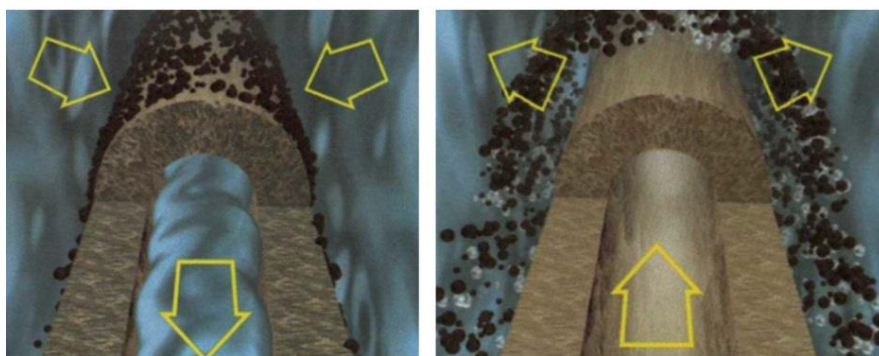
Para Taylor e Jacobs (1996 apud BRASIL, 2012), alguns fatores a de ser analisados ou até levados em consideração quando um sistema precisa de um pré-tratamento são o material no qual é construída a membrana, a qualidade da água de alimentação, a taxa de recuperação e a qualidade final da água do permeado.

#### 2.4. Incrustações *Fouling* e Retrolavagem

Segundo Amjab (1992 apud BRASIL, 2012) a acumulação da matéria orgânica cria um *fouling* ou obstrução nas superfícies de membranas. Isso acontece quando não ocorre o transporte de sólidos da superfície da membrana para o fluxo de alimentação. Como consequência, os sais dissolvidos, os sólidos suspensos e os microrganismos ficam retidos na superfície da membrana, dificultando a filtração do permeado e reduzindo o desempenho dos componentes filtrantes.

Para melhorar o desempenho das membranas torna-se importante a limpeza periódica para a desobstrução e garantia da a qualidade e do fluxo da água do permeado. A perda de água pode chegar a 30% do volume de água alimentada no sistema. Há sistemas onde esta perda pode ser reduzida para 15 ou 20%, pois a rejeição dependerá da concentração de material a ser separado (ROTHBARTH, 2011). O processo de retrolavagem após utilização da membrana é ilustrado na Figura 9.

Figura 9: Processo de retrolavagem da membrana após sua utilização.



Fonte: Petrus (2008).

De acordo com o mesmo autor o desempenho e a vida útil das membranas dependem da variação de pH da água, da temperatura da água, da pressão de



bombeamento da água bruta e presença de cloro livre, sendo que cada fator influencia de forma diferente no comportamento do processo de filtração.

Os processos de incrustações podem ser inorgânicos ou biológicos. As incrustações provenientes de depósitos inorgânicos também são chamadas de *scaling* e as incrustações de origem orgânica são chamadas de *biofouling*.

Para Sousa (2003) os *scalings* são sais solúveis na água que precipitam e se cristalizam na superfície e nos poros das membranas. Isso acontece porque a área externa próxima à membrana a concentração de sais é bem superior à concentração do sal na água de entrada o que faz com que limite de solubilidade seja atingido e com isso ocorre a precipitação de materiais sólidos.

Já o *biofouling* ocorre devido a interação complexa entre o material da membrana e os micro-organismos associados os parâmetros do processo. Em síntese, o *biofouling* é o crescimento do biofilme na superfície da membrana. (AMJAD, 1992 apud BRASIL 2012).

De acordo com Schneider e Tsutiya (2001 apud BRASIL 2012), na osmose reversa, a ocorrência de biofilme é produzida pela contínua redução do fluxo através das membranas ou pelo aumento da pressão de operação, necessária para manter uma determinada vazão de permeado. Em casos extremos, o biofilme pode causar a ruptura das membranas. Nos biofilmes de membranas há uma predominância de ocorrência de bactérias.

O controle da incrustação de uma membrana pode ser realizado a partir da garantia do limite de solubilidade sais dissolvidos no fluido. Por exemplo, se um sistema de osmose reversa operar com uma recuperação de 50%, a concentração do concentrado será o dobro da concentração na corrente da alimentação. Com isso, o aumento da recuperação eleva o risco de ocorrência incrustação. (BRASIL, 2012).

De acordo Schneider e Tsutiya (2001 apud BRASIL 2012) para o controle do *biofouling* deve-se selecionar adequadamente as membranas para os sistemas, otimizar a pressão de filtração analisando o rendimento do processo, elevar a velocidade de

transporte na direção paralela a membrana e garantir uma limpeza periódica da membrana para evitar a formação do biofilme.

Outra forma de controle também apresentada pelos mesmos autores é a utilização do pré-tratamento para o risco de formação de biofilmes na superfície da membrana. A remoção dos micro-organismos da água de alimentação e a diminuição da matéria orgânica disponível para o crescimento dos micro-organismos são consideradas as medidas mais eficazes no controle da incrustação das membranas. Outrossim, a análise da qualidade de água que será tratada é primordial para a seleção de membranas.

## 2.5. Tipo de membranas e desempenho

Segundo Scott & Hughes (1996 apud Faedo *et al.* 2013), os tipos de membranas utilizadas dependem da forma e da natureza do material. Essas características também estabelecem o tipo de aplicação e a eficiência do processo de separação. Esses processos são definidos a partir dos mecanismos de separação, que são capazes de fracionar diversas espécies de diferentes tamanhos.

O desempenho e a eficiência da membrana estão diretamente relacionados com a característica química, a estrutura do material, a temperatura, a pressão de aplicação, a vazão de alimentação e as interações entre componentes no fluxo de alimentação e interface da membrana. (Coutinho *et al.* 2009).

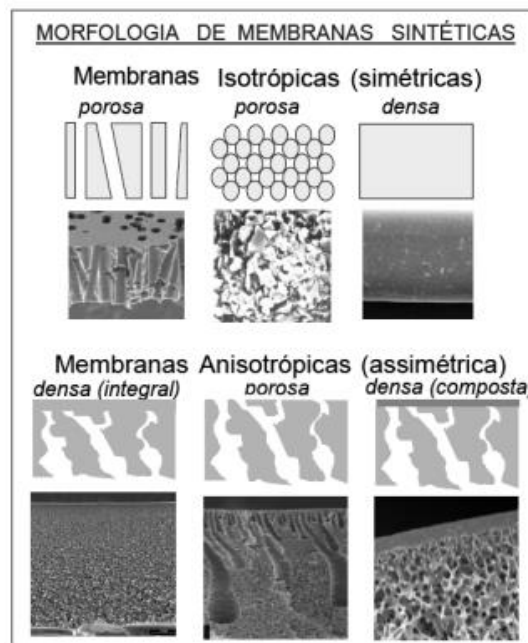
Segundo Habert *et al.* (2006), as membranas podem ser classificadas de acordo com a estrutura ou morfologia em simétricas, assimétricas, porosas ou densas conforme apresentado a seguir e na Figura 10:

- Simétricas: Quando as propriedades são iguais ao longo da seção transversal. As membranas simétricas podem ser densas (homogêneas) ou porosas (heterogêneas), sendo que as porosas apresentam uniformidade ao longo da sua espessura.
- Assimétricas: Quando as propriedades variam ao longo da seção transversal. As membranas assimétricas apresentam um gradiente de porosidade ao longo da sua espessura, podendo ser totalmente porosas ou formadas por dupla camada constituída de uma parte densa, responsável pela seletividade, e outra porosa que funciona como suporte, estas membranas são denominadas assimétricas

integrais. Quando a camada superior da membrana e o suporte poroso são feitos de materiais diferentes, a membrana denominada composta. As características da superfície da membrana é que vão definir a utilização de uma membrana porosa ou densa.

- Membranas porosas: Os micrósporos da membrana são parecidos a um filtro convencional. Tem uma estrutura distribuída rígida casualmente nula com poros interconectados. Os poros diferem de um filtro convencional por ser extremamente pequeno, na ordem de 0,01  $\mu\text{m}$  a 10  $\mu\text{m}$  de diâmetro. As partículas com diâmetro maior que os poros da membrana são rejeitados.
- Membranas densas: Consistem de um filme denso. O permeado é transportado mediante uma força motriz originada de uma pressão, concentração e gradiente de potencial elétrico. A separação de componentes de uma mistura está diretamente relacionada à taxa de transporte relativa deles/delas dentro da membrana, que é determinado pela difusão e solubilidade dos mesmos no material da membrana.

Figura 10: Representação esquemática dos tipos de membranas quanto a estrutura.



Fonte: (HABERT, 2006).

### 3. Metodologia de pesquisa

A estratégia metodológica adotada na presente pesquisa baseou-se na coleta de dados de artigos científicos nacionais e internacionais. Para tanto, elaborou-se uma matriz com principais resultados experimentais e dados teóricos obtidos em trabalhos científicos. As principais informações coletadas foram a vazão de permeado, os tipos de membrana, os principais fabricantes, os custos de produção do permeado, os custos com energia elétrica e a pressão adotada nos métodos de microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa no tratamento de efluentes líquidos.

Visando padronizar e comparar os dados pesquisados, em especial as informações de artigos internacionais, as unidades dos dados foram convertidas para o sistema internacional de unidades.

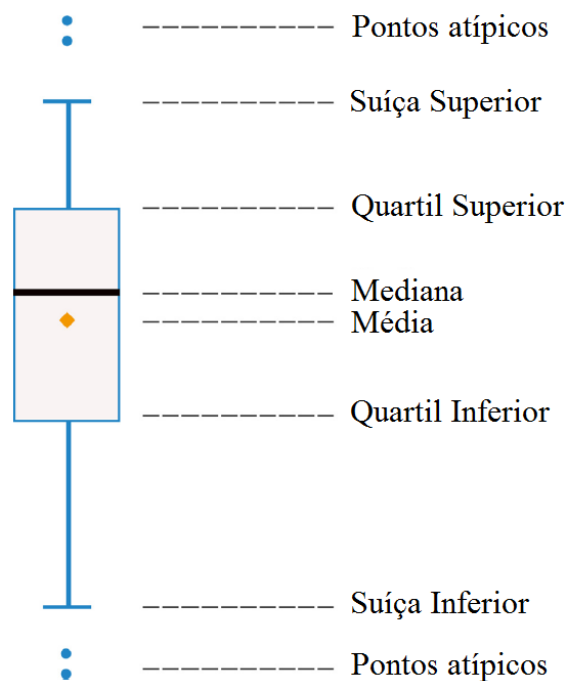
A partir dos resultados, realizou-se uma análise estatística qualitativa e quantitativa utilizando o software R com o objetivo de obter os valores mais frequentes para cada método de filtração. A escolha desse software baseou-se nos tipos de ferramentas estatísticas disponíveis e por ser um software livre.

Além disso, o objetivo da utilização desse software foi desenvolver novas habilidades especialmente na construção de gráficos que possuem uma maior versatilidade e sofisticação na apresentação dos resultados. Outra potencialidade do R é que ele é compatível com a plataforma Windows, Unix e Linux.

Utilizou-se o gráfico tipo *boxplot* do R para apresentação dos resultados porque ele permite a visualização de forma intuitiva e direta dos parâmetros estatísticos mínimos (suíça inferior), máximos (suíça superior), mediana, média, quartil superior, quartil inferior e pontos atípicos (*outliers*). A forma de apresentação dos resultados pode ser observada na Figura 11.

Essa análise estatística foi aplicada as informações obtidas a partir da consulta dos catálogos de fabricantes de membranas de filtração. Os principais dados avaliados foram a pressão de utilização para cada processo de filtração, bem como a vazão de utilização.

Figura 11: Apresentação esquemática do gráfico tipo *boxplot* do software R



Fonte: (Adaptado de Liu et al., 2016).

#### 4. Resultados

Com os dados pesquisados construiu-se uma matriz com o resumo das principais informações relacionadas com os processos de filtração por membranas. Os dados foram agrupados de acordo com o método de filtração. A matriz com os resultados é apresentada na Tabela 1.

Os resultados da Tabela 1 demonstram que o processo de filtração utilizado na osmose reversa é o mais eficiente, mas apresenta um custo de operação mais elevado devido ao custo de energia elétrica consumida. A ultrafiltração mostrou-se uma alternativa mais viável para o abastecimento público e a irrigação.

As técnicas que apresentam melhor desempenho e que são mais utilizadas no tratamento de águas residuárias e na dessalinização são a ultrafiltração e a osmose reversa. Esses processos utilizam membranas semipermeáveis. As membranas mais frequentes adotadas nos trabalhos experimentais pesquisados são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1: Matriz de resultados

Periodico	Autor	Processo	Membrana	Fabricante Membrana	Vazão do permado	Custo	Pressão	Uso
Desalination	Bunani et. al. (2013)	Nanofiltração	NF-90 (best); CK; NF-270	NF-90 (Dow Film Tech); CK (GE Osmonics); NF-270(Dow Film Tech)	NF-270 (81L/h m <sup>2</sup> ; NF-90 (49,3 L/h m <sup>2</sup> e CK (26,6 L/h m <sup>2</sup>	-	NF - 90 (1 MPa)	Irrigação
Desalination	Bunani et. al. (2015)	Osmose Reversa	AK-BWRO ; AD-SWRO	AK-BWRO (GE Osmonics) ; AD-SWRO (GE Osmonics)	AK-BWRO (38,0 L/h m <sup>2</sup> ) ; AD-SWRO (3,81 L/h m <sup>2</sup> ) e valor médio de (3,81 L/h m <sup>2</sup> ) para AD-SWRO a 20 bar	-	AK-BWRO (1 MPa) ; AD-SWRO (2 MPa)	Irrigação
Desalination	Arias et al. (2011)	Osmose Reversa	Toray TM710 ; Hydranautics ESPA2-4040 ; Filmtec BW30-4040	Toray ; Hydranautics ; Filmtec	vazão da planta piloto 220 L/h (5,3 m <sup>3</sup> /dia)	e 3,06 cent €/m <sup>3</sup> Hydranautics; 3,62 cent €/m <sup>3</sup> Toray e 4,01 cent €/m <sup>3</sup> Filmtec	-	Irrigação
Membranes	Choi et al. (2015)	Osmose Reversa e Pre-tratamento	Area da membrana espiral 40m <sup>2</sup>	-	RO (15LMH); FO-RO (15LMH); FO - FO-RO agua do mar 92.592m <sup>3</sup> /d e esgoto 138.888m <sup>3</sup> /d; RO - FO-RO agua do mar 166.666m <sup>3</sup> /d	Custo da Membrana USD 40/m <sup>2</sup> (membrana de 40m <sup>2</sup> ); Custo da água RO USD 0.75/m <sup>3</sup> ; Custo da água FO-OR USD 0.71 a 0.78/m <sup>3</sup> ; Custo de Energia Elétrica 2,26 kWh/m <sup>3</sup> FO - OR; Custo de Energia Elétrica 2,92 kWh/m <sup>3</sup> OR	OR (5,76 MPa) - OR e Pre-trat. (4,60 MPa)	Abastecimento
Desalination	Blandin et al. (2015)	Osmose Reversa e Pre-tratamento	HTI CTA (10,1L/(m <sup>2</sup> h)); HTI CTA-W (5,0 L/(m <sup>2</sup> h)); HTI CTA-NW (4,4 L/(m <sup>2</sup> h)); HTI TFC (10 L/(m <sup>2</sup> h)); Oasys TFC (30 L/(m <sup>2</sup> h)); OR membrana SW30 NW (2,2 L/(m <sup>2</sup> h)); SW30 (7,3 L/(m <sup>2</sup> h))	Oasys TFC	30 L/(m <sup>2</sup> .h)	RO 1,6 a 4,0 kWh/m <sup>3</sup> ; FO-RO 2,25 a 2,5 kWh/m <sup>3</sup> ; RO 0,76 UDS/m <sup>3</sup>	0,5 - 1 Mpa	Reuso de água
Desalination	Quintanilla et al. (2011)	Osmose Reversa e Pre-tratamento	BW 30	Dow-Filmtec, Midland, MI	UF - LFRO 10,5 L/(m <sup>2</sup> .h) e SWRO 5,5 L/(m <sup>2</sup> .h)	RO 2,5 a 4 kWh/m <sup>3</sup> ; FO-RO 1,3 a 1,5 kWh/m <sup>3</sup> e 1,5 a 1,7 kWh/m <sup>3</sup> ; SWRO ( USD 0.59 - 1,5/m <sup>3</sup> ) ; custo da membrana FO 30 USD/m <sup>2</sup>	1,5 Mpa	Reuso de água
Membranes	Pulido et. al (2013)	Osmose Reversa	SC series	SC series	21,1 L/(m <sup>2</sup> .h)	RO 0,87 €/m <sup>3</sup>	2,5 Mpa	Industrial de alimentos
Desalination	Gökçek e Gökçek (2015)	Osmose Reversa	SW30HRLE-370/34i	Filmtec	1m <sup>3</sup> /h	Custo da água RO USD 0.866 a 2,846 /m <sup>3</sup> ; Custo de Energia Elétrica 0,077 a 0.155 kWh/m <sup>3</sup> RO;	4,023 Mpa	Abastecimento
Eng. Sanit. Amb.	Loutenschläger et al (2009)	Ultrafiltração	HF – 82-35-PM100 ; HF – 92-35-PMTOC	Koch	682 a 697 L/h	-	0,08 a 0,3 Mpa	Reuso de água
Eng. Sanit. Amb.	Mierzwa et al. (2008)	Ultrafiltração	GK-4040F	GE-Water	Taxa de fluxo: 28,26 L/(m <sup>2</sup> .h); Vazão de permeado (L/h a 25°C) 179, 5 ± 29,53	0,40 R\$/m <sup>3</sup> (02 de junho de 2006, R\$ 2,29/US\$.)	0,418 Mpa	Abastecimento
Eng. Sanit. Amb.	Brião e Tavares et al. (2007)	Ultrafiltração	membrana tubular de polivinilideno - PVDF (HFM 180 ; membrana espiral de polietersulfona (PES), modelo HFM 131	Koch Membrane Systems	18 kg/(m <sup>2</sup> .h) para a membrana espiral e 50 kg/(m <sup>2</sup> .h) para a membrana tubular	-	0,294 MPa	Uso Industrial

Tabela 2: Membranas mais utilizadas nos trabalhos experimentais pesquisados.

Processos	Membranas	Fabricantes
Ultrafiltração	HF – 82-35-PM100; HF – 92-35-PMTOC	Koch Membrane Systems
Ultrafiltração	GK-4040F	GE-Water
Ultrafiltração	HFM 180; HFM 131	Koch Membrane Systems
Osmose Reversa	BW 30	Dow-Filmtec
Osmose Reversa	TM710	Toray
Osmose Reversa	ESPA2-4040	Hydranautics
Osmose Reversa	BW30-4040	Filmtec

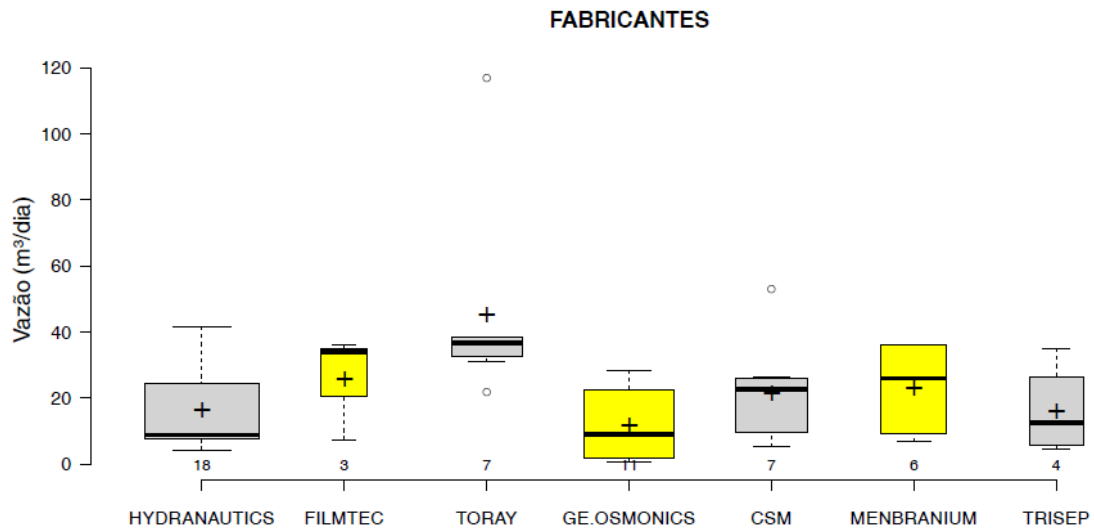
A vazão média de permeado ou vazão produzida com a utilização de membranas de ultrafiltração foi de 32,1 L/(h.m<sup>2</sup>), considerando uma pressão média de cerca de 0,3MPa e apresentando um custo médio de produção de água em torno de 0,92 \$/m<sup>3</sup> (3,66 R\$/m<sup>3</sup>) de acordo com os trabalhos avaliados. Para o processo de ultrafiltração, os usos identificados foram o abastecimento, o reuso de água e o uso industrial.

No caso da utilização de membranas de osmose reversa, a vazão média de permeado foi de 12,7 L/(h.m<sup>2</sup>) e o custo de produção foi de 0,83 \$/m<sup>3</sup> (3,32R\$/m<sup>3</sup>), associado a consumo médio de energia elétrica de 2,48 kWh/m<sup>3</sup> e uma pressão média de 2,7 MPa. Os trabalhos experimentais examinados mostraram que a utilização do pré-tratamento prévio contribui para melhorar eficiência do processo de osmose reversa. Para o processo de osmose reversa com em sem a utilização de pré-tratamento, os usos verificados foram o abastecimento, o reuso de água, a irrigação e o uso industrial.

Outra análise realizada foi a obtenção dado a partir dos catálogos dos principais fabricantes de membranas. As informações mais relevantes consideradas na análise foram a pressão de utilização e a vazão de permeado produzida para os processos de microfiltração, nanofiltração, ultrafiltração e osmose reversa, conforme apresentado no Anexo I. Os resultados dessa análise podem ser visualizados nas Figuras 12 e 13. Optou-se também pela apresentação dos resultados utilizando o tipo de gráfico *boxplot* do software R, pois este tipo de gráfico permite a visualização direta dos principais parâmetros estatísticos conforme apresentados na Figura 11.

Figura 12: Os resultados obtidos pelo R de vazão para os fabricantes pesquisados e gráfico *boxplot*.

	Hydranautics	FILMTEC	Toray	GE.OSMONICS	CSM	MENBRANIUM	TRISEP
suiça superior	41.60	36.00	38.60	28.40	26.50	36.00	35.00
3º quartil	24.60	35.00	38.60	22,35	26.00	36.00	26.50
Mediana	8,75	34.00	36.70	9.00	22.70	26.00	12.50
1º quartil	7,60	20,70	32.55	1.80	9,45	9.10	5.75
Lower suiça	4,30	7,40	31.00	0.80	5.30	6,80	4.50
Nr. de pontos de dados	18.00	3.00	7.00	11.00	7.00	6,00	4.00
Média	16,59	25.80	45.41	11,96	21.69	23.32	16.12

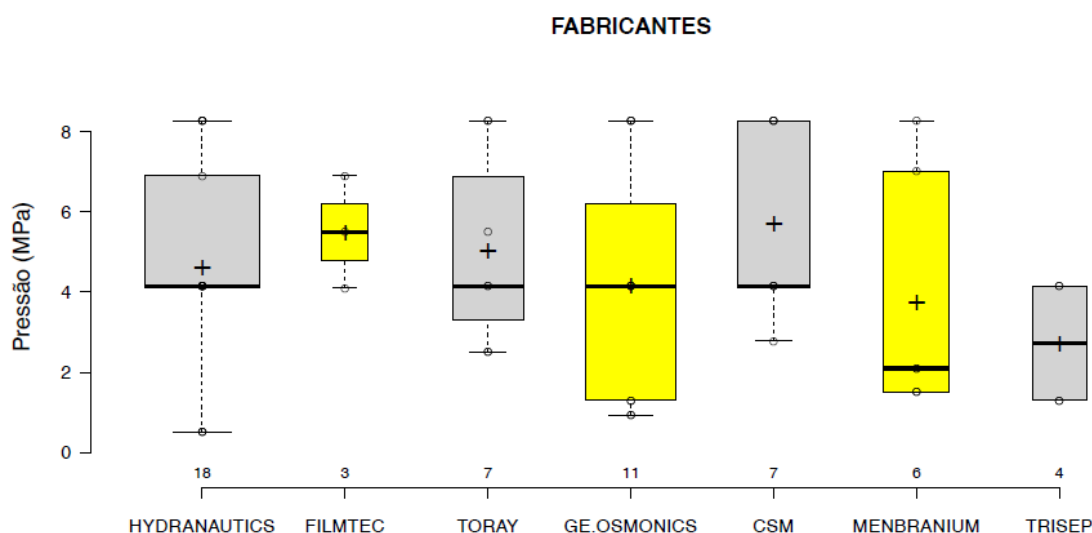


Analisando os resultados da Figura 11, observa-se que a média dos valores de vazão para os fabricantes consultados apresentam valores que variam de 11,96 a 45,41 m<sup>3</sup>/dia. O fabricante Menbranium é o que dispõe de membranas com a maior amplitude de vazões variando de 6,8 até 36 m<sup>3</sup>/dia. Por outro lado, o fabricante Toray apresentou a menor amplitude variando de vazão variando de 31,0 até 38,60 m<sup>3</sup>/dia. Além disso, verifica-se cada fabricante possui membranas próprias para cada método de filtração, sendo assim vazões diferem devido ao tipo de processo utilizado.

Figura 13: Os resultados obtidos pelo R de pressão para os fabricantes pesquisados e gráfico *boxplot*.

	Hydranautics	FILMTEC	Toray	GE.OSMONICS	CSM	MENBRANIUM	TRISEP
suiça superior	8,27	6,90	8,27	8,27	8,27	8,27	4.14
3º quartil	6,90	6.20	6,88	6.21	8,27	7.00	4.14
Mediana	4.14	5,50	4.14	4.14	4.14	2.10	2,72
1º quartil	4.14	4.80	3,32	1.30	4.14	1,50	1.30
Lower suiça	0.50	4.10	2.50	0,93	2,78	1,50	1.30
Nr. de pontos de dados	18.00	3.00	7.00	11.00	7.00	6,00	4.00
Média	4,60	5,50	5.05	4.17	5,72	3,75	2,72





Avaliando o gráfico da Figura 11, verifica-se que a média dos valores de pressão para os fabricantes consultados apresentam valores que variam de 2,72 a 5,72 MPa. O fabricante Membranium é o que dispõe de membranas com a maior amplitude de pressões variando de 1,5 até 8,27 MPa. Ademais, o fabricante Filmtec apresentou a menor amplitude variando de vazão variando de 4,10 até 6,90 MPa.

## 5. Conclusão e Considerações finais

Essa pesquisa foi elaborada, visando contribuir para a identificação das principais membranas utilizadas com o objetivo de fornecer subsídio para a escolha do tipo de processo mais adequado no tratamento de efluentes. Ao analisar e interpretar os resultados pode ressaltar que a osmose reversa é o método mais utilizado no processo de separação por membranas.

Ademais, os resultados demonstram que o processo de filtração usando a osmose reversa é o mais eficiente, mas apresenta um custo de operação mais elevado devido ao custo de energia elétrica consumida e a ultrafiltração mostrou-se uma alternativa mais viável para o abastecimento público e a irrigação.

Os resultados de pesquisa apresentam algumas alternativas que podem ser utilizadas para mitigar os problemas associados a escassez de água, verifica-se que os processos de separação por membranas têm uma alta flexibilidade de modo a se

adaptarem aos diversos tipos de efluente e usos. Dessa forma, a utilização dessa variedade de membranas que depende muito da sua funcionalidade, devido as suas especificações como: o material, o processo utilizado (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e a osmose reversa), tamanho dos poros, configuração e a operação.

O uso de processos de membranas para a produção de água potável está se tornando uma alternativa ao tratamento convencional. A antecipação de leis mais rigorosas, diminuindo a disponibilidade de fontes aquedadas de águas brutas, faz com que mais pesquisas se façam necessárias sobre o uso de processos de filtração por membranas. O estudo realizado partindo das potencialidades do processo de separação por membranas pode contribuir como forma de apresentação de uma tecnologia disponível para ser utilizada com uma alternativa possível de aplicação principalmente num cenário de crise hídrica.

## Referências

AGUIAR, Jorcy. Tratamento de água – osmose reversa. 2010. Disponível em: <<http://jorcyaguiar.blogspot.com.br/2010/12/tratamento-de-agua-osmose-reversa.html>>. Acesso em: 9 de jun. de 2016.

ARIAS, Maria F. C. *et. al.* Approximate cost of the elimination of boron in desalinated water by reverse osmosis and ion exchange resins. *Desalination*, v.273, p. 421-427, Jun 2011.

BRASIL. Ministério das Cidades (MCid). *Diagnostico dos Serviços de Água e Esgoto*, p.432, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA), *Programa Água Doce – Documento Base*, p. 321, 2012.

BLANDIN, Gaetan *et. al.* Opportunities to reach economic sustainability in forward osmosis–reverse osmosis hybrids for seawater desalination. *Desalination*, v.363, p. 26-36, Mai 2015.

BONATTO, Jaqueline. *Remoção de poluentes de efluentes da indústria de laticínios para fim de reuso de água através da técnica de Osmose Inversa*. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Ambiental, UPF, Passo Fundo, 2010.

BRIÃO, Vandrê B. e TAVARES, Célia R. G. Ultrafiltração como processo de tratamento para o reuso de efluentes de laticínios. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v.12, n.2, p. 134-138, Abr-Jun 2007.

BUNANI, Samuel *et. al.* Application of nanofiltration for reuse municipal wastewater and quality analysis of product water. *Desalination*, v. 315, p. 33-36, Abr 2013.

BUNANI, Samuel *et. al.* Application of reverse osmosis for reuse of secondary treated urban wastewater in agricultural irrigation. *Desalination*, v.364, p. 68-74, Mai 2015.

CIRRA, Ivanildo Hespeanol. As diferenças entre nanofiltração, ultrafiltração, microfiltração e osmose reversa, 2011. Disponível em: <<http://www.meiofiltrante.com.br/edicoes.asp?id=740&link=ultima&fase=C&retorno=b>>. Acesso em: 10 de fev. de 2016.

CHOI, Yongjun *et. al.* Economic Evaluation of a Hybrid Desalination System Combining Forward and Reverse Osmosis. *Membranes*, v.6, p. 2-19, Out 2015.

COUTINHO, M. C. *et al.* State of art of the application of membrane technology to vegetable oils. *Food Research International*, Campinas, SP, Brazil, Elsevier Science, 2009, v 42, p. 536 – 550.

FAEDO, Rubens *et al.* Obtenção de leite com baixo teor de lactose por processos de separação por membranas associados à hidrólise enzimática. *Revista CIATEC – UPF*, v.3, p.44-54, 2013

FERRARO, Ronaldo José Silva. Sistema de Osmose Reversa. 2008. 60 f. Monografia – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade São Francisco, Campinas, 2008.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. Osmose reversa na dessalinização das águas dos mares; Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/osmose-reversa-na-dessalinizacao-das-aguas-dos-mares.htm>>. Acesso em 05 de maio de 2016.

FILMTEC, *Tech Manual*, Dow Chemical Company, 1995.

GÖKÇEK, Murat e GÖKÇEK, Öznur B. Technical and economic evaluation of freshwater production from a wind-powered small-scale seawater reverse osmosis system (WP-SWRO). *Desalination*, v.381, p. 47-57, Dez 2015.

HABERT, Alberto et al. *Processos de Separação por Membranas*. Série Escola Piloto de Engenharia Química COPPE/UFRJ. E-papers. RJ. p.119, 2006.

LAUTENSCHLAGER, Sandro R. et al. Modelação matemática e otimização operacional de processos de membrana de ultrafiltração. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v.14, n.2, p. 215-222, Abr-Jun 2009.

LIU, Lonyang *et al.* An overview of the proton conductivity of nafion membranes through a statistical analysis. *Journal of Membrane Science*, v. 504, p. 1-9, Abr 2016.

MIERZWA, José C. et al. Tratamento de água para abastecimento público por ultrafiltração: avaliação comparativa através dos custos diretos de implantação e operação com os sistemas convencional e convencional com carvão ativado. *Engenharia Sanitária Ambiental*, v.13, n.1, p. 78-87, Jan-Mar 2008.

MOURA, Camila. *et al. Processo de ultrafiltração e a sua aplicação em águas residuais*. 2014. 24 f. Dissertação de Mestrado integrado de Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia a Universidade do Porto, Portugal, 2014.

MULDER, M. *Basic principles of membrane technology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1991.

PETRUS, José Carlos da Cunha. Utilização de Processos com Membranas no Reuso de Água Industrial. 2008. IV Workshop sobre gestão e reúso de água na indústria - Laboratório de Processos Separação com Membranas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

PULIDO, Javier M. O. *et al.* Performance Modeling and Cost Analysis of a Pilot-Scale Reverse Osmosis Process for the Final Purification of Olive Mill Wastewater. *Membranes*, v.3, p. 285-297, Out 2013.

QUINTANILLA, Victor Y. *et al.* Indirect desalination of Red Sea water with forward osmosis and low pressure reverse osmosis for water reuse. *Desalination*, v.280, p. 160-166, Out 2011.

RAVANCHI, M. T *et al.* Application of membrane separation processes in petrochemical industry. *Desalination*, v. 235, 2009

ROTHBARH, Arno. Disposição dos efluentes da osmose reversa. *Revista Meio Filtrante*, nº 51, jun-ago 2011.

SOUSA, S. E. H. *Normalização de sistemas de dessalinização via osmose inversa*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, UFCG, Campina Grande – PB, 2003.

SOUZA, Carla. *Medida de tamanho de poro em membrana polimérica de microfiltração utilizando técnica ultrassônica e redes neurais artificiais*. p. 104. Dissertação de Mestrado – Instituto de Engenharia Nuclear da Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, 2009.

STURM, Pablo César. Microfiltração: Filtração. 2012. Disponível em: [http://www.meiofiltrante.com.br/materias\\_ver.asp?action=detalhe&id=816&revista=n59](http://www.meiofiltrante.com.br/materias_ver.asp?action=detalhe&id=816&revista=n59). Acesso em: 3 de fev. de 2016.

TAYLOR, J. S. e JACOBS, E.P., Reverse osmosis and nanofiltration., *Water Treatment Membrane Processes*, p. 9.1-9.70. McGraw Hill, New York, 1996.

VIGNESWARAM, S. *et al.* Delineation of Membrane Process. *Membrane technology and environmental applications*. American Society of Civil Engineers, 2012.

WGM sistemas. Tecnologias – Sistemas Filtração por Membranas. Disponível em: <http://www.wgmsistemas.com.br/p1.asp>. Acesso em: 9 de fev. de 2016.

## Anexo I

HYDRANAUTICS			
Vazão do Permendo (m³/dia)	Pressão de Utilização (Mpa)	Processo de Filtração	Membrana
24,6	8,27	Osmose Reversa	SWC4-LD
24,6	8,27	Osmose Reversa	SWC4B-LD
6,62	8,27	Osmose Reversa	SWC5-LD-4040
8,9	6,9	Osmose Reversa	SWC6-LD-4040
8,5	4,14	Osmose Reversa	CPA2-4040
41,6	4,14	Osmose Reversa	CPA3
7,95	4,14	Osmose Reversa	CPA5-LD-4040
30,3	4,14	Osmose Reversa	CPA6-LD
41,6	4,14	Osmose Reversa	LFC3-LD
7,95	4,14	Osmose Reversa	LFC3-LD-4040
6,1	4,14	Nanofiltração	ESNA1-LF-LD-4040
7,6	4,14	Nanofiltração	ESNA1-LF2-LD-4040
41,6	4,14	Nanofiltração	NANO-BW
7,6	8,27	Nanofiltração	NANO-SW-4040
11,4	4,14	Nanofiltração	HYDRACoRe10 e 50 LD 4040 Series
8,6	0,5	Ultrafiltração e Microfiltração	HYDRAcap® MAX 60
4,3	0,5	Ultrafiltração e Microfiltração	HYDRAcap®40
9	0,5	Ultrafiltração e Microfiltração	HYDRAcap®80

FILMTEC			
Vazão do Permendo (m³/dia)	Pressão de Utilização (Mpa)	Processo de Filtração	Membrana
34	5,5	Osmose Reversa	SW30-6040
7,4	6,9	Osmose Reversa	SW30-4040
36	4,1	Osmose Reversa	BW30FR-365

TORAY			
Vazão do Permendo (m³/dia)	Pressão de Utilização (Mpa)	Processo de Filtração	Membrana
117	5,52	Osmose Reversa	TM840M-1760
34,1	8,3	Osmose Reversa	TM800S-400
21,9	8,3	Osmose Reversa	TM820K-440
31	4,1	Osmose Reversa	TM720C-400
36,7	4,1	Osmose Reversa	T M L 2 0 D-370
38,6	2,5	Osmose Reversa	TMH20A-370
38,6	2,5	Osmose Reversa	TMG20-400

TRISEP			
Vazão do Permendo (m³/dia)	Pressão de Utilização (Mpa)	Processo de Filtração	Membrana
18	1,3 Mpa	Ultrafiltração	8040-UE50-QSA
4,5	1,3 Mpa	Ultrafiltração	4040-UE50-QSF
35	4,13 Mpa	Nanofiltração	8040-XN45-TSA
7	4,13 Mpa	Nanofiltração	4040-TS80-TSA

GE OSMONICS DESAL MEMBRANES			
Vazão do Permendo (m³/dia)	Pressão de Utilização (Mpa)	Processo de Filtração	Membrana
26,9	8,27	Osmose Reversa	AD1600 AD-440
28,4	8,27	Osmose Reversa	AD-400 LE
20,8	8,27	Osmose Reversa	AD8040F
8,3	4,13	Osmose Reversa	AG4040FM CERT
9,1	4,13	Nanofiltração	HL4040FM CERT
9	4,13	Nanofiltração	DL4040C1128
23,9	4,13	Nanofiltração	DL8040F1002
2,3	1,3	Ultrafiltração	GM2540F1072
1,3	1,3	Ultrafiltração	GM2540F1073
0,76	0,931	Ultrafiltração	JW2540C-50P
0,76	0,931	Ultrafiltração	W8040F-34D

CSM / Saehan Filtration			
Vazão do Permendo (m³/dia)	Pressão de Utilização (Mpa)	Processo de Filtração	Membrana
5,3	8,27	Osmose Reversa	RE 4040 -SH A
25,5	8,27	Osmose Reversa	RE8040 -SH A
22,7	8,27	Osmose Reversa	RE8040 -SHN
5,7	4,13	Nanofiltração	N E 4040-70
26,5	4,13	Nanofiltração	N E 8040-70
13,2	2,78	Ultrafiltração	U E 4040 -PF
52,9	4,13	Ultrafiltração	U E8040 -PF

MEMBRANIUM			
Vazão do Permendo (m³/dia)	Pressão de Utilização (Mpa)	Processo de Filtração	Membrana
9,12	8,27 Mpa	Osmose Reversa	K 4040-C
34,08	7 Mpa	Osmose Reversa	8040-F3
36	2,1 Mpa	Nanofiltração	8040-F
36	2,1 Mpa	Nanofiltração	4040-F
6,8	1,5 Mpa	Ultrafiltração	4040-F20-1
18	1,5 Mpa	Ultrafiltração	8040-F20-1