PHA5053 – Tecnologias de separação por membranas para tratamento de água e efluentes

CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA DO MAR

PROF. JOSÉ CARLOS MIERZWA

FUNDAMENTOS DO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO

- OBJETIVO:
  - REMOVER OS SAIS DISSOLVIDOS PRESENTES NA ÁGUA DO MAR PARA POSSIBILITAR A SUA UTILIZAÇÃO PARA FINS POTÁVEIS.
- PROCESSOS DISPONÍVEIS COMERCIALMENTE, EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE SAIS DISSOLVIDOS:
  - TÉRMICO, GERALMENTE ASSOCIADOS À USINAS TERMOELÉTRICAS (DISPONIBILIDADE DE ENERGIA);
  - OSMOSE REVERSA;
  - ELETRODIÁLISE;
  - TROCA IÔNICA.

APLICAÇÃO DOS PROCESSOS DE DESSALINIZAÇÃO

Processo	**Faixa de concentração de SDT da fonte disponível (mg/L)**
Evaporação (destilação)	20.000 a 100.000
Osmose reversa	50 a 46.000
Eletrodiálise	200 a 3.000
Troca iônica	1 a 800

Fonte: Voutchkov, Nikolay - 2013

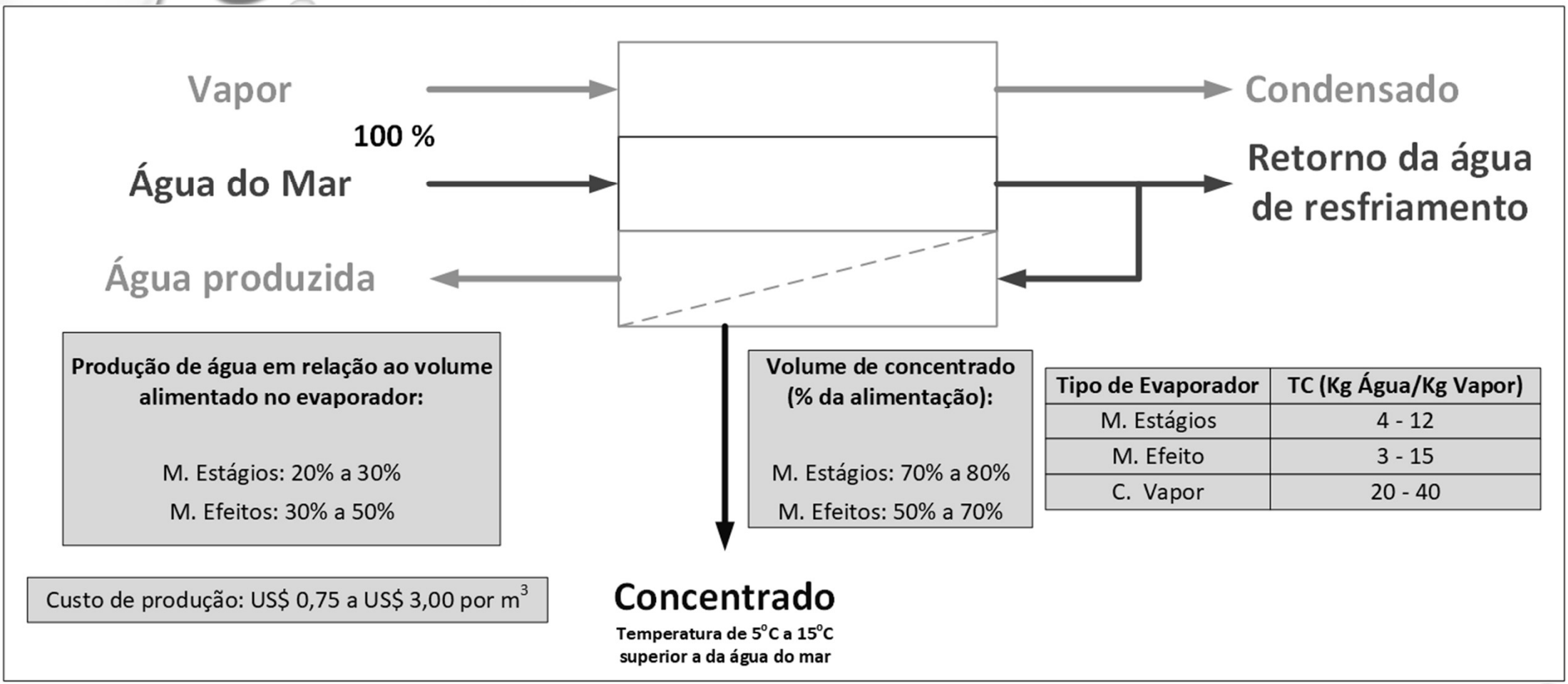


Diagrama esquemático do processo de evaporação (Destilação)

OSMOSE REVERSA

- UTILIZA UMA MEMBRANA SEMIPERMEÁVEL QUE PERMITE A PASSAGEM DA ÁGUA MAS NÃO A DOS SAIS;
- NÃO OCORRE MUDANÇA DE FASE DA ÁGUA, O QUE IMPLICA EM MENOR CONSUMO DE ENERGIA;
- A TRANSFERÊNCIA DE MASSA É CONTROLADA POR PARÂMETROS TERMODINÂMICOS;
- A PRESSÃO HIDRÁULICA É A FORÇA MOTRIZ DO PROCESSO.

Eficiência de remoção de alguns contaminantes pelos processos de dessalinização

Contaminant	Distillation (%)	ED/EDR (%)	RO (%)
TDS	>99.9	50–90	90–99.5
Pesticides, Organics/VOCs	50–90	<5	5–50
Pathogens	>99	<5	>99.99
TOC	>95	<20	95–98
Radiological	>99	50–90	90–99
Nitrate	>99	60–69	90–94
Calcium	>99	45–50	95–97
Magnesium	>99	55–62	95–97
Bicarbonate	>99	45–47	95–97
Potassium	>99	55–58	90–92

Fonte: Voutchkov, Nikolay - 2013

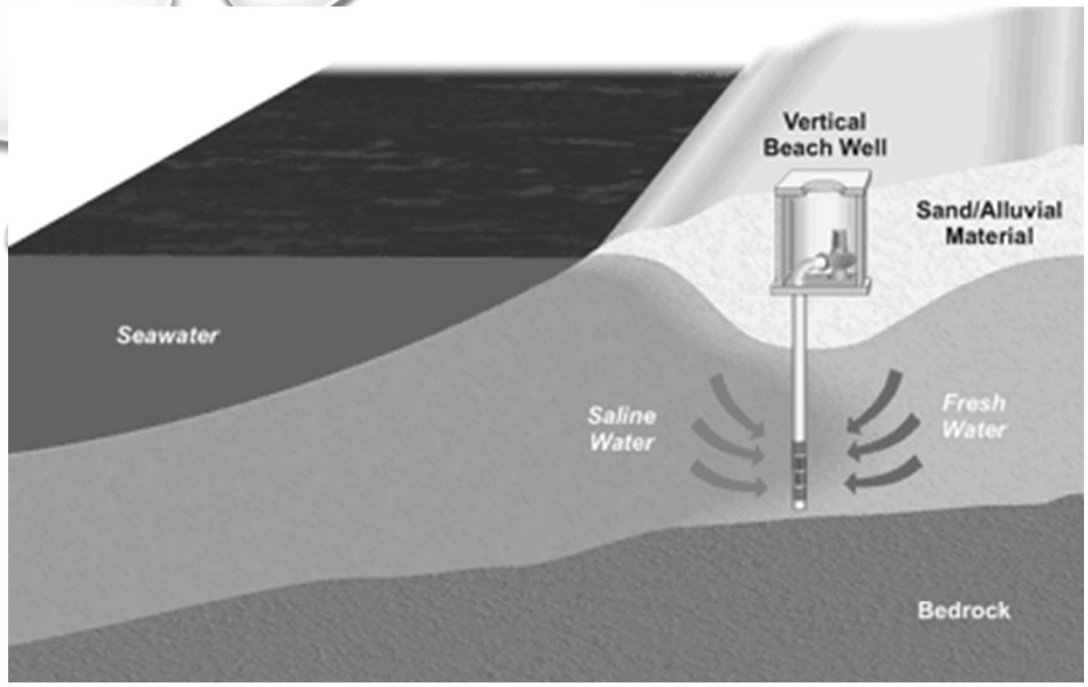
Consumo de energia e custo estimado da produção de água pelos processos de dessalinização

Energy Type	MED	MSF	VC	BWRO	SWRO
Steam pressure, ata	0.2–0.4	2.5–3.5	Not needed	Not needed	Not needed
Electric energy equivalent, kWh/m³ (kWh/1000 gal)	4.5–6.0 (17.0–22.7)	9.5–11.0 (35.9–41.6)	NA	NA	NA
Electricity consumption, kWh/m³ (kWh/1000 gal)	1.2–1.8 (4.5–6.8)	3.2–4.0 (12.1–15.1)	8.0–12.0 (30.3–45.4)	0.3–2.8 (1.1–10.6)	2.5–4.0 (9.5–15.1)
Total energy use, kWh/m³ (kWh/1000 gal)	5.7–7.8 (21.5–29.5)	12.7–15.0 (48.0–56.7)	8.0–12.0 (30.3–45.4)	0.3–2.8 (1.1–10.6)	2.5–4.0 (9.5–15.1)
Water production costs, US$ per cubic meter (US$ per 1000 gal)	0.7–3.5 (2.6–13.2)	0.9–4.0 (3.4–15.1)	1.0–3.5 (3.8–13.2)	0.2–1.8 (0.8–6.8)	0.5–3.0 (1.9–11.3)

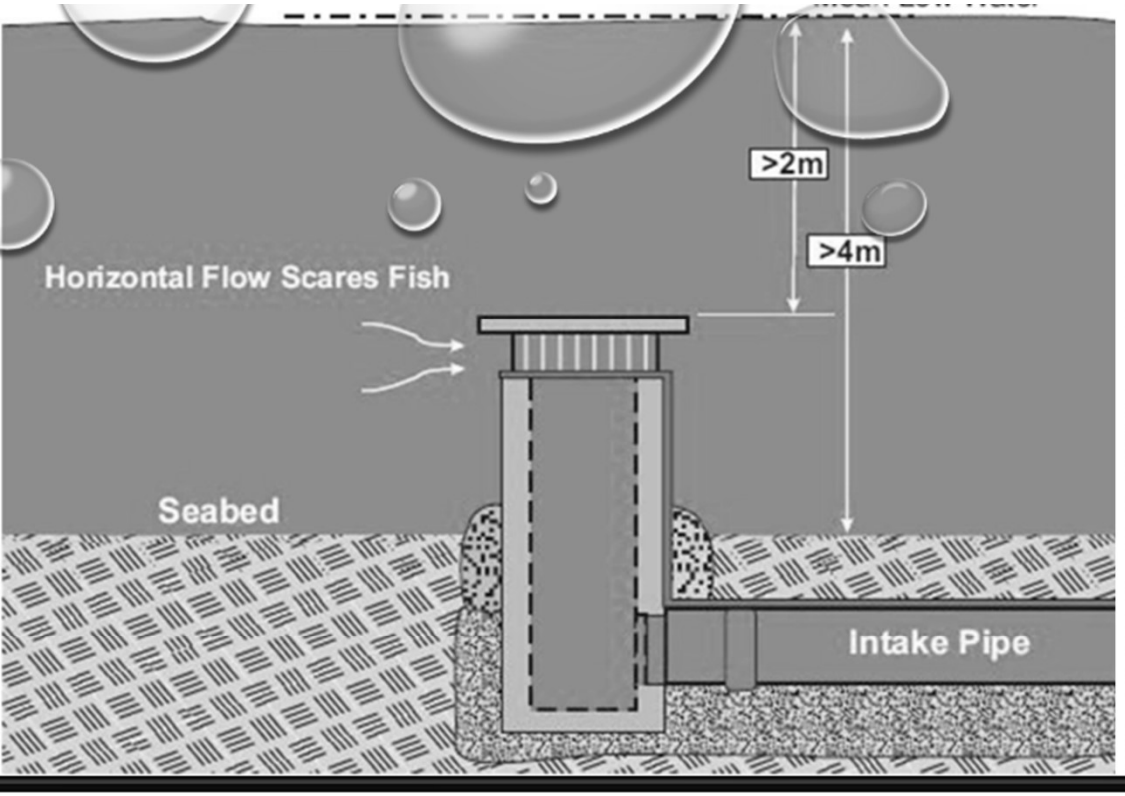
Fonte: Voutchkov, Nikolay - 2013

QUALIDADE DA ÁGUA PARA DESSALINIZAÇÃO

- A FORMA DE CAPTAÇÃO INFLUENCIA A QUALIDADE DA ÁGUA QUE SERÁ TRATADA:
  - COLETA EM POÇOS OU TRINCHEIRAS NA COSTA;
  - CAPTAÇÃO NO MAR.
- COLETA EM POÇOS OU TRINCHEIRAS:
  - MELHOR QUALIDADE, UM VEZ QUE A ÁGUA ACABA SENDO FILTRADA NA PASSAGEM PELO SOLO;
  - MENOR SALINIDADE PELA MISTURA COM A ÁGUA DOCE DO LENÇOL FREÁTICO.
    - ESTA CONDIÇÃO PODE SER ALTERADA CASO O BOMBEAMENTO SEJA INTENSO.
- COLETA EM MAR ABERTO:
  - MAIOR VARIAÇÃO DA QUALIDADE EM FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E DE CORRENTES.



Coleta de água do mar por poços na costa



ESTRUTURA DE CAPTAÇÃO NO MAR

QUALIDADE DA ÁGUA DO MAR

- PRESENÇA DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO GROSSEIROS OU COLOIDAIS:
  - PODE SER DETERMINADA PELA ANÁLISE DE SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS OU TURBIDEZ (SÓLIDOS GROSSEIROS), OU SILT DENSITY INDEX - SDI (SÓLIDOS COLOIDAIS);
  - PARA SÓLIDOS GROSSEIROS A CONCENTRAÇÃO DE SST POSSIBILITA UMA MEDIDA MAIS PRECISA DO QUE A TURBIDEZ.
  - PARA SÓLIDOS COLOIDAIS DEVE-SE FAZER A AVALIAÇÃO DO SDI (ASTM D4189 – 2014):
    - $SDI = \frac{1-\left({}^{t_0}/_{t_1}\right)}{T_t}.100$
  - O SDI É MAIS INDICADO PARA A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE PRÉ-TRATAMENTO.

Imagens dos filtros utilizados para análise de SDI de amostras de água do mar pré-tratadas por diferentes processos

1-3-06
D2
5.3 SDI

1-3-06
D2
5.2 SDI

1-3-06
Zenon
2.5 SDI

1-4-06
D2
3.4 SDI

1-4-06
Zenon
2.4

RELAÇÃO ENTRE SST/TURBIDEZ

- A RELAÇÃO ENTRE A CONCENTRAÇÃO DE SST E TURBIDEZ É UM INDICADOR DA ALTERAÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULAS PRESENTES NA AMOSTRA:
  - NA OCORRÊNCIA DE FLORAÇÕES DE ALGAS, HÁ UM AUMENTO NESTA RELAÇÃO:
    - RELAÇÃO SST/TURBIDEZ ENTRE 1,5 E 2,5, NÃO INDICA A OCORRÊNCIA DE FLORAÇÕES;
    - COM A FLORAÇÃO DE ALGAS, HÁ UM SIGNIFICATIVO AUMENTO NA CONCENTRAÇÃO DE SST, ATÉ 10 VEZES, ENQUANTO A TURBIDEZ AUMENTA DE 2 A TRÊS VEZES.

QUALIDADE DA ÁGUA DO MAR

- FLORAÇÃO DE ALGAS:
  - A IDENTIFICAÇÃO DA FLORAÇÃO DE ALGAS PODE SER AVALIADA PELA MEDIDA DA CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA-a:
    - VALORES DE CLOROFILA-a INFERIORES A 0,5 μg/L É UM INDICATIVO DE QUE NÃO HÁ OCORRÊNCIA DE FLORAÇÕES DE ALGAS;
    - EM EVENTOS SEVEROS DE FLORAÇÃO DE ALGAS A CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA-a PODE SUPERAR 10 μg/L.
  - A AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE FLORAÇÕES DEVE SER COMPLEMENTADA PELA CONTAGEM DE ALGAS:
    - ATÉ 1,000 CÉLULAS/mL → SEM OCORRÊNCIA DE FLORAÇÃO;
    - 2.000 A 20.000 CÉLULAS/mL → FLORAÇÃO DE BAIXA INTENSIDADE;
    - 20.000 A 60.000 CÉLULAS/mL → FLORAÇÃO DE MÉDIA INTENSIDADE;
    - ACIMA DE 60.000 CÉLULAS/mL → FLORAÇÃO SEVERA.

PARÂMETROS DE QUALIDADE PARA CARACTERIZAÇÃO DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

Parâmetro de qualidade da água	Questões e considerações sobre o subsistema de pré-tratamento
Turbidez (uT)	Valores superiores a 0,1 uT indicam potencial para ocorrência de depósitos. Valores de pico acima de 50 uT por mais de 1 hora podem requerer a utilização de pré-tratamento por sedimentação ou flotação.
SDI_{15}	Valores inferiores a 2 ao longo do ano indicam que não há necessidade de pré-tratamento. Valores superiores a 4 indicam a necessidade de pré-tratamento.
SST (mg/L)	Medida necessária para avaliar a produção de resíduos durante a fase de pré-tratamento. Esta medida não se relaciona com a turbidez em valores acima de 5 uT;
Clorofila-a	É um indicativo da ocorrência de florações de algas. Valores superiores a 0,5 μg/L podem indicar que a fonte de água pode estar em processo de floração.
Contagem de algas (Células/mL)	Indicativo da ocorrência de florações de algas. Se a contagem for superior a 2.000 Células/mL, pode estar ocorrendo a floração de algas no ponto de captação.

SUBSTÂNCIAS COLOIDAIS

- COMPOSTOS ORGÂNICOS E INORGÂNICOS NA FORMA INSOLÚVEL, QUE PODEM OCASIONAR DEPÓSITOS NAS MEMBRANAS, INCLUINDO:
  - **FERRO, MANGANÊS, COBRE, ZINCO E ALUMÍNIO**: SÓ ESTARÃO PRESENTES NA ALIMENTAÇÃO NO CASO DA CAPTAÇÃO SUBTERRÂNEA, CORROSÃO DE MATERIAIS OU USO DE COAGULANTES EM EXCESSO;
  - **SÍLICA**: OCORRÊNCIA NATURAL, SENDO QUE A SUA ESTABILIDADE NA ÁGUA DO MAR É MENOR, CONCENTRAÇÕES MENORES QUE 20 mg/L, MAS SE A CAPTAÇÃO FOR A PARTIR DE POÇOS NA COSTA A CONCENTRAÇÃO É MAIOR;
  - **POLÍMEROS**: UTILIZADOS NO PRÉ-TRATAMENTO DA ÁGUA DO MAR, É UM PROBLEMA QUANDO A DOSAGEM É EXCESSIVA E O POLÍMERO É CATIÔNICO;
  - **MATÉRIA ORGÂNICA NATURAL**: RESULTANTE DA ATIVIDADE BIOLÓGICA E DECAIMENTO DE VEGETAÇÃO E ANIMAIS MORTOS;
  - **HIDROCARBONETOS**: SÓ ESTARÃO PRESENTES CASO OCORRA LANÇAMENTOS PRÓXIMOS AO PONTO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA.

CARBONO ORGÂNICO TOTAL

- A ÁGUA DO MAR, SEM A INFLUÊNCIA DE ATIVIDADES HUMANAS OU CONFLUÊNCIA DE RIOS, FLORAÇÃO DE ALGAS E TRÁFEGO DE NAVIOS, APRESENTA VALORES DE COT < 0,2 mg/L;

- COM A OCORRÊNCIA DE FLORAÇÕES DE ALGAS A CONCENTRAÇÃO DE COT PODE AUMENTAR SIGNIFICATIVAMENTE (2 A 12 mg/L);

- CONCENTRAÇÃO DE COT SUPERIORES A 2,0 mg/L PODEM ACELERAR A FORMAÇÃO DE BIOFILME.

MATÉRIA ORGÂNICA NATURAL

- A MATÉRIA ORGÂNICA NATURAL (ÁCIDOS HÚMICOS E FÚLVICOS), PODE SER AVALIADA PELA ABSORÇÃO DE RADIAÇÃO UV EM 254 nm (UV-254);
- A RELAÇÃO ENTRE A ABSORÇÃO UV-254 E COT, ABSORBÂNCIA ESPECÍFICA DE RADIAÇÃO UV (SUVA DO INGLÊS), PODE SER UTILIZADA COMO UM INDICADOR INDIRETO DA OCORRÊNCIA DE FLORAÇÕES DE ALGAS;
- $SUVA(\frac{L}{m.mg}) = \frac{Absorbância\ UV-2 \quad (cm^{-1})}{[COT](\frac{mg}{L})}.100$

VALORES LIMITES PARA OCORRÊNCIA DE DEPÓSITOS ORGÂNICOS

Parâmetro de qualidade da água	Questões e considerações sobre o pré-tratamento
Carbono Orgânico Total (mg/L)	Para valores abaixo de 0,5 mg/L, a formação de biofilme é pouco provável. Acima de 2,0 mg/L a formação de biofilme é muito provável.
Absorbância UV-254nm (cm^{-1})	Valores abaixo de 0,5 cm-1 indicam que a água do mar tem baixo potencial para formação de depósitos orgânicos ou biofilme.
Absorbância específica de radiação UV-254 (L/(m.mg)	Se este valor for maior que 4,0 a água é dominada por matéria orgânica natural aquática e o potencial de formação de biofilme é baixo. Se for menor que 2,0 é um indicativo da ocorrência de floração de algas o que pode contribuir para a formação de biofilme.

SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS DISSOLVIDAS

- SAIS POUCO SOLÚVEIS PODEM RESULTAR NA FORMAÇÃO DE DEPÓSITOS POR INCRUSTAÇÃO NAS MEMBRANAS;
- PRECIPITAÇÃO DE CARBONATOS, SULFATOS E FLUORETO DE CÁLCIO, BÁRIO E ESTRÔNCIO;
- O POTENCIAL DE PRECIPITAÇÃO É AVALIADO PELO PRODUTO DE SOLUBILIDADES DOS SAIS FORMADOS E POR UM ÍNDICE DE SATURAÇÃO.
- ÍNDICE DE SATURAÇÃO DE STIFF-DAVIS (ISS&D):
  - $\mathrm{ISS\&D} = pH - pCa - pAlc - K$
  - pCa = -log[Ca^{2+}], [Ca^{2+}] EM mg/L COMO $CaCO_3$;
  - pAlc = - log[Alc], [Alc] EM mg/L COMO $CaCO_3$;
  - K = CONSTANTE QUE DEPENDE DA FORÇA IÔNICA E TEMPERATURA.

VALORES LIMITES PARA CONTROLE DA INCRUSTAÇÃO DE SAIS EM MEMBRANAS DE OSMOSE

Incrustante	Valor limite medido no concentrado
Carbonato de cálcio na água de alimentação, sem a adição de inibidor de incrustação, medido pelo ISL.	0,2
Sulfato de cálcio (% do limite de solubilidade)	230
Sulfato de estrôncio (% do limite de solubilidade)	800
Sulfato de bário (% do limite de solubilidade)	6.000
Fluoreto de cálcio (% do limite de solubilidade)	12.000

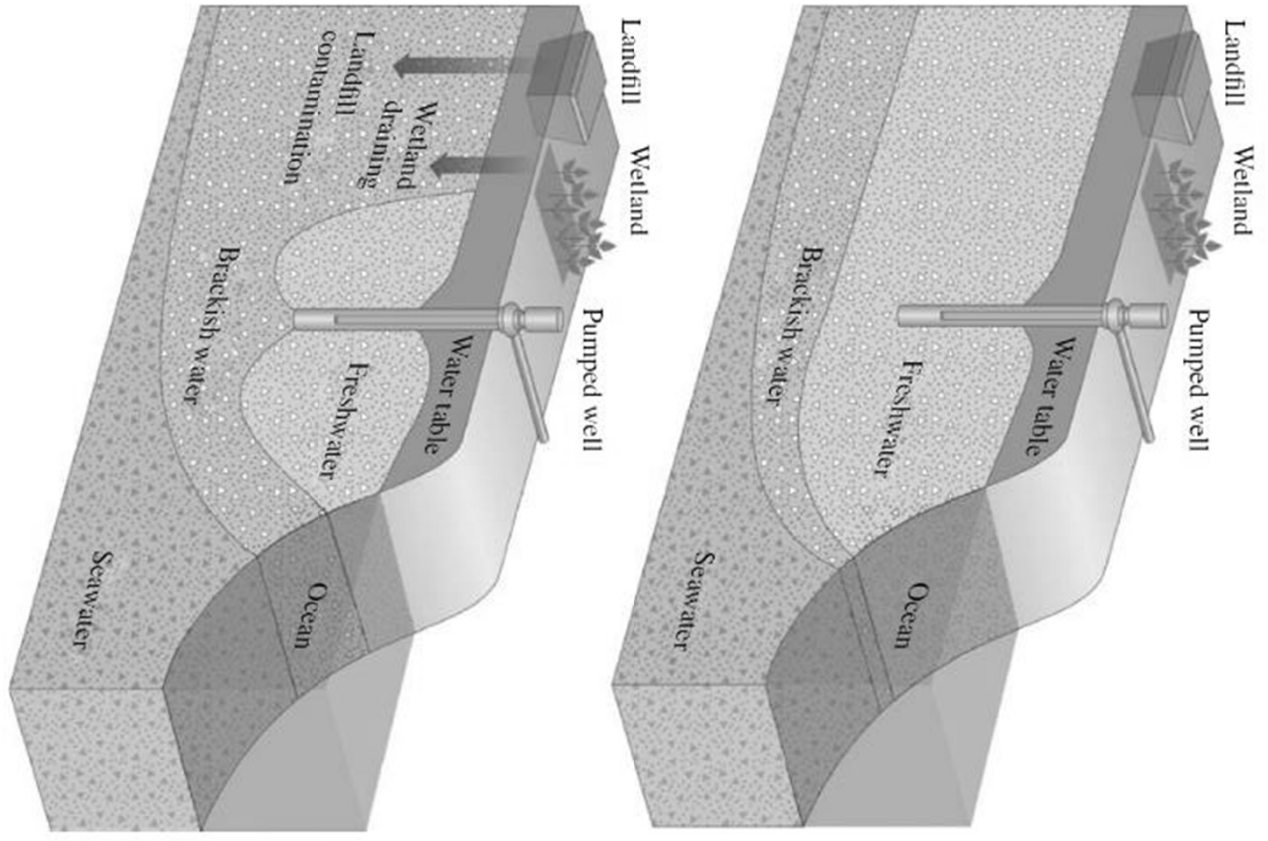
ELEMENTOS DE UM SISTEMA DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA DO MAR

UNIDADE DE DESSALINIZAÇÃO CAMPO DE DALÍAS NA ESPANHA (1.125 L/S)

ESTRUTURA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA

- A CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA AS UNIDADES DE DESSALINIZAÇÃO PODE SER FEITA POR POÇOS NA COSTA OU ESTRUTURAS DE CAPTAÇÃO ABERTAS;
- A CAPTAÇÃO POR POÇOS NA COSTA É INDICADO PARA UNIDADES COM CAPACIDADE DE ATÉ 20.000 m^3/DIA, EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE POÇOS A SEREM UTILIZADOS;
  - APRESENTAM COMO VANTAGEM A MELHOR QUALIDADE DA ÁGUA ALIMENTADA À UNIDADE EM FUNÇÃO DA FILTRAÇÃO PRÉVIA;
  - POR OUTRO LADO A QUALIDADE DA ÁGUA PODE SER AFETADA PELAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DOS POÇOS;
  - A UTILIZAÇÃO DESTE TIPO DE ESTRUTURA REQUER UMA AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DA ÁREA DE CONSTRUÇÃO DOS POÇOS.

Efeito potencial da atividades desenvolvidas na área de influência da captação por poços

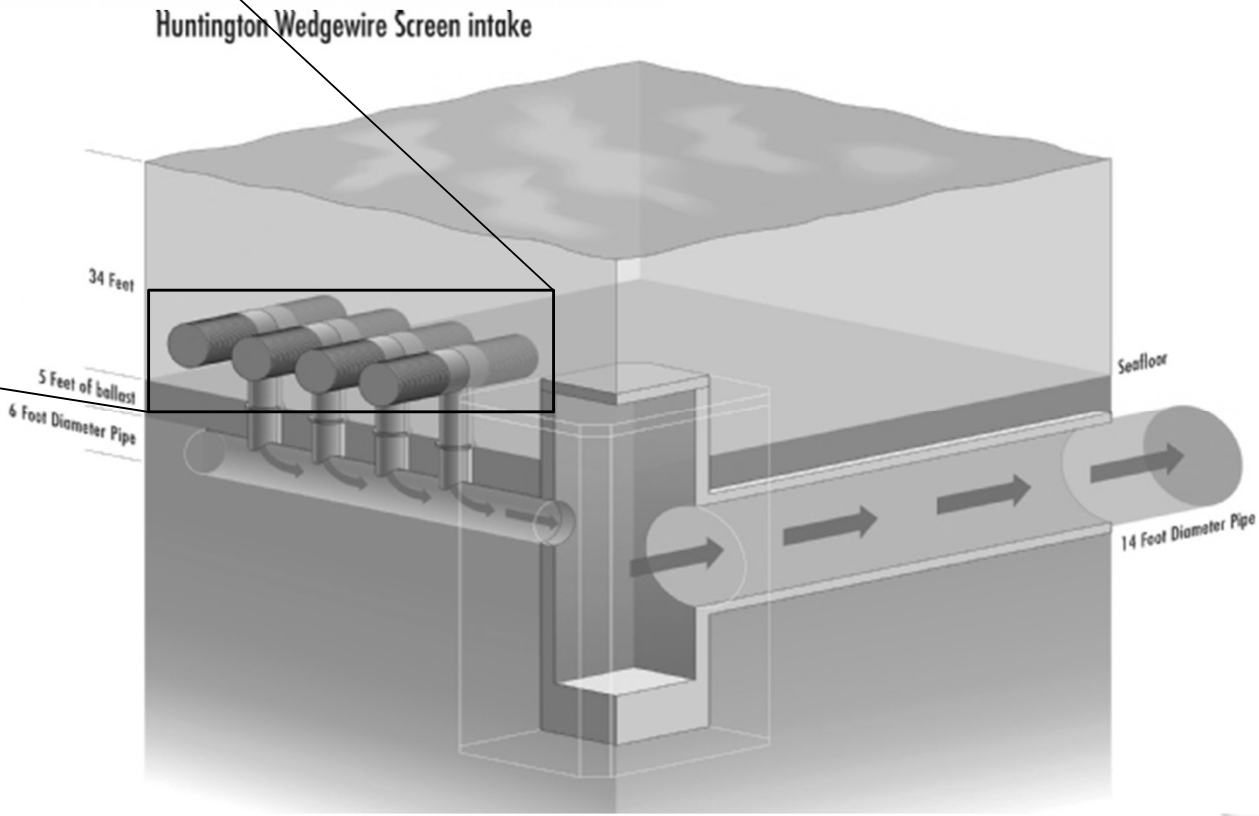


CAPTAÇÃO ABERTA AFASTADA DA COSTA

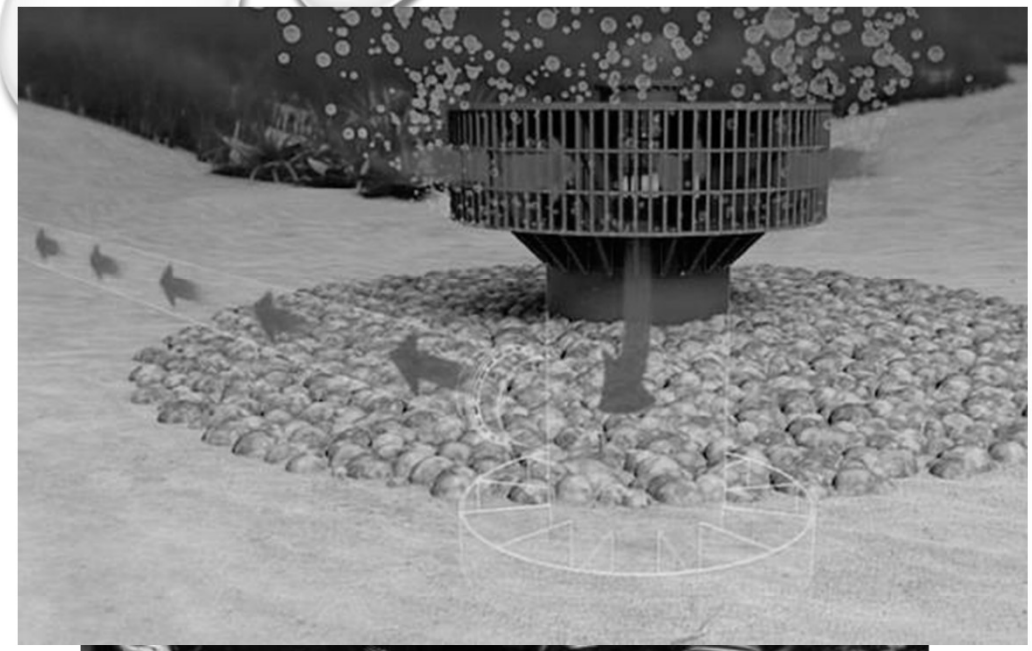
- A MAIOR PREOCUPAÇÃO COM ESTE TIPO DE ESTRUTURA É COM O ARRASTE DE ESPÉCIES AQUÁTICAS E O SEU APRISIONAMENTO NOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO;
- TAMBÉM DEVE SER CONSIDERADO O EFEITO DA ÁGUA DO MAR SOBRE OS MATERIAIS UTILIZADOS PARA A CONSTRUÇÃO DA ESTRUTURA DE CAPTAÇÃO;
- PARA MINIMIZAR OS IMPACTOS SOBRE AS ESPÉCIES AQUÁTICAS DEVEM SER PREVISTOS DISPOSITIVOS DE RETENÇÃO, BEM COMO A OPERAÇÃO COM BAIXAS VELOCIDADES DE ESCOAMENTO;
- É POSSÍVEL UTILIZAR TELA DE ARAME COM PERFIL TRAPEZOIDAL COM SISTEMA DE LIMPEZA COM AR.

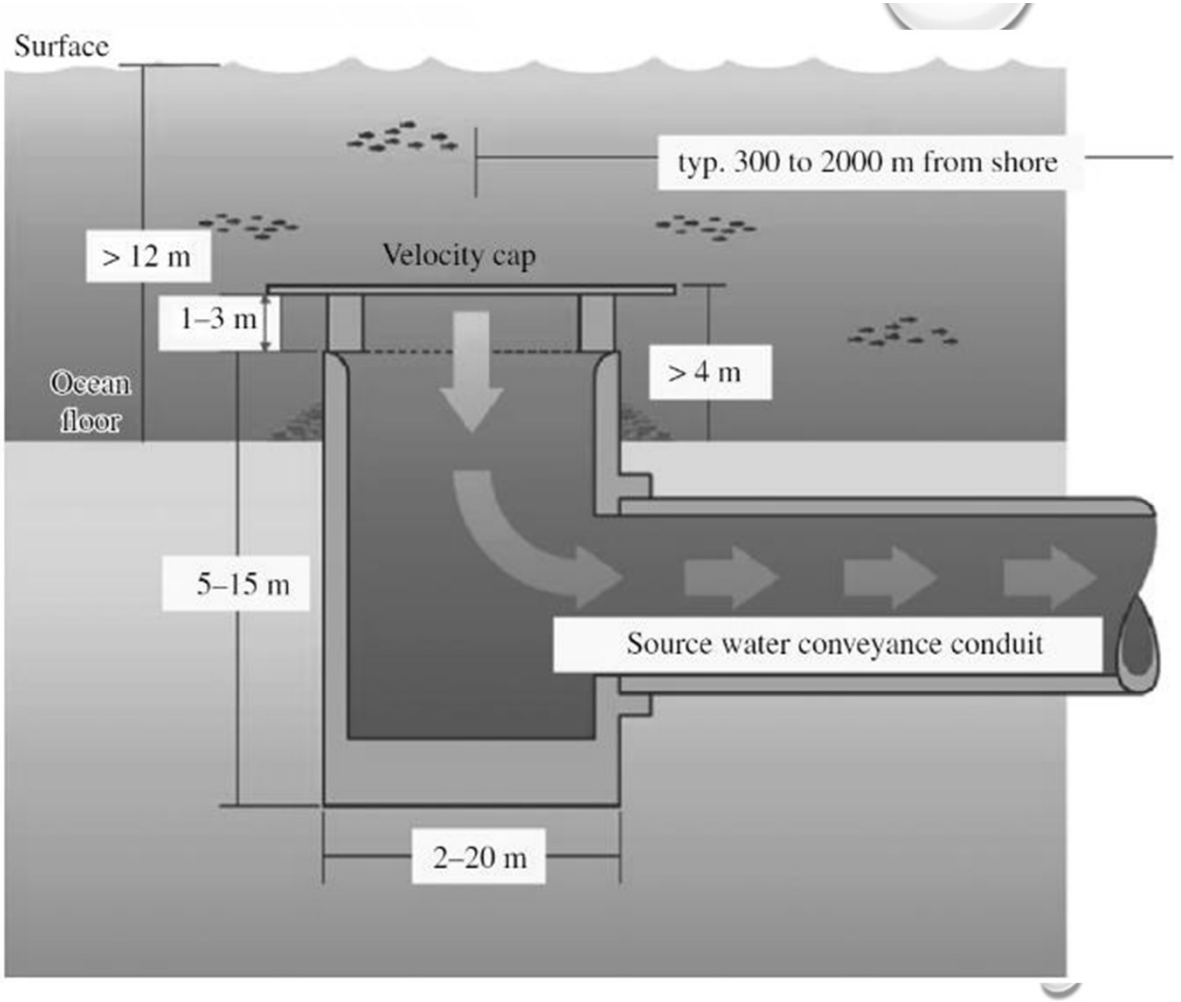
REQUISITOS DAS ESTRUTURAS DE CAPTAÇÃO ABERTA

- EVITAR A FORMAÇÃO DE VÓRTICES E ESCOAMENTOS VERTICAIS:
  - ESTAS CONDIÇÕES PODEM FACILITAR O ARRASTE DE ORGANISMOS AQUÁTICOS E OUTROS MATERIAIS;
- LIMITAR A VELOCIDADE HORIZONTAL DE ESCOAMENTO:
  - BAIXAS VELOCIDADE DE ESCOAMENTO DÃO OPORTUNIDADE AOS ORGANISMOS AQUÁTICOS SE AFASTAREM DA REGIÃO DE CAPTAÇÃO E MINIMIZAM O SEU APRISIONAMENTO NAS GRADES DE PASSAGEM;
  - VELOCIDADE RECOMENDADA $< 0{,}15$ m/s.
- UTILIZAÇÃO DE SINALIZADORES OU PROCEDIMENTOS QUE AFASTEM OS ORGANISMOS AQUÁTICOS DA ESTRUTURA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA:
  - BARREIRAS ACÚSTICAS;
  - LUZ ESTROBOSCOPICA;
  - CORTINAS DE BOLHAS DE AR.



Estrutura de captação com grades de arames trapezoidais

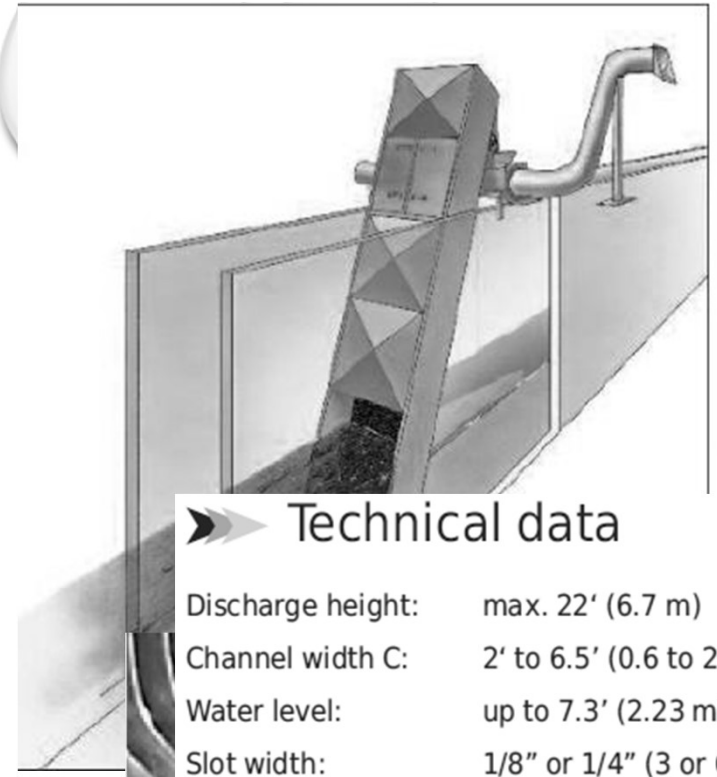




Estrutura de captação com grades verticais e limitador de escoamento vertical

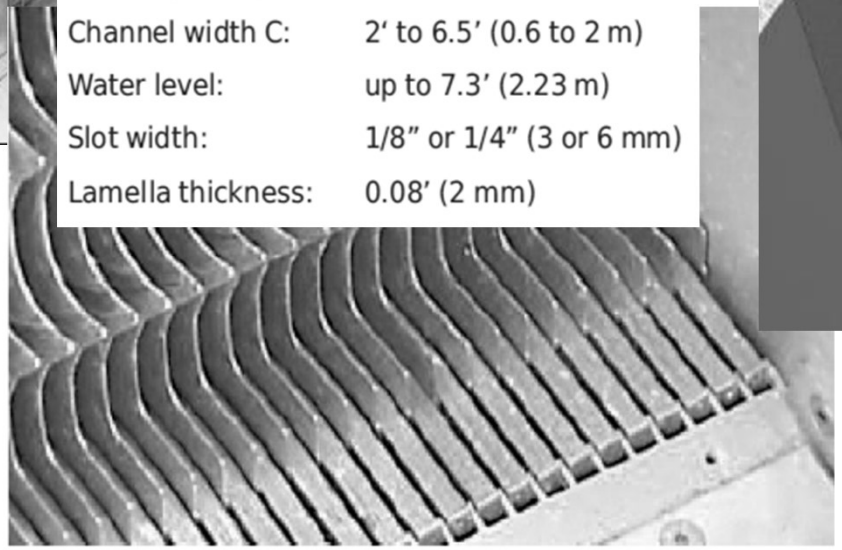
TRATAMENTO PRELIMINAR

- A ÁGUA CAPTADA AINDA PODE APRESENTAR DIVERSOS TIPOS DE ORGANISMOS VIVOS E OUTROS CONTAMINANTES, O QUE EXIGE A SUA REMOÇÃO PARA POSSIBILITAR O PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO;
- OS ORGANISMOS VIVOS AINDA PRESENTES, COMO LARVAS E PEQUENOS ANIMAIS SÃO REMOVIDOS POR GRADES FINAS E PENEIRAMENTO;
  - PODEM SER UTILIZADAS PENEIRAS COM ABERTURAS VARIADAS;
  - OS ORGANISMOS REMOVIDOS DEVEM SER RETORNADOS PARA O MAR, PODENDO-SE UTILIZAR ESTRUTURAS ESPECÍFICAS PARA ESTA FINALIDADE.



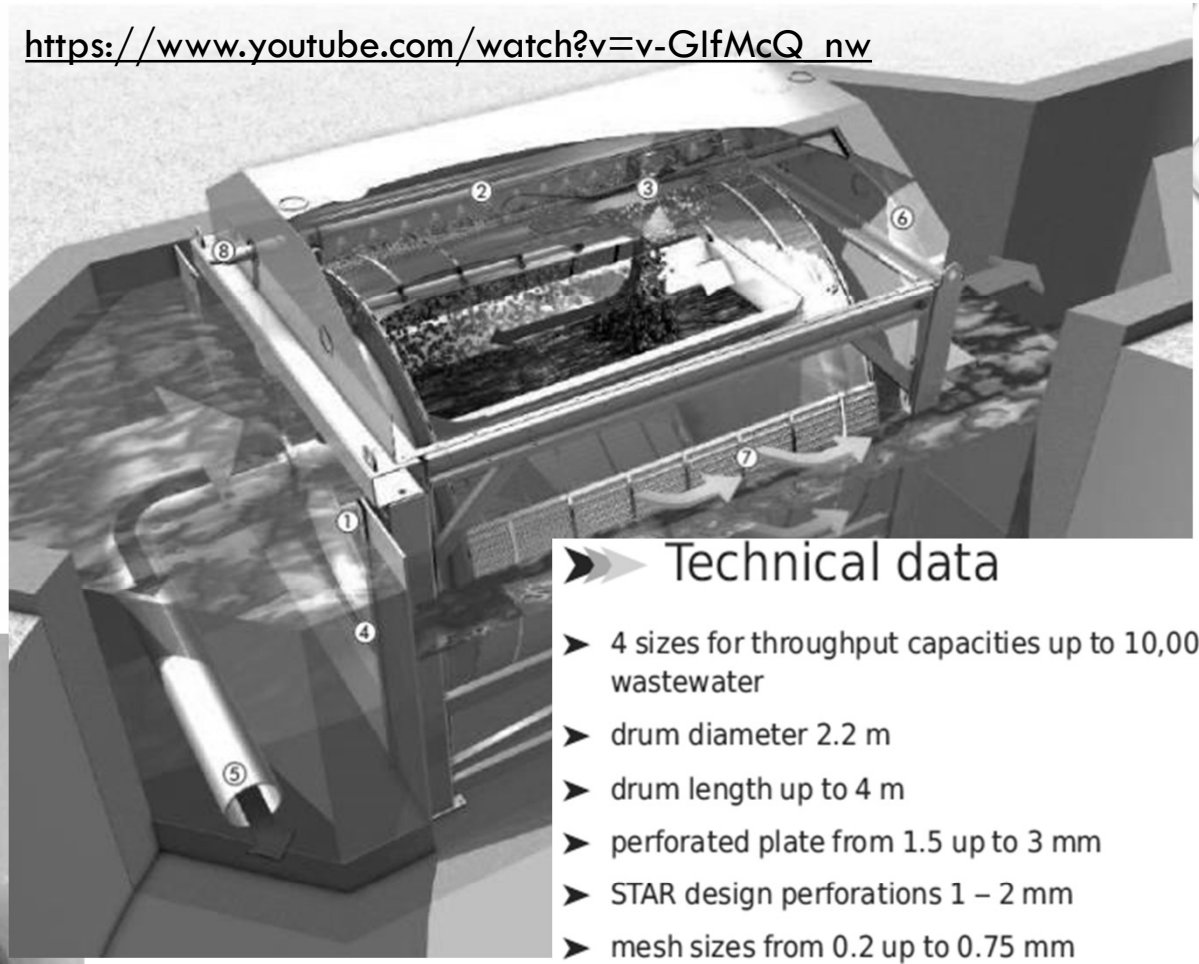
Technical data

Discharge height:	max. 22‘ (6.7 m)
Channel width C:	2‘ to 6.5‘ (0.6 to 2 m)
Water level:	up to 7.3‘ (2.23 m)
Slot width:	1/8” or 1/4” (3 or 6 mm)
Lamella thickness:	0.08‘ (2 mm)



Peneira em degraus (Huber Technology)

https://www.youtube.com/watch?v=v-GIfMcQ_nw



Technical data

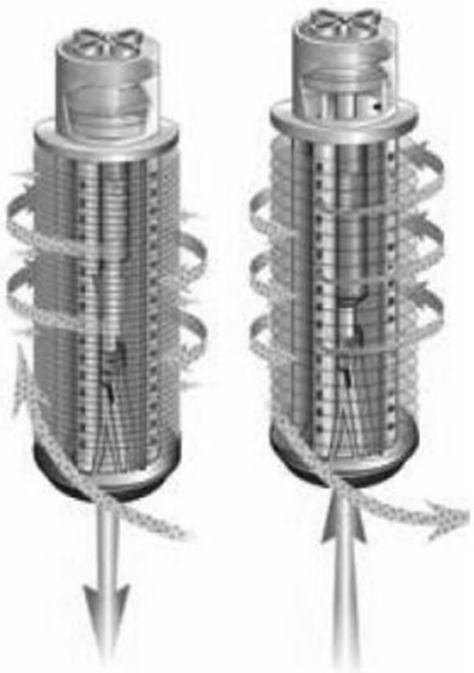
- 4 sizes for throughput capacities up to 10,000 m³/h wastewater
- drum diameter 2.2 m
- drum length up to 4 m
- perforated plate from 1.5 up to 3 mm
- STAR design perforations 1 – 2 mm
- mesh sizes from 0.2 up to 0.75 mm
- bar spacings from 0.5 up to 3 mm
- for channel or tank installation
- completely made of stainless steel and acid-treated in a pickling bath for maximum corrosion resistance

Peneira rotat

CARACTERÍSTICAS DAS PENEIRAS UTILIZADAS

- GERALMENTE SÃO UTILIZADAS PENEIRAS COM DIFERENTES ABERTURAS DE MALHA, UMA GROSSA E OUTRA MAIS FINA:
  - A VELOCIDADE ATRAVÉS DAS ABERTURAS DAS PENEIRAS DEVE SER MENOR QUE 15 cm/s, GERALMENTE UTILIZA-SE UMA VELOCIDADE ENTRE 6 e 10 cm/s;
- EM COMPLEMENTAÇÃO AO SISTEMA PRELIMINAR DE TRATAMENTO, É POSSÍVEL UTILIZAR MICROPENEIRAS OU FILTROS TIPO DISCO;
- ESTES DISPOSITIVOS SÃO MAIS INDICADOS PARA A PROTEÇÃO DE SISTEMAS DE PRÉ-TRATAMENTO POR MICROFILTRAÇÃO OU ULTRAFILTRAÇÃO;
- PARA ESTA FINALIDADE, ESTES DISPOSITIVOS DEVEM TER CAPACIDADE DE RETER PARTÍCULAS COM TAMANHO ENTRE 80 E 120 μm.

Modos de filtração e contralavagem



Disc material type availability according to filtration degree:

Color Code	Gray	Purple	Green	Brown	Black	Red	Yellow	Blue
Micron	20	40	55	70	100	130	200	400
PP Disc PA (Nylon) Disc	PP, PA	PP, PA	PP, PA	PP, PA	PP, PA	PP, PA	PP, PA	PP

Filtros tipo disco

(http://www.amiad.com/files/4_Spin_Klin_Galaxy.pdf)

Sistema de filtração com filtros tipo disco da unidade de dessalinização de Adelaide – Austrália

(https://www.aurecongroup.com/thinking/thinking-papers/desalination-a-sustainable-solution-to-water-shortage)

PRÉ-TRATAMENTO

- APÓS O TRATAMENTO PRELIMINAR A ÁGUA DEVERÁ SER SUBMETIDA A UM PRÉ-TRATAMENTO PARA ADEQUAR AS SUAS CARACTERÍSTICAS AO PROCESSO DE OSMOSE REVERSA;
- AS OPÇÕES DE PRÉ-TRATAMENTO INCLUEM:
  - PROCESSO CONVENCIONAL DE CLARIFICAÇÃO POR FILTRAÇÃO EM MEIO GRANULAR;
  - SISTEMA DE MICROFILTRAÇÃO OU ULTRAFILTRAÇÃO.

PROCESSO CONVENCIONAL DE CLARIFICAÇÃO

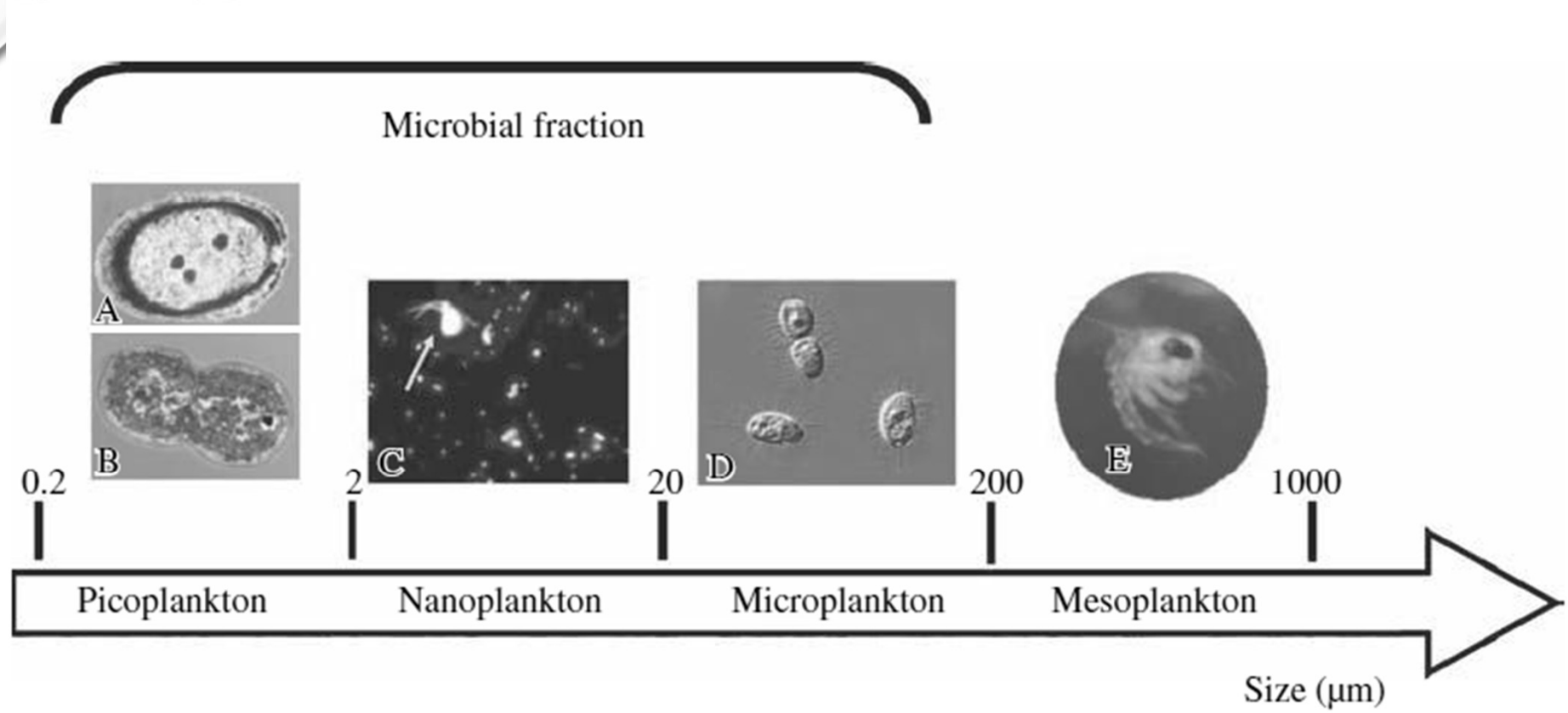
- UTILIZA OS MESMOS CONCEITOS DA CLARIFICAÇÃO APLICADOS PARA TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO;
- NO ENTANTO, PARA A DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA DO MAR DEVE-SE UTILIZAR O CONCEITO DE FILTRAÇÃO DIRETA, OU SEJA, O PROCESSO DE COAGULAÇÃO É POR NEUTRALIZAÇÃO DE CARGAS E NÃO VARREDURA;
- O TIPO DE COAGULANTE UTILIZADO DEVE SER ESCOLHIDO COM CRITÉRIO, PARA EVITAR PROBLEMAS NAS MEMBRANAS DE OSMOSE REVERSA:
  - A UTILIZAÇÃO DE COAGULANTES A BASE DE ALUMÍNIO DEVE SER EVITADA;
- TAMBÉM É POSSÍVEL UTILIZAR AUXILIARES DE FILTRAÇÃO, GERALMENTE POLÍMEROS:
  - POLÍMEROS CATIÔNICOS NÃO DEVEM SER UTILIZADOS.

PROCESSO CONVENCIONAL DE CLARIFICAÇÃO

- O PROCESSO CONVENCIONAL DE CLARIFICAÇÃO ENVOLVE AS SEGUINTES ETAPAS:
  - DOSAGEM DO PRODUTOS QUÍMICOS E MISTURA RÁPIDA;
  - ADIÇÃO DO AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO;
  - FLOCULAÇÃO;
  - FILTRAÇÃO EM FILTROS DE MEIO GRANULAR (ABERTOS OU PRESSURIZADOS).
- A PRESENÇA DE ALGAS PODE EXIGIR O PROCESSO DE FLOTAÇÃO ANTES DA FILTRAÇÃO, MAS EXIGE UMA AVALIAÇÃO CUIDADOSA;
- VALORES ELEVADOS DE TURBIDEZ (> 5 uT) NA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO PODE EXIGIR A UTILIZAÇÃO DE SEDIMENTADORES.

Unidade de dessalinização Perth (Austrália), com destaque para o sistema de clarificação por filtros pressurizados

(http://www.awa.asn.au/AWA_MBRR/Publications/Sponsored_content/Suez_awarded_for_its_operator_service_provider_excellence.aspx)



Classificação de tamanho da comunidade planctônica presente na água do mar (fonte: Voutchkov, Nikolay – 2013)

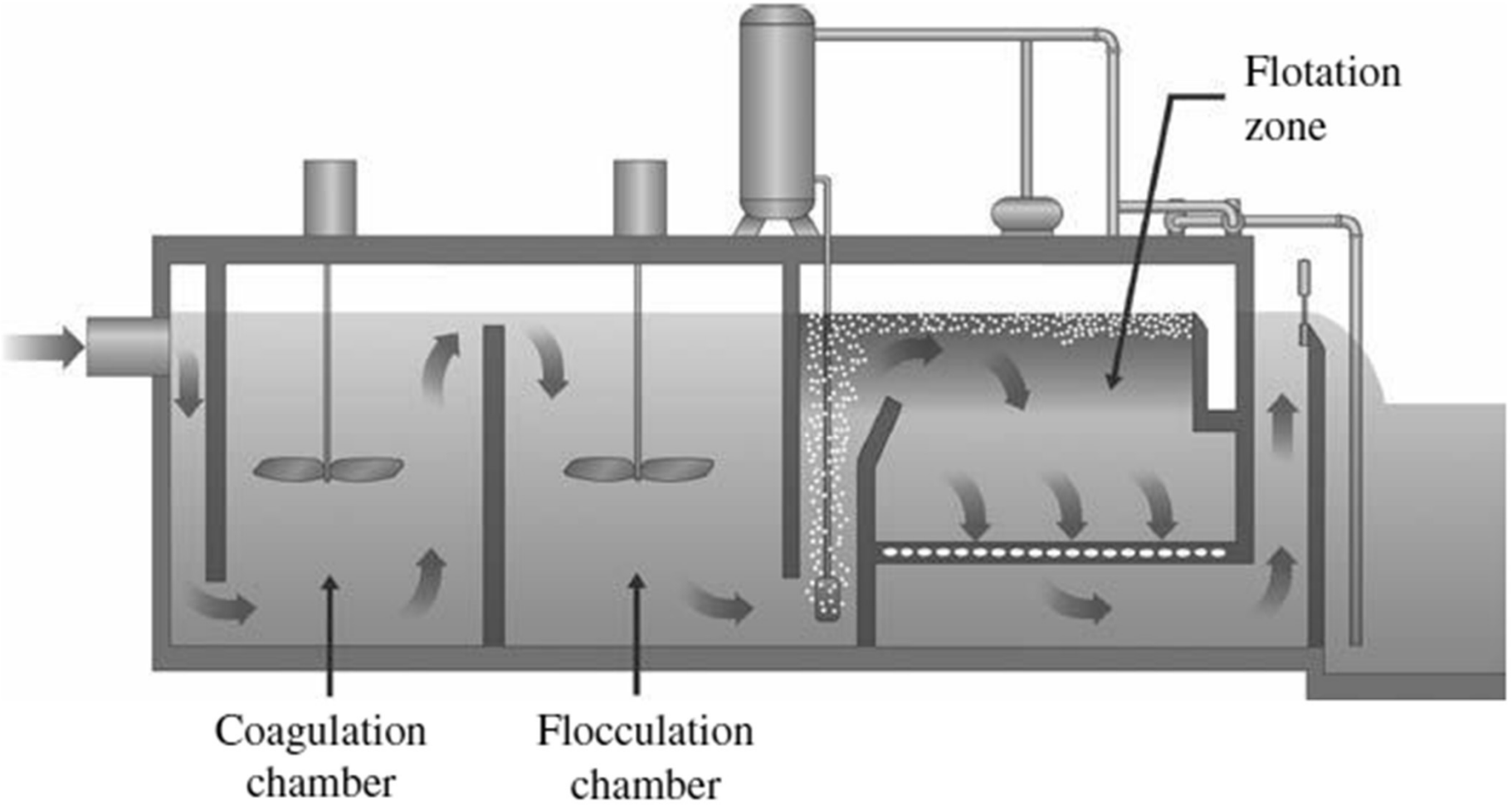


Diagrama esquemático do processo de flotação por ar dissolvido (fonte: Voutchkov, Nikolay – 2013)

QUESTÕES ASSOCIADAS AOS PROCESSOS DE CLARIFICAÇÃO CONVENCIONAL

- USO DE PRODUTOS QUÍMICOS;
- NECESSIDADE DE UM CONTROLE EFETIVO DAS DOSAGENS UTILIZADAS;
- GERAÇÃO DE EFLUENTES COM ELEVADA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO;
- NECESSIDADE DE CONDICIONAMENTO DOS SÓLIDOS GERADOS PARA DISPOSIÇÃO FINAL.

FILTROS CARTUCHO

- SISTEMAS DE PRÉ-TRATAMENTO PELOS PROCESSOS DE CLARIFICAÇÃO E FILTRAÇÃO IRÃO EXIGIR A INSTALAÇÃO DE FILTROS TIPO CARTUCHO ANTES DA ALIMENTAÇÃO DA UNIDADE DE OSMOSE REVERSA;
- OS FILTROS CARTUCHOS, EM GERAL, SÃO UTILIZADOS PARA PROTEÇÃO DA MEMBRANAS DE OSMOSE REVERSA:
  - ELES SÃO NECESSÁRIOS PARA ASSEGURAR QUE EVENTUAIS PARTÍCULAS QUE TENHAM PASSADO PELO SISTEMA DE PRÉ-TRATAMENTO SEJAM ALIMENTADOS AOS MÓDULOS DE MEMBRANAS.
- A UTILIZAÇÃO DE FILTROS CARTUCHOS APÓS OS SISTEMAS DE PRÉ-TRATAMENTO POR MEMBRANAS DE MICROFILTRAÇÃO OU ULTRAFILTRAÇÃO SÃO UMA SEGURANÇA ADICIONAL:
  - ELES PODEM RETER PARTÍCULAS QUE PODERIAM SER LIBERADAS NO CASO DA FALHA DAS MEMBRANAS.
- UMA PREOCUPAÇÃO COM A UTILIZAÇÃO DE FILTROS TIPO CARTUCHO, EM ESPECIAL APÓS O PRÉ-TRATAMENTO CONVENCIONAL, É A SUA OBSTRUÇÃO DEVIDO À DOSAGEM EXCESSIVA DE PRODUTOS QUÍMICOS OU CRESCIMENTO DE BIOFILME.

Filtro cartucho com depósito de ferro em função da dosagem excessiva no sistema de pré-tratamento

Amostra de filtro cartucho com deposição de ferro devido à corrosão de equipamentos à montante da sua instalação

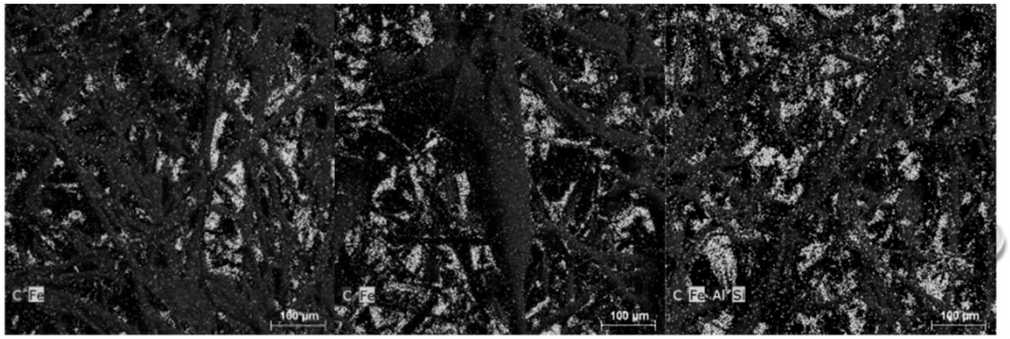


Imagem obtida por espectroscopia de raios-x com energia dispersiva (coloração verde indica a presença de ferro

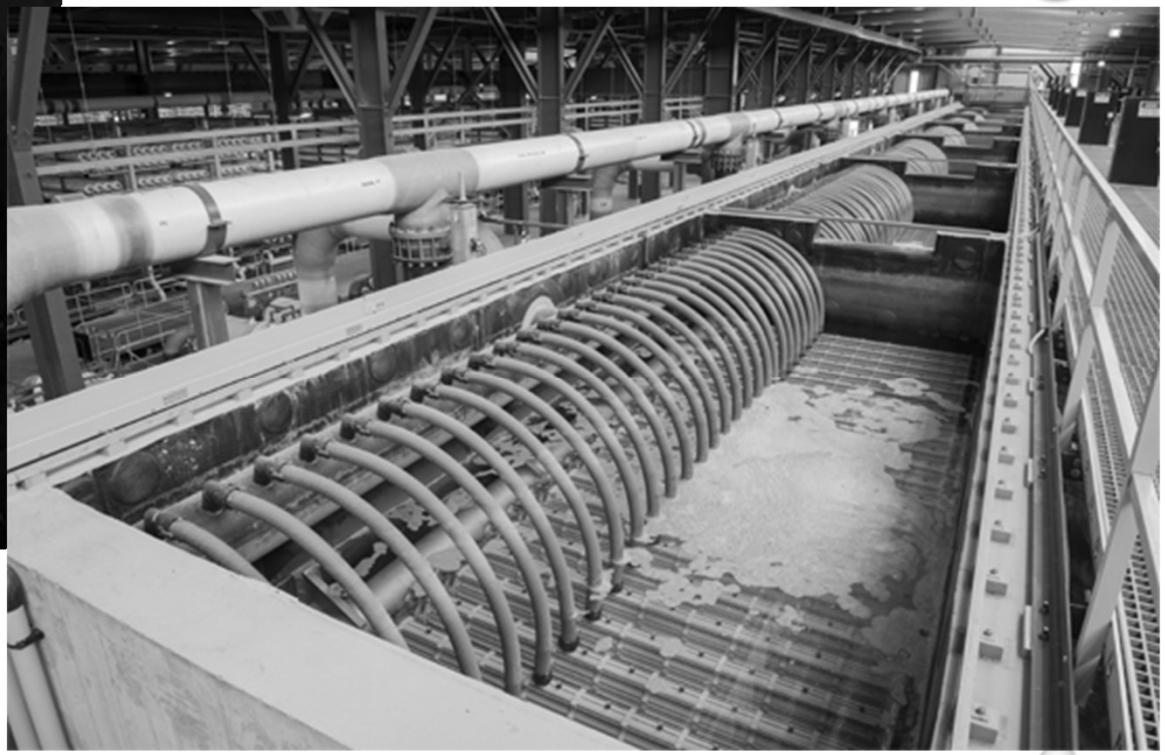
PARÂMETROS DE PROJETO DE UNIDADES DE FILTRAÇÃO COM TIPO FILTROS CARTUCHO

- MATERIAL: POLIPROPILENO
- CAPACIDADE DE RETENÇÃO: 5 μm;
- TAXA DE APLICAÇÃO HIDRÁULICA (PARA FILTROS DE 2,5”): 0,8 A 1,2 L/s.m;
- PERDA DE CARGA MÁXIMA: 0,7 A 1,0 bar;
- ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL EM FILTRAÇÃO:
  - 6 A 8 SEMANAS, COM A UTILIZAÇÃO DE PRÉ-TRATAMENTO POR CLARIFICAÇÃO;
  - ATÉ 6 MESES, NO CASO DE ÁGUA DO MAR DE BOA QUALIDADE OU APÓS PRÉ-TRATAMENTO POR MEMBRANAS.
- O FILTROS DEVEM SER ACOMODADOS EM CARCAÇAS PARA MÚLTIPLOS FILTROS.

PROCESSOS DE MICRO OU ULTRAFILTRAÇÃO

- O PRÉ-TRATAMENTO PARA SISTEMAS DE OSMOSE REVERSA PODE SER FEITO PELOS PROCESSOS DE MICRO OU ULTRAFILTRAÇÃO:
  - UTILIZAÇÃO DE MEMBRANAS SUBMERSAS;
  - UTILIZAÇÃO DE MEMBRANAS PRESSURIZADAS.
- A OPÇÃO PELA UTILIZAÇÃO DE MEMBRANAS SUBMERSAS OU PRESSURIZADAS DEPENDE DO POTENCIAL DE VARIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA CAPTADA;
  - MEMBRANAS SUBMERSAS: VARIAÇÃO SIGNIFICATIVA DA TURBIDEZ DA ÁGUA DO MAR NA REGIÃO DE CAPTAÇÃO;
  - MEMBRANAS PRESSURIZADAS: NÃO OCORRE VARIAÇÕES SIGNIFICATIVAS DA ÁGUA DO MAR.

Membranas submersas de fibra oca
(http://www.hyfluxmembranes.com/products-and-systems/porocep)



Sistema de ultrafiltração com membranas submersas na unidade de dessalinização de Adelaide – Austrália (Ref. Slide 41)

Membranas pressurizadas de ultrafiltração para pré-tratamento da água do mar

(http://www.filtsep.com/desalination/features/uf-pre-treatment-membranes-combat-fouling-risk-in/)

ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS NO PROJETO DE SISTEMAS DE PRÉ-TRATAMENTO POR MEMBRANAS

- NECESSIDADE DA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS PILOTO PARA A OBTENÇÃO DAS CONDIÇÕES ÓTIMAS DE OPERAÇÃO:
  - FLUXO CRÍTICO E PRESSÃO CRÍTICA;
  - FREQUÊNCIA DE CONTRALAVAGEM;
  - FREQUÊNCIA DE LIMPEZAS QUÍMICAS.
- A SELEÇÃO DO MATERIAL DAS MEMBRANAS É UM FATOR RELEVANTE PARA MINIMIZAR A FORMAÇÃO DE DEPÓSITOS.

PROPOSTAS DE ARRANJOS DE PRÉ-TRATAMENTO EM FUNÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO MAR

Qualidade da água	Sistemas de pré-tratamento	Observações
Turbidez < 0,1 uT SDI_{15} < 2 COT (ao longo do ano) < 1,0 mg/L	Somente filtros tipo cartucho ou bag.	A remoção de detritos (areia) pode ser necessária no caso da captação por poços.
Turbidez ≥ 0,1e < 5,0 uT SDI_{15} < 5 COT (média anual) < 1,0 mg/L	Filtro de meio granular de dupla camada e filtros cartucho. MF/UF pode ser competitiva se for assegurada uma vida útil da membrana de OR entre 7-10 anos	Caso seja utilizado o processo de MF/UF a adição de coagulantes pode ser eliminada.
Turbidez ≥ 5,0 e < 30,0 uT SDI_{15} > 5 COT (proliferação moderada de algas) < 4,0 mg/L	Filtro de meio granular de dupla camada e filtros cartucho, ou tratamento por MF/UF.	Pode ser necessária a utilização de coagulantes, no caso da MF/UF.
Turbidez ≥ 30,0 e < 50,0 uT SDI_{15} > 5 COT (proliferação severa de algas) ≥ 4,0 mg/L	Sedimentação ou flotação por ar dissolvido (FAD) seguida da filtração em meio granular de dupla camada e filtros cartucho ou sedimentação ou FAD seguida de MF/UF.	
Turbidez ≥ 30,0 uT SDI_{15} > 5 COT (proliferação severa de algas) ≥ 4,0 mg/L	Sedimentação de alta taxa ou FAD seguida da filtração de dois estágios em filtros de dupla camada e filtros cartucho, ou sedimentação de alta taxa ou FAD seguida de MF/UF.	A FAD antes da filtração pode ser eliminada se a floração de algas na captação for moderada (COT < 2,0 mg/L).

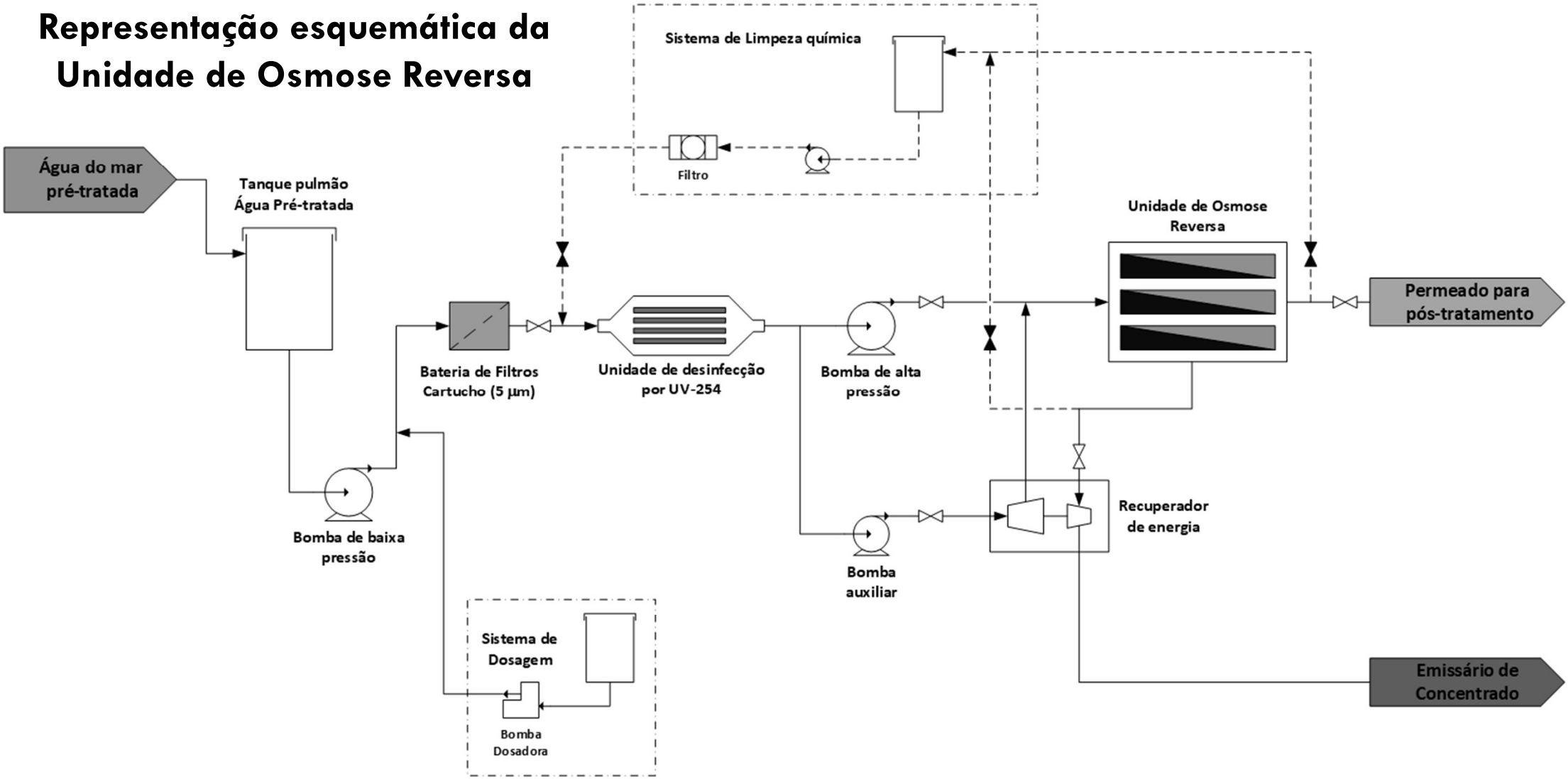
UNIDADE DE OSMOSE REVERSA

- O COMPONENTE MAIS IMPORTANTE DO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA DO MAR É A UNIDADE DE OSMOSE REVERSA;
- A SEPARAÇÃO DE SOLUTOS OCORRE PELA PASSAGEM PREFERENCIAL DA ÁGUA EM RELAÇÃO ÀS ESPÉCIES SOLÚVEIS ATRAVÉS DAS MEMBRANAS;
- É UM FENÔMENO TERMODINÂMICO, QUE CONSISTE NA TRANSFERÊNCIA DE ÁGUA DE UMA SOLUÇÃO DE MAIOR ENERGIA PARA UMA DE MENOR ENERGIA:
  - NO PROCESSO DE OSMOSE NATURAL, A ÁGUA ATRAVESSA UMA MEMBRANA PERMEÁVEL DA SOLUÇÃO MAIS DILUÍDA (MAIOR ENERGIA), PARA A MAIS CONCENTRADA (MENOR ENERGIA);
  - NA OSMOSE REVERSA, UTILIZA-SE UMA ENERGIA ADICIONAL (PRESSÃO HIDRÁULICA), NA SOLUÇÃO MAIS CONCENTRADA, FAZENDO COM QUE A ÁGUA ATRAVESSE A MEMBRANA PARA A SOLUÇÃO MAIS DILUÍDA, AGORA COM MENOR ENERGIA.

PROJETO DA UNIDADE DE OSMOSE REVERSA

- UTILIZAÇÃO DE APLICATIVOS DE DIMENSIONAMENTO DAS EMPRESAS FORNECEDORAS DE MEMBRAS:
  - DOW WATER &PROCESS SOLUTIONS (PROGRAMA WAVE):
    - (HTTPS://WWW.DOW.COM/EN-US/WATER-AND-PROCESS-SOLUTIONS/RESOURCES/DESIGN-SOFTWARE).
  - NITTO HYDRANAUTICS (PROGRAMA IMSDESIGN):
    - (HTTP://MEMBRANES.COM/SOLUTIONS/SOFTWARE/).
  - TORAY MEMBRANES (PROGRAMA TORAYDS/DS2):
    - (HTTPS://AP3.TORAY.CO.JP/TORAYWATER/).

Representação esquemática da Unidade de Osmose Reversa

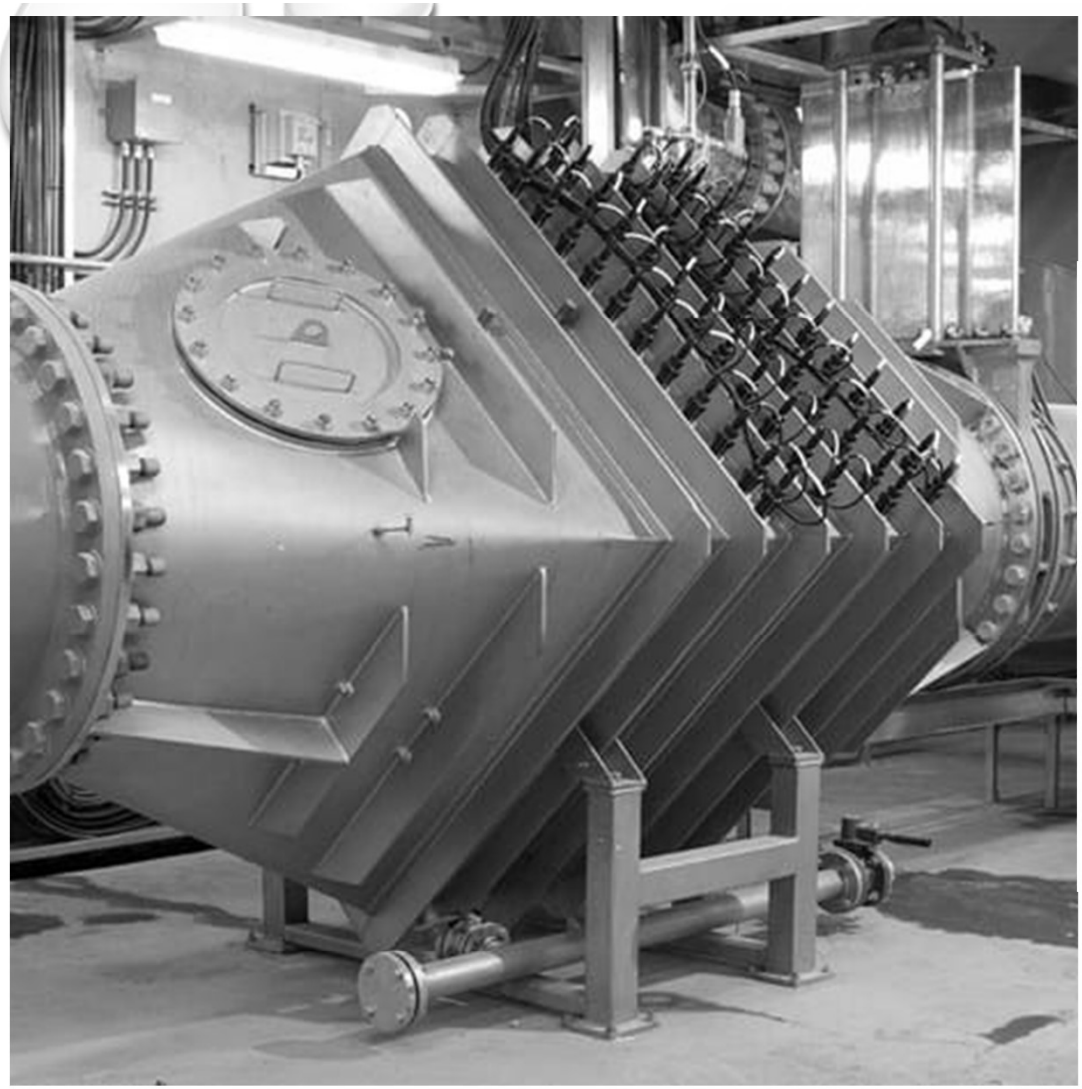


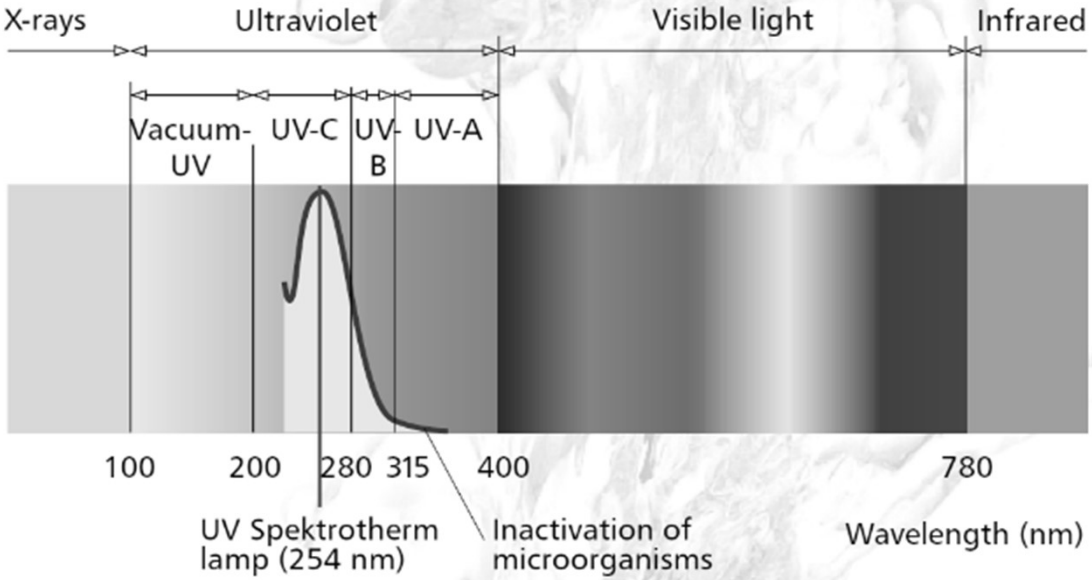
PARTES INTEGRANTES DA UNIDADE DE OSMOSE REVERSA

- BOMBA DE BAIXA PRESSÃO:
  - A PARTIR DOS PROCESSOS DE PRÉ-TRATAMENTO EMPREGADOS, CLARIFICAÇÃO CONVENCIONAL OU UNIDADE DE MF/UF, A ÁGUA DO MAR DEVE SER DIRECIONADA PARA UM TANQUE PULMÃO;
  - GERALMENTE, A SUÇÃO DA ÁGUA DO TANQUE PULMÃO PARA AS MEMBRANAS NÃO É FEITA DIRETAMENTE PELA BOMBA DE ALTA PRESSÃO, ASSIM SERÁ NECESSÁRIO UMA BOMBA DE BAIXA PRESSÃO.
- BATERIA DE FILTROS CARTUCHOS:
  - VISANDO ASSEGURAR A QUALIDADE DA ÁGUA ALIMENTADA À UNIDADE DE OSMOSE, ENTRE A DESCARGA DA BOMBA DE BAIXA PRESSÃO E A SUCÇÃO DA DE ALTA PRESSÃO É INSTALADA A BATERIA DE FILTROS CARTUCHOS.

PARTES INTEGRANTES DA UNIDADE DE OSMOSE REVERSA

- UNIDADE DE DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA:
  - COMO FORMA DE REDUZIR O POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE BIOFILME NAS MEMBRANAS DE OSMOSE REVERSA PODE-SE UTILIZAR UMA UNIDADE DE DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO UV;
  - A DOSE DE RADIAÇÃO A SER UTILIZADA DEVE SER SUPERIOR A 300 J/m^2;
- CASO SEJA UTILIZADO O CLORO EM ALGUM PONTO DO SISTEMA ANTES DA UNIDADE DE OSMOSE REVERSA, SERÁ NECESSÁRIO FAZER A DECLORAÇÃO:
  - USO DE LEITO DE CARVÃO ATIVADO (MENOS INDICADO);
  - DOSAGEM DE UM AGENTE REDUTOR, COMO O BISSULFITO OU METABISSULFITO DE SÓDIO (O USO EM EXCESSO PODE TRAZER PROBLEMAS AMBIENTAIS);
- A PRESENÇA DE CLORO LIVRE NA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DA UNIDADE DE OSMOSE PODE DEGRADAR AS MEMBRANAS E REDUZIR A SUA VIDA ÚTIL.

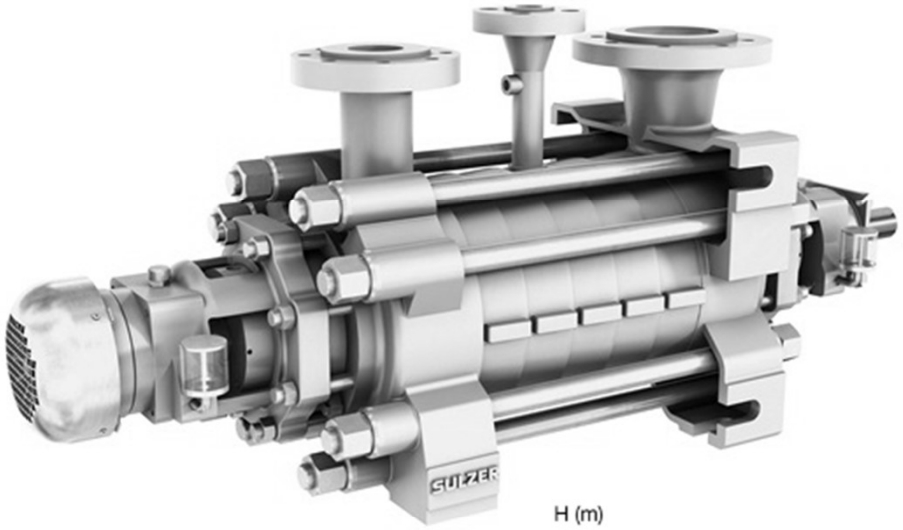




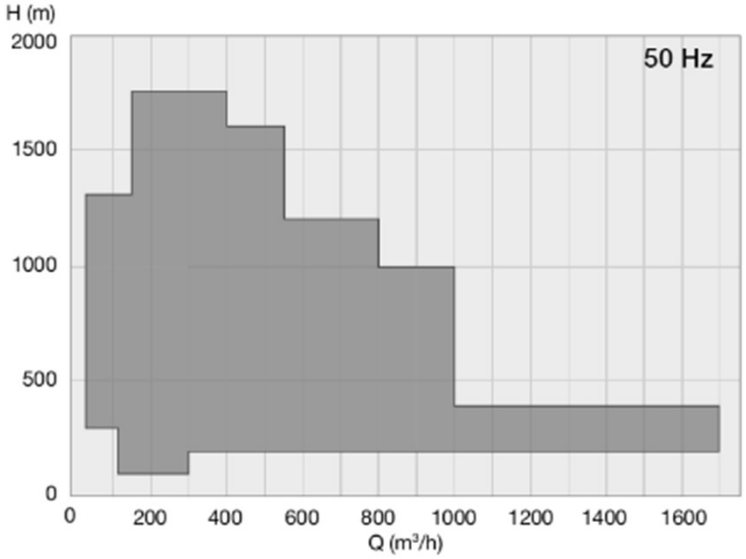
Equipamento de desinfecção por radiação ultravioleta

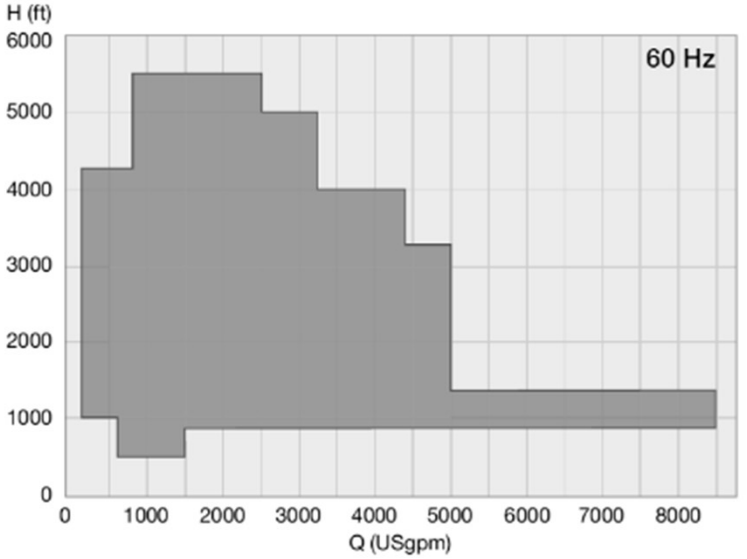
PARTES INTEGRANTES DA UNIDADE DE OSMOSE REVERSA

- BOMBA DE ALTA PRESSÃO:
  - SERÁ RESPONSÁVEL PELO AUMENTO DA PRESSÃO DA ÁGUA QUE SERÁ ALIMENTADA AOS VASOS DE PRESSÃO;
  - PODEM SER UTILIZADAS:
    - BOMBAS DE DESLOCAMENTO POSITIVO COM EFICIÊNCIA ENTRE 90-95%, MAS PODEM APRESENTAR PULSAÇÃO;
    - BOMBAS CENTRÍFUGAS:
      - TURBINA VERTICAL, NÃO SÃO MUITO UTILIZADAS PARA DESSALINIZAÇÃO;
      - MÚLTIPLOS ESTÁGIOS COM CARCAÇA SEGMENTADA, EFICIÊNCIA ENTRE 80-88%;
      - MÚLTIPLOS ESTÁGIOS COM ANEL SEGMENTADO, APRESENTA MENOR CUSTO E EFICIÊNCIA VARIANDO ENTRE 70-80%;
      - BOMBAS DE ALTA VELOCIDADE E UM ESTÁGIO, PODEM SER ACOPLADAS À TURBO COMPRESSORES, PARA RECUPERAÇÃO DA ENERGIA DO CONCENTRADO.



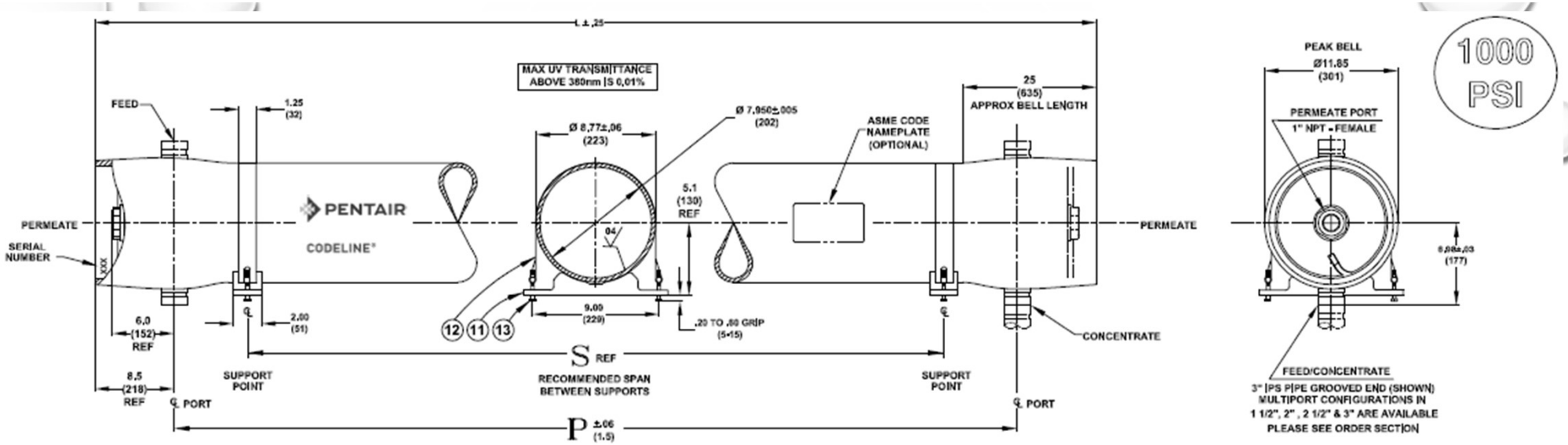
Bomba centrífuga com carcaça segmentada





PARTES INTEGRANTES DA UNIDADE DE OSMOSE REVERSA

- VASOS DE PRESSÃO E MÓDULOS DE MEMBRANAS:
  - OS VASOS DE PRESSÃO SÃO AS ESTRUTURAS NAS QUAIS OS MEMBRANAS SERÃO INSTALADOS;
    - TEM POR FUNÇÃO RESISTIR MECANICAMENTE AOS ESFORÇOS GERADOS PELA PRESSÃO À QUAL SERÃO SUBMETIDOS E ASSEGURAR A SEPARAÇÃO EFICIENTE DAS CORRENTES DE PERMEADO E CONCENTRADO.
  - OS MÓDULOS DE MEMBRANAS SERÃO OS RESPONSÁVEIS PELA SEPARAÇÃO EFETIVA DOS SAIS PRESENTES NA ÁGUA DO MAR.
- O DIÂMETRO DOS MÓDULOS DEVE SER COMPATÍVEL COM O DIÂMETRO DA MEMBRANA A SER UTILIZADA;
- O COMPRIMENTO DO VASO DE PRESSÃO E FUNÇÃO DO NÚMERO DE MÓDULOS DE MEMBRANAS COLOCADOS EM SÉRIE.



Características de um vaso de pressão para membranas de osmose reversa

Dash Length	L IN(MM)	P IN(MM)	S IN(MM)	Approx Weight LB(KG)**
-1	64.15 (1629)	47 (1194)	10X1 (254)	145 (66)
-2	104.15 (2645)	87 (2210)	50X1 (1270)	179 (81)
-3	144.15 (3661)	127 (3226)	80X1 (2032)	213 (97)
-4	184.15 (4677)	167 (4242)	64X2 (1626)	248 (112)
-5	224.15 (5693)	207 (5258)	78X2 (1981)	282 (128)
-6	264.15 (6709)	247 (6274)	92X2 (2337)	316 (143)
-7	304.15 (7725)	287 (7290)	106X2 (2692)	347 (157)
-8	344.15 (8741)	327 (8306)	120X2 (3048)	381 (173)

PARTES INTEGRANTES DA UNIDADE DE OSMOSE REVERSA

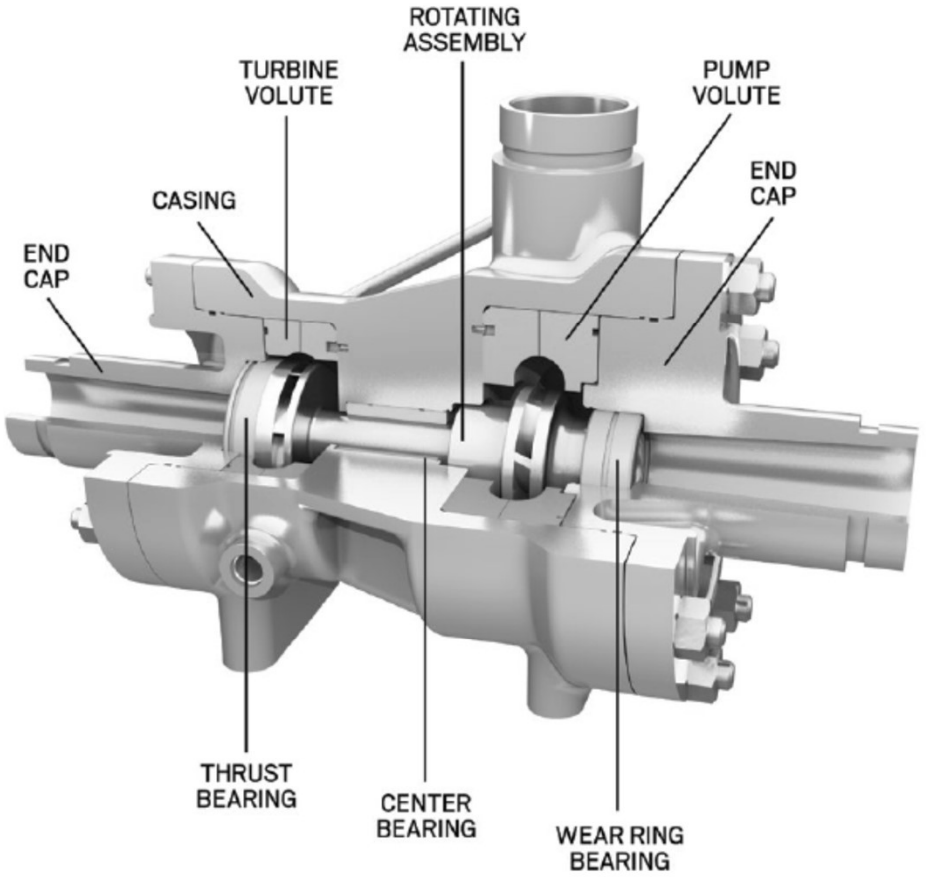
- UNIDADE DE DOSAGEM QUÍMICA:
  - PARA A EVITAR PROBLEMAS DE INCRUSTAÇÃO NAS MEMBRANAS, É NECESSÁRIA A DOSAGEM DE ÁCIDO E TAMBÉM DE UM ANTIINCRUSTANTE.
- UNIDADE DE LIMPEZA QUÍMICA E SANITIZAÇÃO:
  - COM O TEMPO, O DESEMPENHO DAS MEMBRANAS VAI SENDO REDUZIDO, O QUE EXIGE A REALIZAÇÃO DE PARADAS PARA LIMPEZA QUÍMICA E SANITIZAÇÃO;
  - A FREQUÊNCIA DESTAS OPERAÇÕES VAI DEPENDER DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE PRÉ-TRATAMENTO:
  - EM GERAL, LIMPEZAS MUITO FREQUENTES RESULTAM DE:
    - PRÉ-TRATAMENTO INADEQUADO;
    - DESESTABILIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE PRÉ-TRATAMENTO;
    - SELEÇÃO INADEQUADA DE MATÉRIAS;
    - FALHA DA UNIDADE DE DOSAGEM QUÍMICA;
    - CONTROLE OPERACIONAL INADEQUADO;
    - MUDANÇA NA COMPOSIÇÃO DA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO.

PARTES INTEGRANTES DA UNIDADE DE OSMOSE REVERSA

- VÁLVULAS DE CONTROLE E SEGURANÇA:
  - VISAM GARANTIR A OPERAÇÃO ADEQUADA DA UNIDADE, POR MEIO DA PROTEÇÃO DE BOMBAS, DAS MEMBRANAS E OUTROS COMPONENTES DA UNIDADE.
- INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE:
  - NECESSÁRIOS PARA O MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS DE PROCESSO E A ATUAÇÃO NOS ELEMENTOS DE CONTROLE.
- UNIDADE DE RECUPERAÇÃO DE ENERGIA:
  - NOS SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA DO MAR, A ENERGIA DISPONÍVEL NO CONCENTRADO É BASTANTE ALTA, O QUE POSSIBILITA A UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE RECUPERAÇÃO;
  - A UTILIZAÇÃO DESTES DISPOSITIVOS REDUZ O CONSUMO DE ENERGIA DA UNIDADE E, CONSEQUENTEMENTE, OS CUSTOS DE PRODUÇÃO.

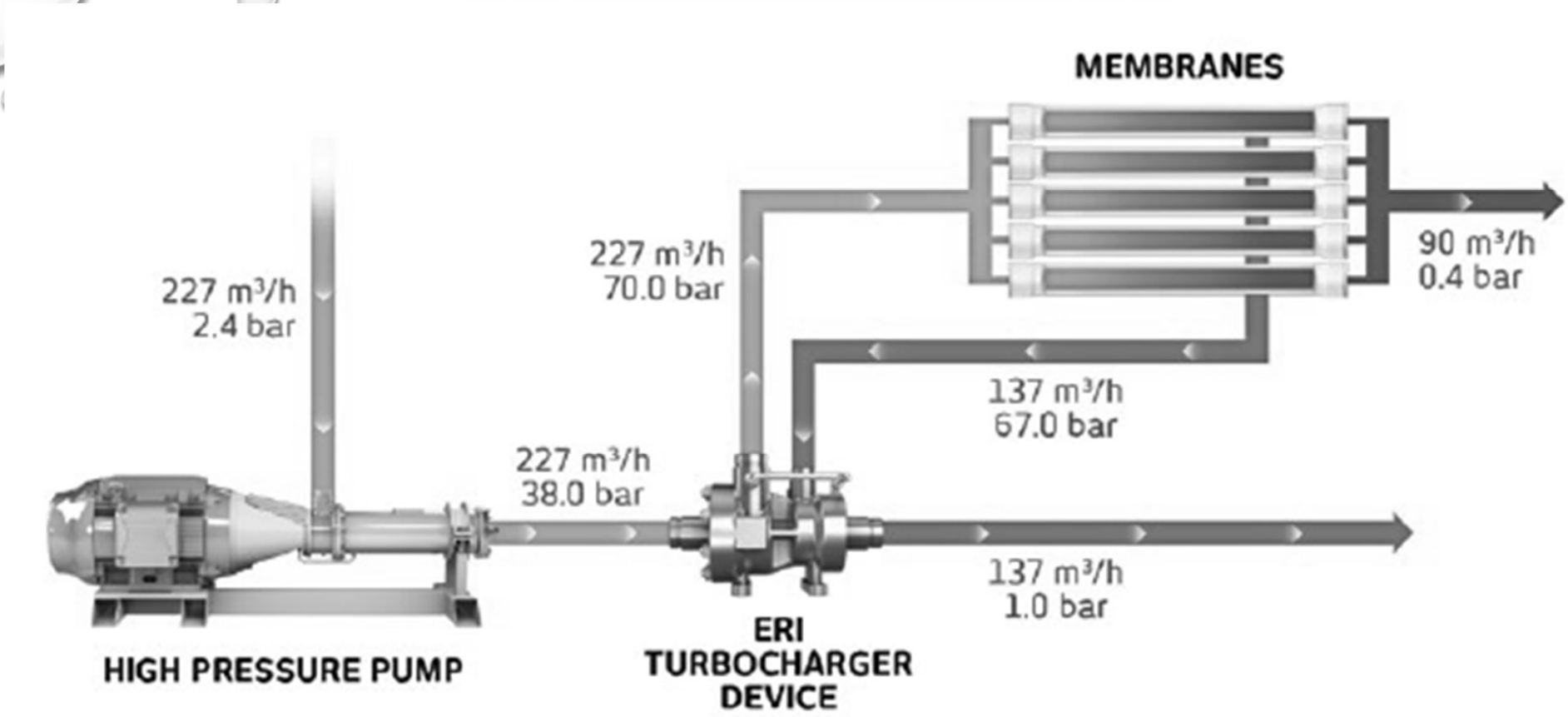
SISTEMA DE RECUPERAÇÃO DE ENERGIA

- O CONSUMO DE ENERGIA EM UNIDADES DE DESSALINIZAÇÃO É RELEVANTE;
- EM FUNÇÃO DA TAXA DE RECUPERAÇÃO DE ÁGUA, O CONCENTRADO AINDA APRESENTA UMA QUANTIDADE ELEVADA DE ENERGIA (ATÉ 55% DA ENERGIA APLICADA);
- SE ESTA ENERGIA FOR RECUPERADA, O CONSUMO SERÁ REDUZIDO DE FORMA SIGNIFICATIVA;
- ESTA QUESTÃO RESULTOU NO DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVOS VARIADOS.



Recuperador de energia tipo turbo compressor

(http://www.energyrecovery.com/water/turbochargers/)



Exemplo de aplicação do turbo compressor para recuperação de energia

(http://www.energyrecovery.com/water/turbochargers/)

Operações de limpeza e sanitização

- São necessárias pois os processos de formação de depósitos e biofilme são inevitáveis;
- A necessidade e frequência de realização são baseadas nos parâmetros operacionais do sistema:
  - Redução do fluxo de permeado;
  - Aumento da perda de carga;
  - Deterioração da qualidade do produto;
  - Aumento na contagem de microrganismos.

Operações de limpeza e sanitização (cont.)

- As operações de limpeza e sanitização tem três objetivos:
  - A limpeza física das membranas e demais componentes (ausência de impurezas visíveis);
  - A limpeza química (remoção de depósitos e incrustações);
  - A limpeza biológica (eliminação de microrganismos viáveis).

UNIDADE DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

- EM FUNÇÃO DO PROJETO DA UNIDADE DE PRÉ-TRATAMENTO UTILIZADO, SERÃO GERADOS EFLUENTES OU RESÍDUOS ESPECÍFICOS:
  - SISTEMA CONVENCIONAL DE CLARIFICAÇÃO:
    - ÁGUA DE CONTRALAVAGEM DOS FILTROS COM ELEVADA TURBIDEZ;
    - LODO DRENADO DE SEDIMENTADORES OU ELIMINADO DO FLOTADOR.
  - SISTEMA POR MEMBRANAS DE MF/UF:
    - ÁGUA DE CONTRALAVAGEM DE FILTROS TIPO DISCO;
    - ÁGUA DE CONTRALAVAGEM DAS MEMBRANAS;
    - SOLUÇÕES DE LIMPEZA QUÍMICA.
- O SISTEMA DE OSMOSE RESERVA IRÁ GERAR DOIS TIPOS DE EFLUENTES:
  - CONCENTRADO DA UNIDADE DE OSMOSE REVERSA;
  - SOLUÇÕES DE LIMPEZA QUÍMICA E SANITIZAÇÃO.

UNIDADE DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

- CONSIDERANDO-SE A LEGISLAÇÃO AMBIENTAL VIGENTE, ESTES EFLUENTES DEVERÃO SER GERENCIADOS DE FORMA ADEQUADA;
- OS EFLUENTES QUE DESPERTAM MAIOR PREOCUPAÇÃO SÃO:
  - ÁGUA DE CONTRALAVAGEM DE FILTROS DE MEIO GRANULAR, DEVIDO À ELEVADA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO;
  - LODO RESULTANTE DE FLOTADORES OU SEDIMENTADORES;
  - SOLUÇÕES DE LIMPEZA QUÍMICA DAS UNIDADES DE MF/UF E OR.
  - ADICIONALMENTE, PODERÃO SER GERADOS EFLUENTES RESULTANTES DA DRENAGEM DE TANQUES DE PRODUTOS QUÍMICOS QUANDO DA REALIZAÇÃO DE OPERAÇÕES DE MANUTENÇÃO.
- O CONCENTRADO RESULTANTE DA OPERAÇÃO DE CONTRALAVAGEM DAS MEMBRANAS DE MF/UF NÃO É MUITO RELEVANTE:
  - NÃO SE PREVÊ A UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS EM CONCENTRAÇÃO RELEVANTES;
  - ELE PODE SER LANÇADO JUNTAMENTE COM OS EFLUENTES RESULTANTES DA LAVAGEM DA GRADE, PENEIRAS E/OU FILTROS TIPO DISCO.

UNIDADE DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

- EFLUENTES RESULTANTES DA LIMPEZA QUÍMICA DAS MEMBRANAS:
  - ESTES EFLUENTES, CONSIDERANDO-SE QUE A FREQUÊNCIA DE GERAÇÃO É BAIXA, PODEM SER NEUTRALIZADOS E ENCAMINHADOS PARA A REDE DE COLETA DE ESGOTOS;
- ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS E LODO DOS SEDIMENTADORES OU FLOTADORES:
  - APRESENTAM CONCENTRAÇÃO ELEVADA DE SÓLIDOS EM SUSPENSÃO, INICIALMENTE PRESENTES NA ÁGUA DO MAR E RESULTANTES DA DOSAGEM QUÍMICA, DEVEM SER SUBMETIDOS A UM TRATAMENTO DE CLARIFICAÇÃO;
  - ALGUMAS EMPRESAS PROJETISTAS INDICAM O SEU LANÇAMENTO ATRAVÉS DO EMISSÁRIO SUBMARINO, JUNTAMENTE COM O CONCENTRADO DA OSMOSE REVERSA;
  - NO ENTANTO, ESTA SOLUÇÃO PODE SER RESTRINGIDA PELO ÓRGÃO DE CONTROLE AMBIENTAL NO PROCESSO DE LICENCIAMENTO.
  - O TRATAMENTO DESTAS CORRENTES ENVOLVE PROCESSOS DE DESAGUAMENTO.

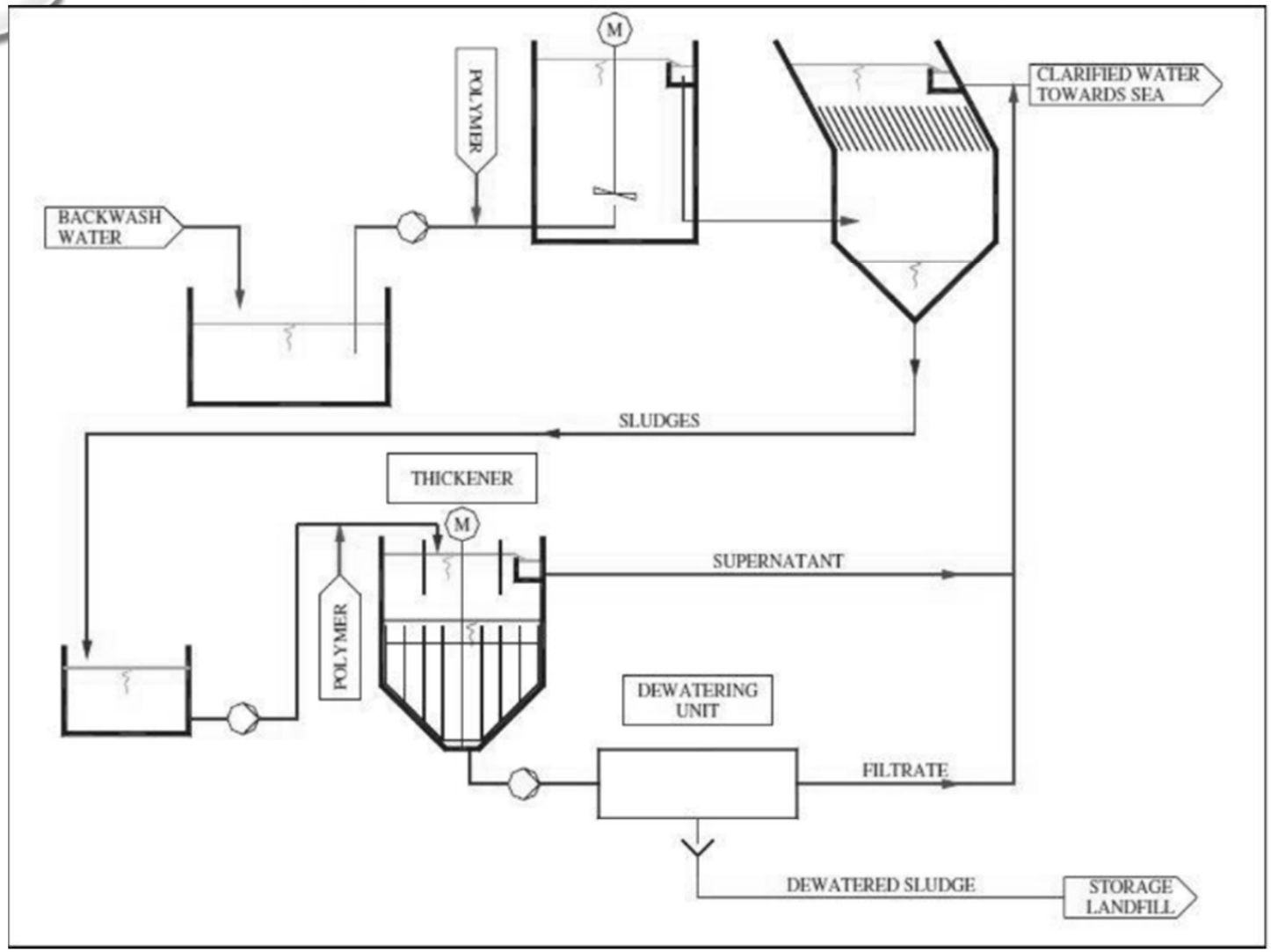
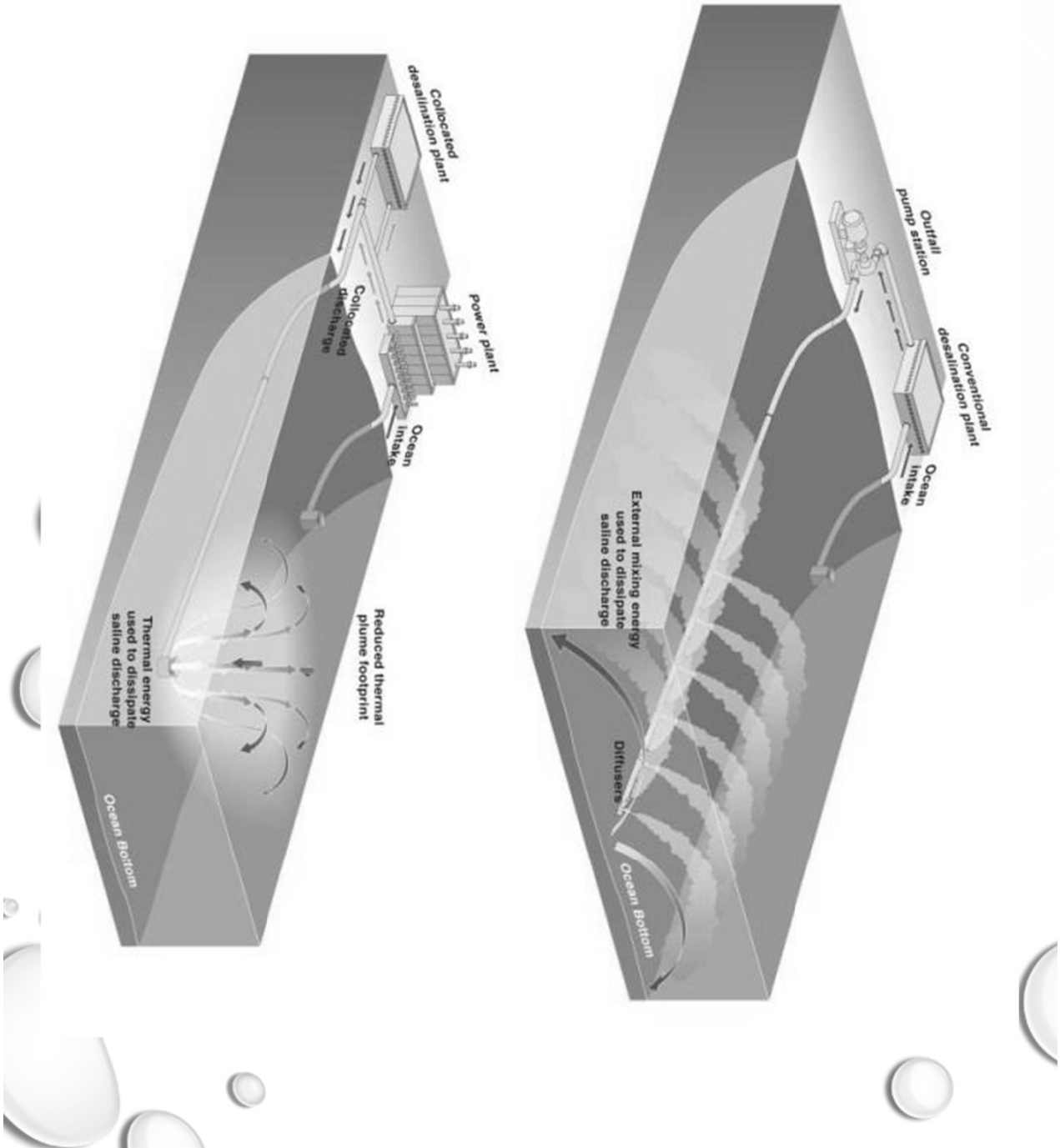


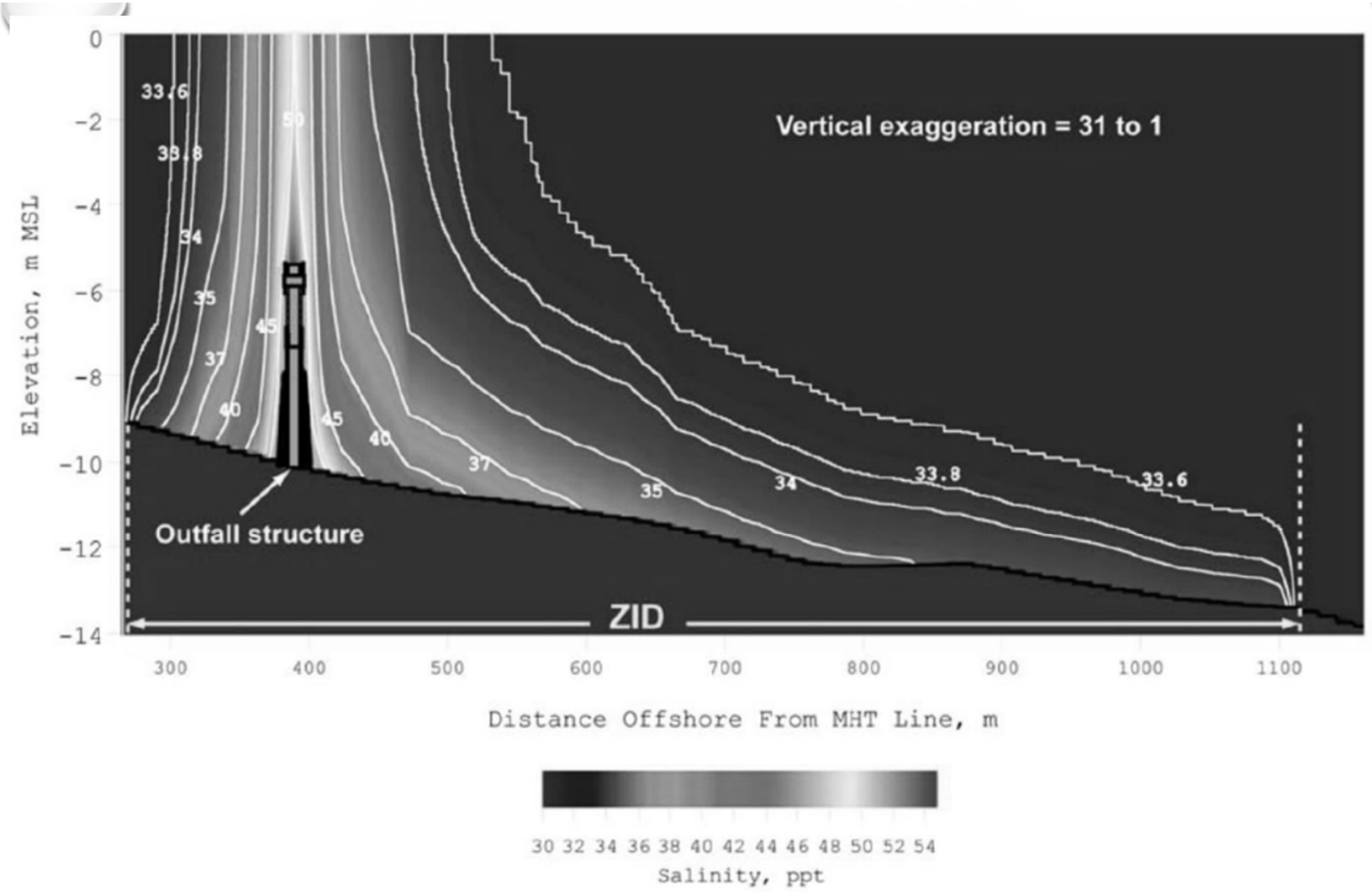
Diagrama esquemático do sistema de tratamento da água de lavagem de filtros e desidratação de lodos

ESTRUTURA DE LANÇAMENTO DE CONCENTRADO

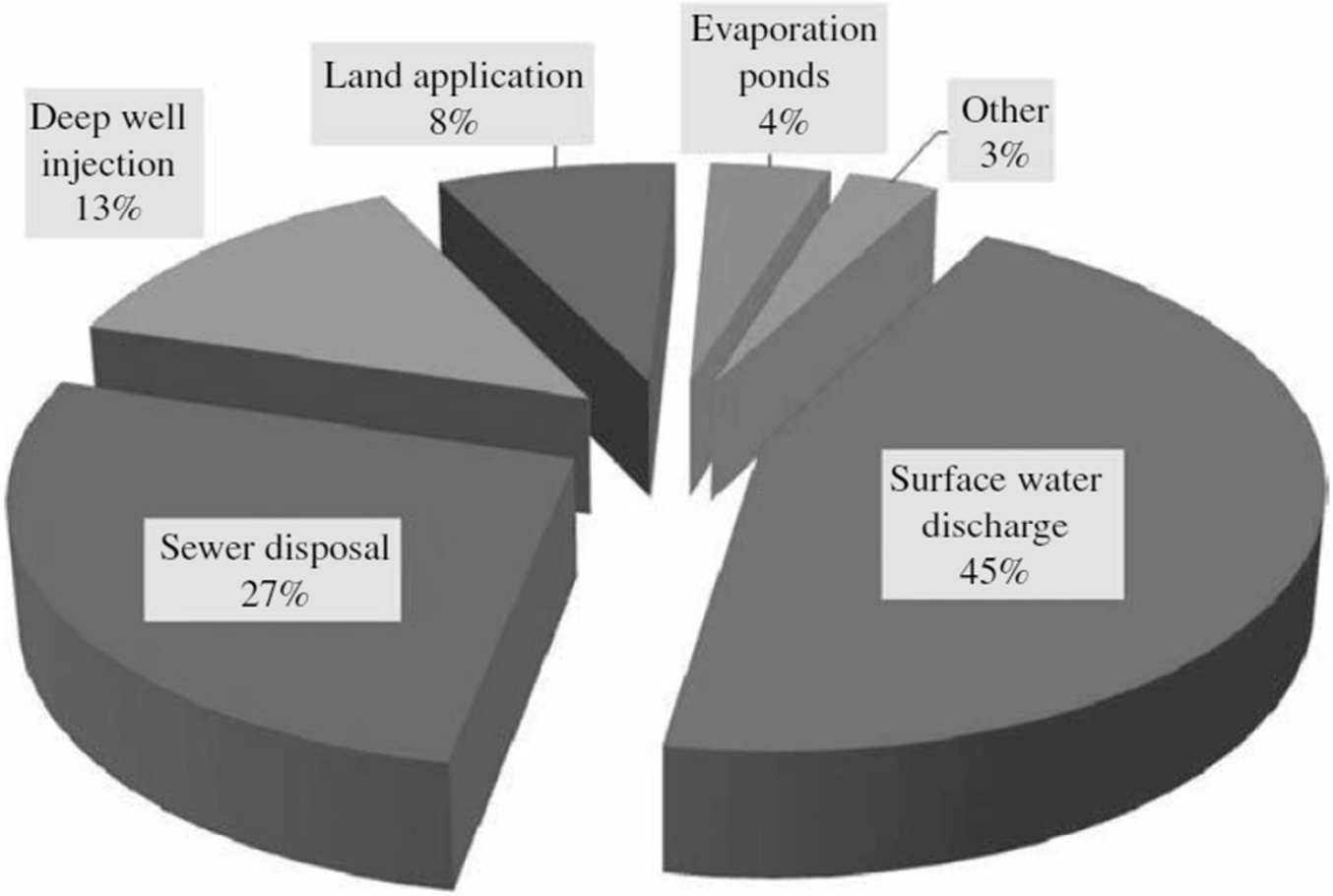
- NAS UNIDADES DE DESSALINIZAÇÃO EM TODO O MUNDO, O PRINCIPAL DESTINO DO CONCENTRADO GERADO, ALÉM DE OUTRAS CORRENTES, É O MAR;
- OS PRINCIPAIS CUIDADOS ASSOCIADO À ESTA PRÁTICA SÃO:
  - IMPACTO DA ÁGUA COM MAIOR SALINIDADE NA COMUNIDADE AQUÁTICA NO PONTO DE LANÇAMENTO;
  - POSSIBILIDADE DE AUMENTO DA CONCENTRAÇÃO DA SALINIDADE DA ÁGUA CAPTADA.
- A PRINCIPAL FORMA DE LANÇAMENTO É POR MEIO DA UTILIZAÇÃO DE EMISSÁRIOS SUBMARINOS;
- ESTES EMISSÁRIOS DEVEM SER PROJETADOS COM BASE NAS CONDIÇÕES DE CORRENTE NO LOCAL E RESULTADOS DE MODELOS DE DISPERSÃO.

Exemplos de padrões de dispersão do concentrado de unidade de dessalinização





Resultado da simulação do lançamento do concentrado de uma unidade de dessalinização



Práticas atuais para o gerenciamento do concentrado de unidade de dessalinização

PREMISSAS DE PROJETO

- O DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE UNIDADES DE DESSALINIZAÇÃO DEVE CONSIDERAR DIVERSOS ELEMENTOS, DESDE A CAPTAÇÃO ATÉ O LANÇAMENTO DO CONCENTRADO E DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA PRODUZIDA;
- DE MANEIRA GERAL, OS ASPECTOS MAIS RELEVANTES À SEREM CONSIDERADOS INCLUEM:
  - CARACTERIZAÇÃO ADEQUADA DA QUALIDADE DA ÁGUA NO PONTO DE CAPTAÇÃO;
  - VARIAÇÃO DA QUALIDADE AO LONGO DO ANO;
  - DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS QUE IRÃO INTEGRAR A UNIDADE DE DESSALINIZAÇÃO, COM UMA ATENÇÃO ESPECIAL, A CAPACIDADE DO SISTEMA DE OSMOSE NO FINAL DA VIDA ÚTIL DAS MEMBRANAS:
    - MEMBRANAS NOVAS TEM MAIOR PRODUTIVIDADE, A QUAL VAI SENDO REDUZIDA AO LONGO DO TEMPO, EM MÉDIA 10% AO ANO;
  - CONSUMO E RECUPERAÇÃO DE ENERGIA;
  - GERENCIAMENTO ADEQUADO DOS RESÍDUOS E EFLUENTES GERADOS;
  - IMPACTOS AMBIENTAIS, RESULTANTES DA CAPTAÇÃO DE ÁGUA E LANÇAMENTO DE CONCENTRADO.

DIMENSIONAMENTO DAS UNIDADES DE PRÉ-TRATAMENTO

- O DIMENSIONAMENTO DAS UNIDADES DE TRATAMENTO PRELIMINAR E PRÉ-TRATAMENTO CONVENCIONAL NÃO APRESENTAM DESAFIOS SIGNIFICATIVOS DE ENGENHARIA:
  - AS UNIDADES DE TRATAMENTO PRELIMINAR E PRÉ-TRATAMENTO CONVENCIONAL SEGUEM O MESMO PROCEDIMENTO UTILIZADO PARA PROJETOS DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA POTÁVEL.
- A PRINCIPAL EXCEÇÃO DIZ RESPEITO À SELEÇÃO DO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DE EQUIPAMENTOS E TUBULAÇÕES;
  - EM GERAL, PARA DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA DO MAR DEVE UTILIZAR MATERIAIS POLIMÉRICOS, LIGA DE COBRE (90%) E NÍQUEL (10%), AÇO INOXIDÁVEL SUPER DUPLEX, OUTROS MATERIAIS DESDE QUE APRESENTEM REVESTIMENTO ADEQUADO CONTRA CORROSÃO;

REMOÇÃO DE ALGAS

- A PRESENÇA DE ALGAS NA ÁGUA DE CAPTAÇÃO PODE SER SAZONAL, O QUE SERÁ AVALIADO POR MEIO DE UMA CAMPANHA DE MONITORAMENTO NO PONTO DE CAPTAÇÃO;
- CASO A PRESENÇA DE ALGAS SEJA IDENTIFICADA, UMA ANÁLISE RELEVANTE É A CARACTERIZAÇÃO DAS ESPÉCIES PRESENTES, PRINCIPALMENTE EM RELAÇÃO AO SEU TAMANHO;
- COMO ILUSTRADO NA FIGURA DO SLIDE 47, O TAMANHO DA COMUNIDADE PLANCTÔNICA NA ÁGUA DO MAR PODE VARIAR DE 0,2 A 1000 μm;
- EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DE ALGAS, MEDIDA EM CÉLULAS POR mL, A SUA REMOÇÃO PODE SER FEITA POR MICROPENEIRAS E FILTROS TIPO DISCO, OU ENTÃO POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO;
- A UTILIZAÇÃO DE UM AGENTE OXIDANTE PODE AUXILIAR NO PROCESSO DE REMOÇÃO POR PROCESSO DE CLARIFICAÇÃO CONVENCIONAL.

SISTEMA DE PRÉ-TRATAMENTO POR MEMBRANAS

- O DIMENSIONAMENTO PRÉVIO DO SISTEMA DE PRÉ-TRATAMENTO PODE MEMBRANAS PODE SER FEITO POR PROGRAMAS COMPUTACIONAIS DISPONIBILIZADOS PELOS FABRICANTES DE MEMBRANAS;
- CONTUDO, PARA O PROJETO FINAL É NECESSÁRIO OBTER OS DADOS PARA DIMENSIONAMENTO POR MEIO DE ENSAIOS EM ESCALA PILOTO;
  - ESTES ENSAIOS DEVEM SER REALIZADOS UM PERÍODO DE UM ANO, OU ENTÃO, DURANTE PERÍODOS MENORES EM ESTAÇÕES CLIMÁTICAS ESPECÍFICAS.
  - A NÃO REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS EM UNIDADE PILOTO PODE RESULTAR EM PROJETOS INADEQUADOS, O QUE PODE COMPROMETER O DESEMPENHO DA UNIDADE DE DESSALINIZAÇÃO, OU GERAR CUSTOS DE OPERAÇÃO ELEVADOS.
- PARA QUALQUER TIPO DE MEMBRANA, MICROFILTRAÇÃO OU ULTRAFILTRAÇÃO, OS ENSAIOS PILOTO PERMITIRÃO OBTER:
  - PARÂMETROS DE OPERAÇÃO, FLUXO E PRESSÃO, EM CADA PERÍODO CLIMÁTICO;
  - FREQUÊNCIA DAS OPERAÇÕES DE CONTRALAVAGEM;
  - FREQUÊNCIA DAS OPERAÇÕES DE LIMPEZA QUÍMICA.

DIMENSIONAMENTO DA UNIDADE DE OSMOSE REVERSA

- DA MESMA FORMA QUE A UNIDADE DE ULTRAFILTRAÇÃO, A UNIDADE DE OSMOSE REVERSA PODE SER DIMENSIONADA PELA UTILIZAÇÃO DE PROGRAMAS COMPUTACIONAIS;
- ALGUNS DOS PROGRAMAS PERMITEM INCLUIR A UNIDADE DE RECUPERAÇÃO DE ENERGIA NO FLUXOGRAMA QUE SERÁ AVALIADO;
- OUTRO PONTO RELEVANTE É A AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA MEMBRANA NO FINAL DE SUA VIDA ÚTIL;
  - ALGUMAS EMPRESAS DESENVOLVEM O PROJETO DO SISTEMA CONSIDERANDO A PRODUÇÃO DE ÁGUA COM A MEMBRANA NOVA;
  - CONTUDO, COM O PASSAR DO TEMPO AS MEMBRANAS VÃO PERDENDO A CAPACIDADE DE PRODUÇÃO;
  - ESTA CONDIÇÃO REQUER UMA AVALIAÇÃO PARA CONSIDERAR UMA ÁREA ADICIONAL DE MEMBRANA, PARA POSSIBILITAR O ATENDIMENTO DA DEMANDA DE ÁGUA NO FINAL DA VIDA ÚTIL DAS MEMBRANAS.

EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO
PROGRAMA WAVE – DOW MEMBRANES

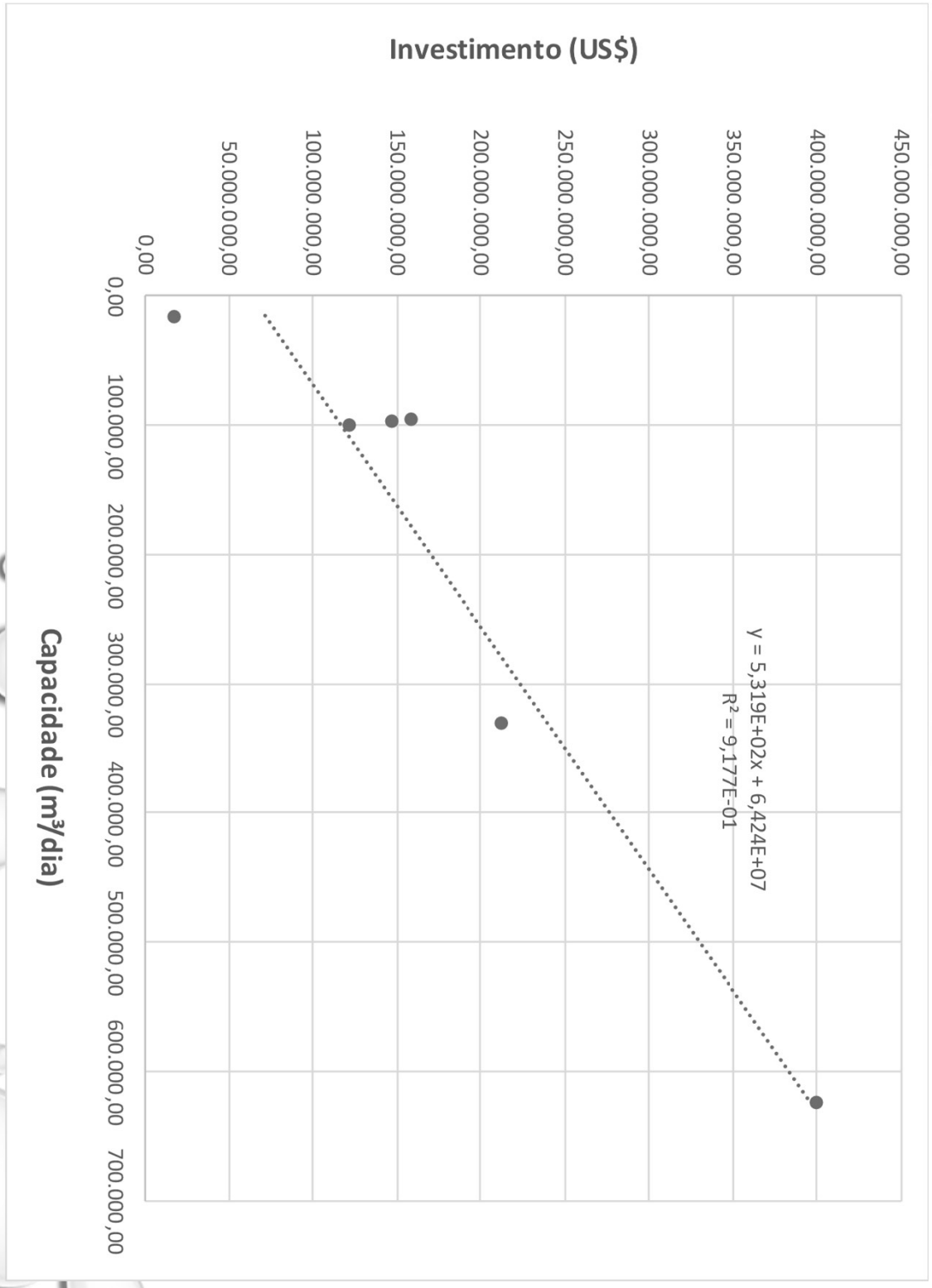
Qualidade da Água do Mar na Região do PCEM

Variável	Unidade	Valor de Referência	Distribuição %	Valores Estimados		
				Mínimos	Médios	Máximos
pH	---	8,3		8,3	8,3	8,3
Turbidez	uT	12,0		12,0	12,0	12,0
Temperatura	ºC	20,0		20,0	20,0	20,0
Cloreto	mg Cl^-/L	18.980,0	55,10%	18.838,7	20.491,7	21.759,0
Sódio	mg Na^+/L	10.556,0	30,64%	10.477,4	11.396,8	12.101,6
Sulfato	mg SO_4^+/L	2.649,0	7,69%	2.629,3	2.860,0	3.036,9
Magnésio	mg Mg^{2+}/L	1.262,0	3,66%	1.252,6	1.362,5	1.446,8
Cálcio	mg Ca^{2+}/L	400,0	1,16%	397,0	431,9	458,6
Potássio	mg K^+/L	380,0	1,10%	377,2	410,3	435,6
Bicarbonato	mg HCO_3^-/L	140,0	0,41%	139,0	151,2	160,5
Nitrato	mg NO_3^-/L	68,6	0,20%	68,1	74,1	78,6
Estrôncio	mg Sr^{2+}/L	2,1		2,1	2,1	2,1
Boro	mg B/L	4,5	0,01%	4,4	4,8	5,1
Fluoreto	mg F^-/L	8,1		8,1	8,1	8,1
Sílica ativa	mg SiO_3/L	6,2	0,02%	6,2	6,7	7,1
SDT	**mg/L**	**34.456,5**	**100,00%**	**34.200,0**	**37.200,0**	**39.500,0**

DISPOSITIVO DE RECUPERAÇÃO DE ENERGIA

- OS FABRICANTES DESTES DISPOSITIVOS DISPONIBILIZAM PLANILHAS DE CÁLCULOS QUE PERMITEM UMA AVALIAÇÃO PRÉVIA;
- FORNECEDORES:
  - DANFOSS;
  - ENERGY RECOVERY INC.;

Curva de custo de Unidades de Dessalinização



CONCLUSÕES

- O PROJETO DE UNIDADES DE DESSALINIZAÇÃO É BASTANTE COMPLEXO, POIS ENVOLVE DIVERSOS ELEMENTOS;
- A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS EM ESCALA PILOTO PODE ASSEGURAR O DESENVOLVIMENTO DE UM PROJETO MAIS ADEQUADO;
- OS CUSTOS ASSOCIADOS AO SISTEMA PODEM VARIAR DE FORMA SIGNIFICATIVA, DEVENDO-SE BALANCEAR OS CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO E DE OPERAÇÃO;
- O ITEM DE MAIOR IMPACTO NO CUSTO FINAL DA ÁGUA PRODUZIDA POR DESSALINIZAÇÃO É A ENERGIA;
  - A UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVOS DE RECUPERAÇÃO DE ENERGIA CONTRIBUI DE FORMA SIGNIFICATIVA PARA A OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DO PROCESSO.