PHA 5053 – Processos de Separação por Membranas para Tratamento de Água e Efluentes

Aula 8 – Projeto de Sistemas de Separação por Membranas – Arranjos e modos de operação.

Prof.: José Carlos Mierzwa
mierzwa@usp.br

Projeto dos Sistemas

- A seleção de um projeto para uma determinada aplicação não é uma tarefa difícil;
- Ela é baseada na capacidade e limitação de cada processo:
  - Separação de sólidos suspensos;
  - Separação de compostos orgânicos com elevado peso molecular;
  - Separação de espécies dissolvidas.

Projeto dos Sistemas (cont.)

- Contudo, a preparação de um projeto bem detalhado e documentado pode ser bastante complexa;
- O desenvolvimento de um projeto é iniciado com a seleção do processo a ser utilizado:
  - Microfiltração ou Ultrafiltração;
  - Nanofiltração;
  - Osmose Reversa.

Projeto dos Sistemas (cont.)

- Isto exige o conhecimento prévio das características do produto que se deseja obter e da qualidade da alimentação;
- Além das informações sobre qualidade, também devem estar disponíveis:
  - A vazão de água a ser produzida ou volume de efluente a ser tratado;
  - Recuperação de água no sistema;
  - Capacidade de produção das membranas.

Projeto dos Sistemas (cont.)

- A capacidade de produção das membranas é uma informação vital para o desenvolvimento do projeto;
- Esta informação deve ser obtida por meio de ensaios piloto, principalmente para sistemas de MF e UF, ou mediante consulta ao fornecedor das membranas;
- Com base nestes dados é possível determinar o número de membranas a serem utilizadas, assim como o de vasos de pressão.

Projeto dos Sistemas (cont.)

- Valores típicos do fluxo de água através das membranas são:
  - Osmose reversa → 15 a 25 L/h.m^2;
  - Nanofiltração → 20 a 30 L/h.m^2;
  - Ultrafiltração → 25 a 50 L/h.m^2;
  - Microfiltração → não há uma regra.
- No caso de sistemas de microfiltração os valores máximos situam-se na faixa de 50 a 70 L/h.m^2.

Dados de capacidade de produção de algumas membranas

Membrana	Fornecedor	Taxa de Produção
Fibra oca (Hydracap) Ultrafiltração	Hydranautics	59 a 145 L/h.m²
Enrolada em espiral Nanofiltração	Hydranautics	30 L/h.m²
Enrolada em espiral Osmose Reversa	Dow Química	50 L/h.m²
Enrolada em espiral Microfiltração	GE-Water	174 L/h.m²

Os valores apresentado foram obtido utilizando-se condições específicas.

Obtenção das condições de operação para MF e UF.

- Para sistemas de MF e UF é necessário realizar ensaios de campo para determinar as condições de operação:
  - Pressão ótima de operação;
  - Frequência de limpeza química;
  - Frequência da operação de contralavagem no caso de sistemas com fluxo perpendicular.

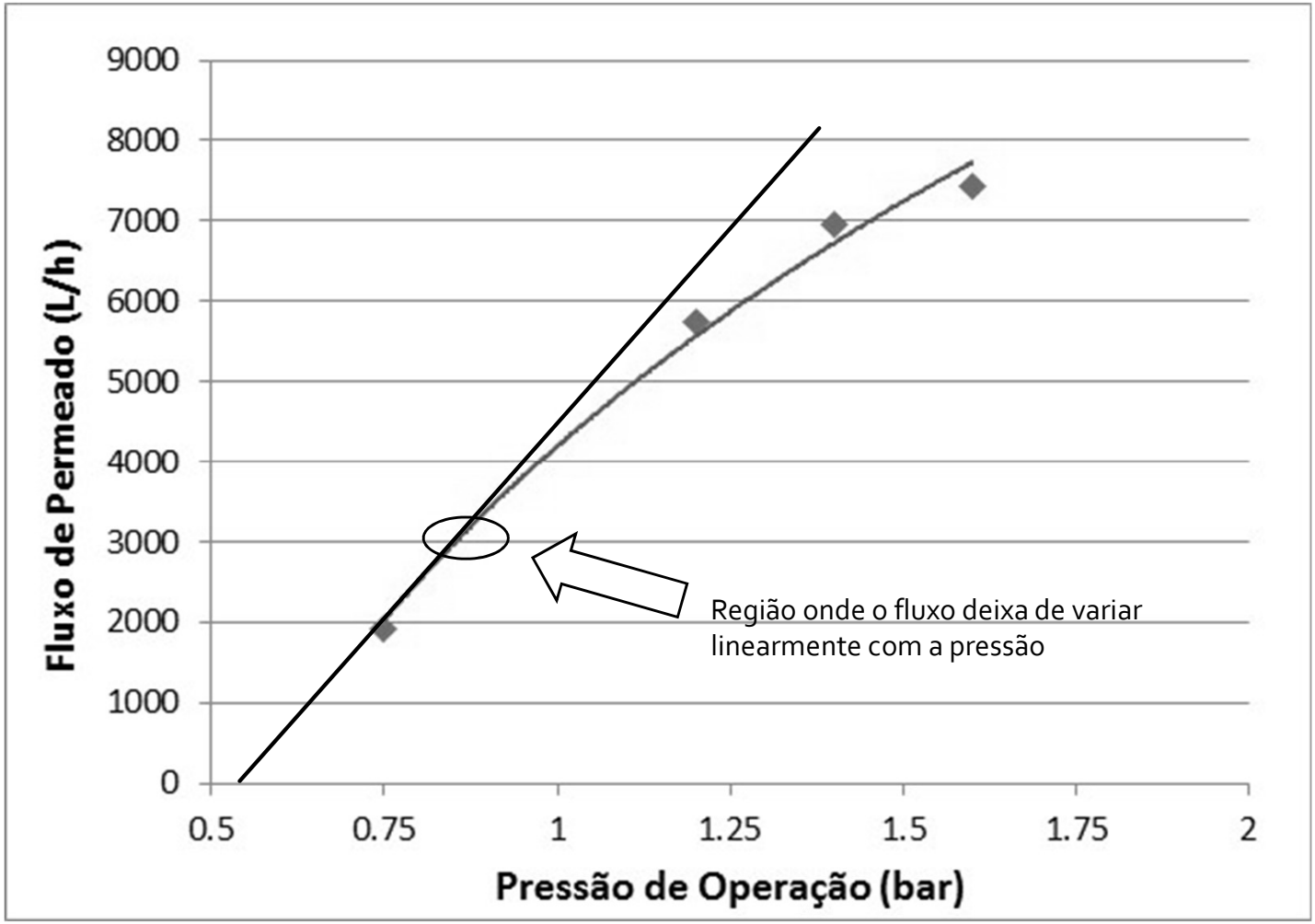
Determinação do Fluxo Crítico

- Sistemas de MF e UF devem operar com pressões na faixa em que o fluxo varia linearmente com a pressão;

- Assim é importante conduzir ensaios com a água ou efluente a ser tratado para obter a variação do fluxo com a pressão;

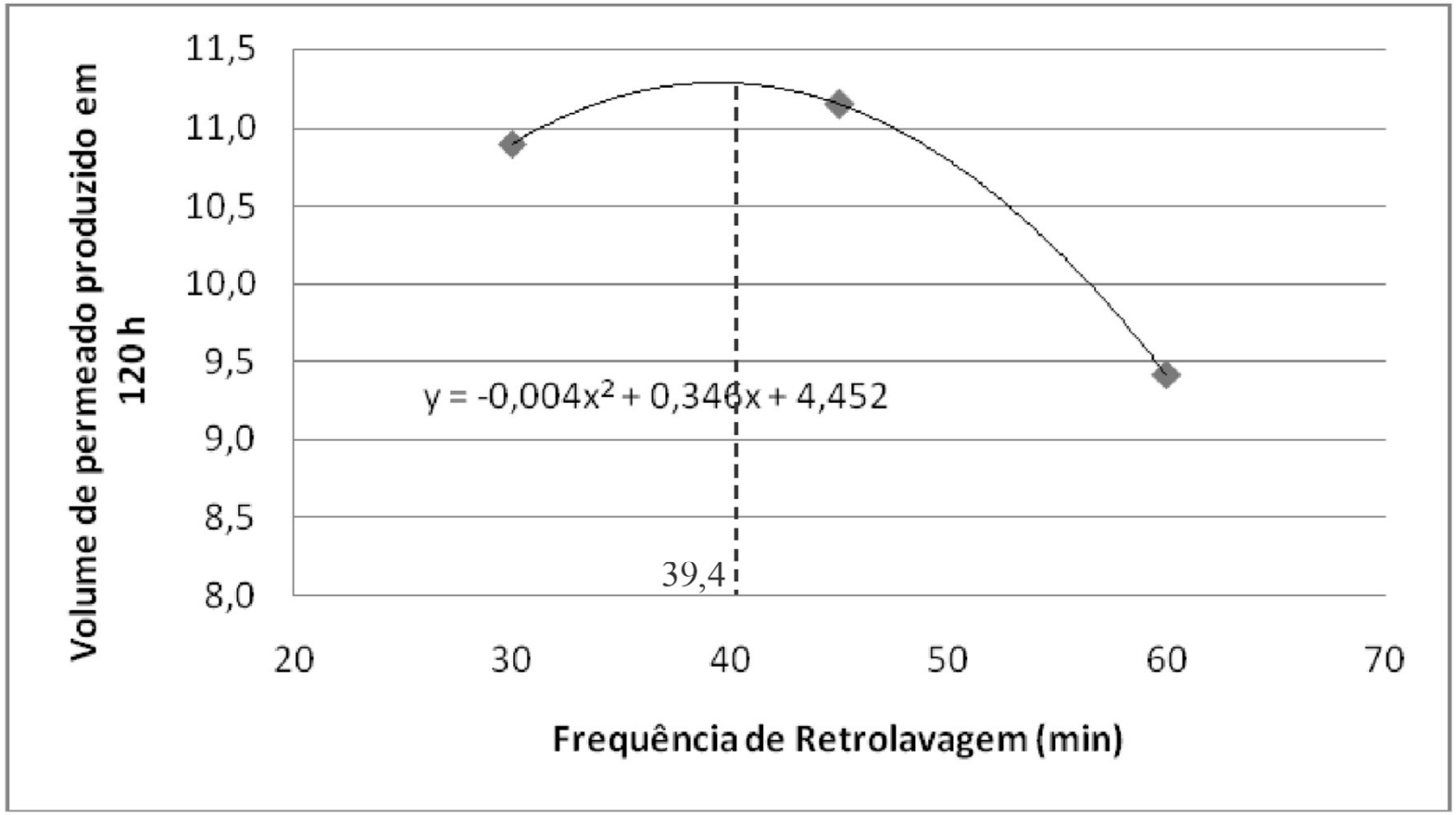
- No gráfico de Fluxo em função da pressão, o ponto no qual ocorre a inflexão da curva é denominado de ponto crítico.

Exemplo



Fonte: Rodrigues, Luana Di Beo. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica (2012)

Determinação da frequência de contralavagem



Fonte: Rodrigues, Luana Di Beo. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica (2012)

Projeto dos Sistemas (cont.)

- Para que qualquer sistema possa operar de modo adequado são necessários:
  - Válvulas de controle e bloqueio;
  - Instrumentos de medição:
    - Pressão e pressão diferencial;
    - Tensão e corrente elétrica;
    - Temperatura;
    - Vazão;
    - pH;
    - Condutividade;
    - Nível de tanques.

Projeto dos Sistemas (cont.)

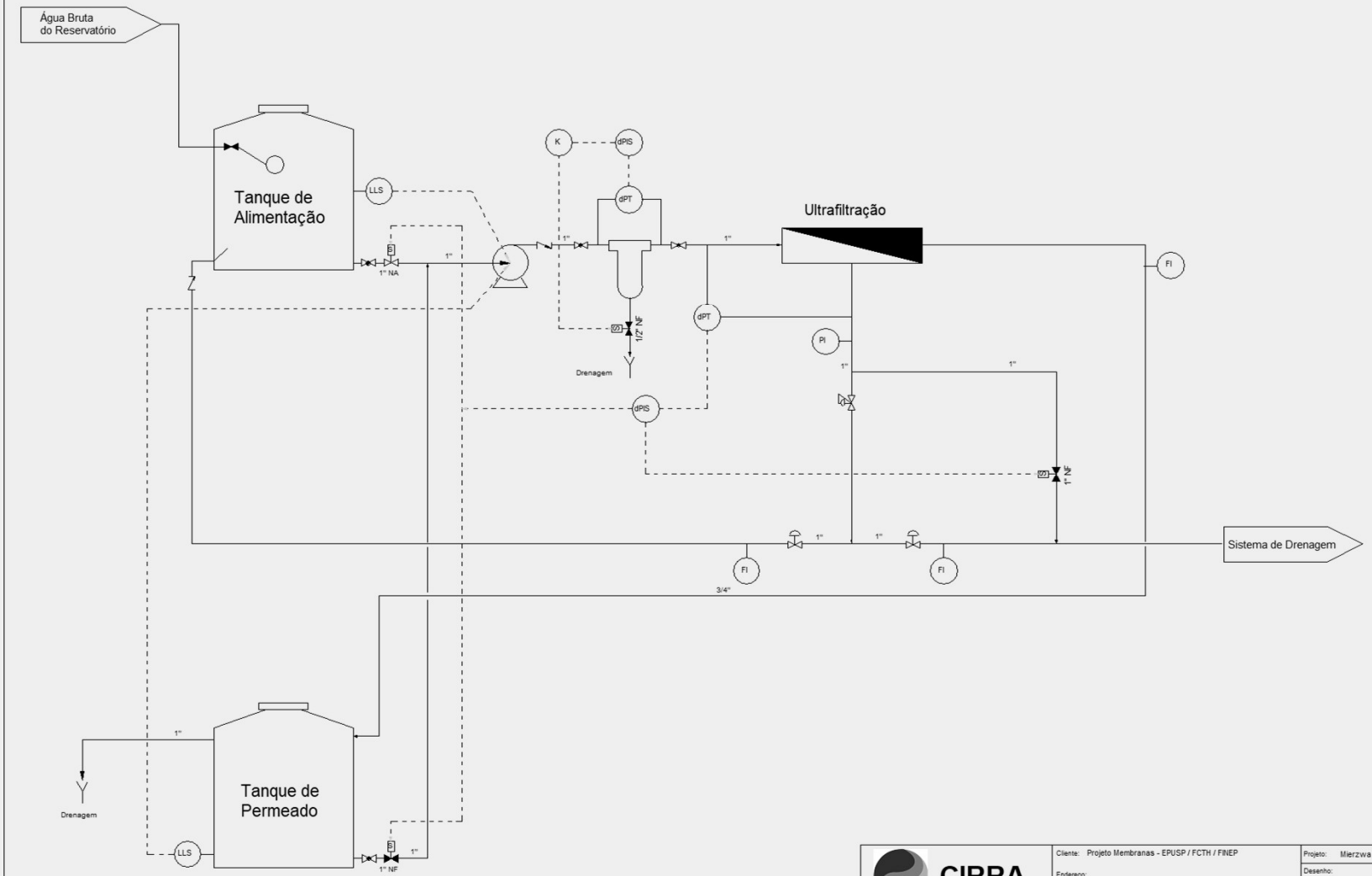
- Controladores e atuadores:
  - Chaves de nível;
  - Pressostatos;
  - Controladores lógicos programáveis.
- A complexidade do sistema será determinada pela sua configuração e nível de automação;
- Também é necessário prever a quantidade e tipos de tanques a serem utilizados.

Projeto dos Sistemas (cont.)

- Um componente essencial para o funcionamento do sistema são as bombas utilizadas:
  - Unidade de pré-tratamento;
  - Alimentação do sistema;
  - Limpeza e sanitização;
  - Dosagem de produtos químicos.
- A escolha dos materiais a ser utilizados também é importante.

Projeto dos Sistemas (cont.)

- Uma atenção especial deve ser dada aos componentes utilizados na linha de concentrado;
- Durante as operações de limpeza e sanitização a vazão na linha é muitas vezes superior à normal;
- Neste caso deve ser prevista uma tubulação de desvio para evitar problemas operacionais ou danos aos componentes.



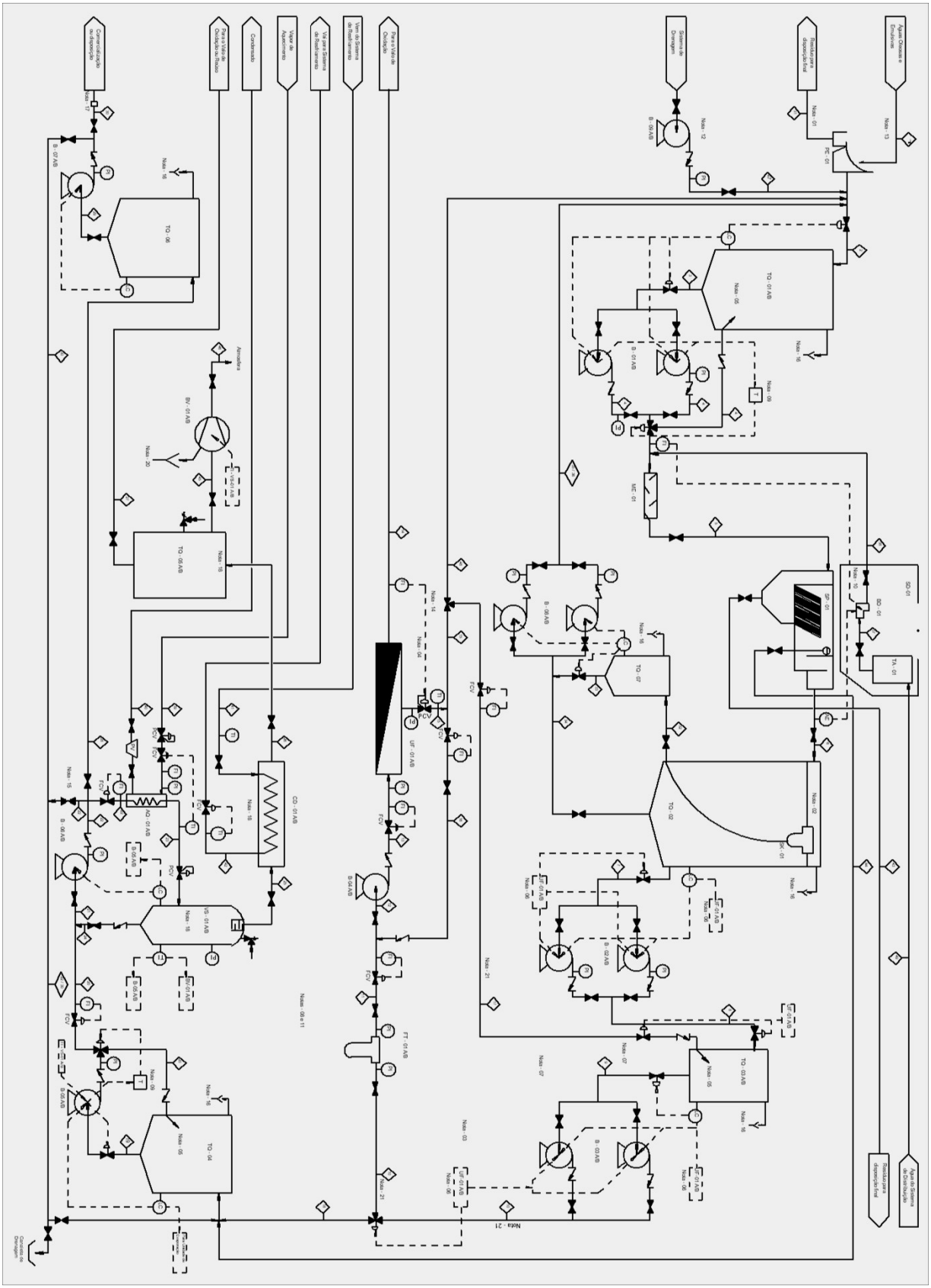
CIRRA

Centro Internacional de Referrência em Reúso de Água

Av. Prof. Lúcio Rodrigues Martins, 129
São Paulo / SP - CEP 05508-900
Fone: 3039-3283 - www.usp.br/cirra

Cliente:	Projeto Membranas - EPUSP / FCTH / FINEP	Projeto:	Mierzwa
Endereço:		Desenho:	
		Revisor:	
Assunto:	Sistema de tratamento de água para abastecimento por Ultrafiltração e Microfiltração.	Escala:	
		Data:	17/09/2004
Nº do Documento:		Folha:	01/01

Sistema de separação por membranas



Modos de operação e arranjo dos sistemas de separação por membranas

- O modo de operação dos sistemas de separação por membranas pode ser:
  - Contínuo (ideal);
  - Intermitente ou batelada.
- A operação contínua trás como vantagem uma maior produtividade, ideal para instalações de grande capacidade;
- A operação em batelada restringe-se a situações onde pequenos volumes de água ou efluentes estão envolvidos.

Arranjos dos sistemas

- O arranjo do sistema a ser utilizado depende dos seguintes parâmetros:
  - Da taxa de recuperação de água ou remoção de sais;
  - Da qualidade do produto a ser obtido;
  - Das características da corrente de alimentação;
  - Do tipo de processo utilizado.

Arranjos dos sistemas (cont.)

- De modo geral podem ser considerados os seguintes arranjos para sistemas de MF, UF, NF e OR:
  - Sistemas contínuos:
    - De passagem única;
    - Com recirculação parcial;
    - De múltiplo estágio;
    - Com tratamento parcial;
    - De duplo passe.
  - Sistema intermitente:
    - Com recirculação total.

Arranjo para sistemas contínuos

- As variações nos arranjos disponíveis estão relacionadas á taxa de recuperação de água e qualidade do produto que se deseja obter;

- Com relação à taxa de recuperação de água, deve-se considerar os limites das membranas;

- Para minimizar o efeito de polarização de concentração a máxima recuperação de água por passagem deve ser limitada.

Arranjo para sistemas contínuos (cont.)

- Limite de recuperação de água por passagem:
  - Membranas em espiral, com 1 m de comprimento, 15%;
  - Recomendado um valor próximo de 10% por passagem;
  - Outras configurações também devem respeitar esses limites.
- Uma consulta ao fornecedor é recomendada.

Arranjo para sistemas contínuos (cont.)

- Sistemas que utilizam membranas enroladas em espiral apresentam a vantagem o fato das membranas poderem ser utilizadas em série, dentro de um mesmo vaso de pressão;
- Como recomendação para cada tipo de processo o número máximo de membranas em série será:

Corrente a ser tratada	Número de membranas em série			
	OR	NF	UF	MF
Água	6	6	3	2
Efluente	4	4	3	2

Arranjo para sistemas contínuos (cont.)

- Utilizando-se os dados apresentados a máxima recuperação de água em cada tipo de sistema será:

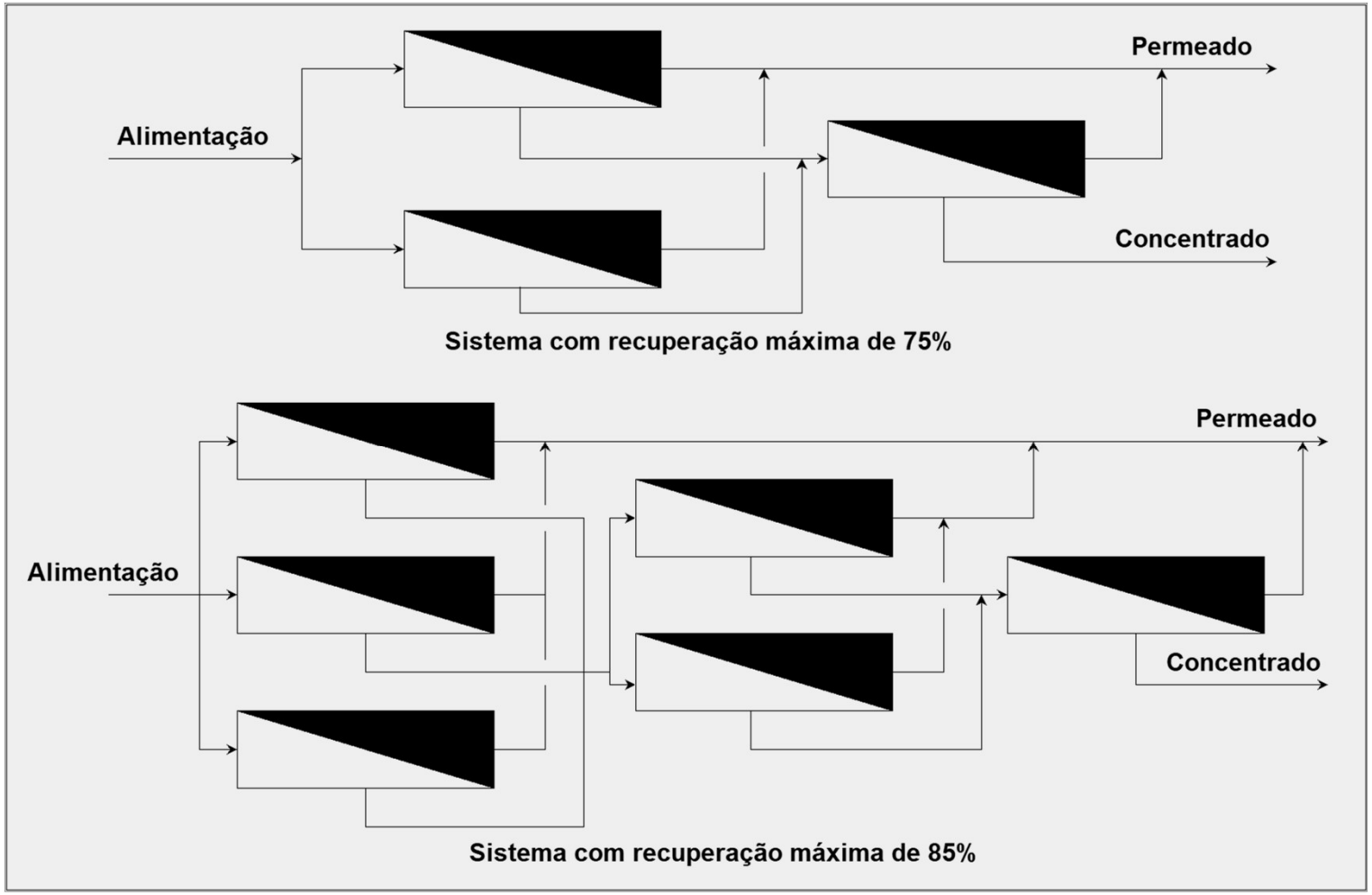
Corrente a ser tratada	Recuperação de Água (%)			
	OR	NF	UF	MF
Água	47	47	27	19
Efluente	34	34	27	19

- A obtenção destes valores considerou uma recuperação de 10% por membrana;

- Para que seja possível obter uma recuperação maior é necessário utilizar módulos em série ou outro procedimento.

Arranjo para sistemas contínuos (cont.)

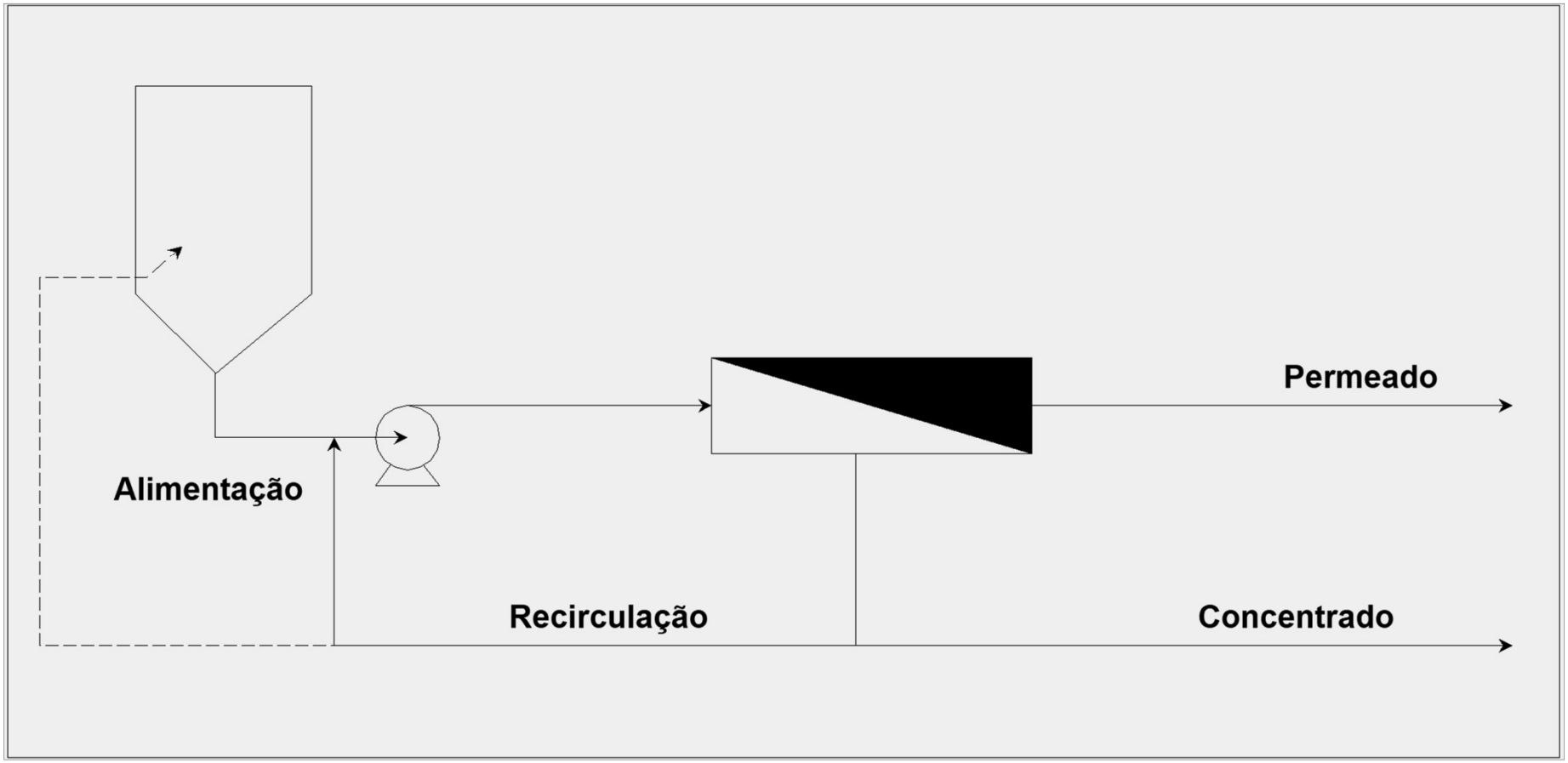
- Quando se opta pela colocação dos módulos em série o arranjo obtido é denominado de "árvore de natal";
- Neste arranjo o número de vasos em cada estágio deve ser menor;
- Geralmente a quantidade de módulos doe estágio subsequente é igual à metade do estágio anterior;
- A quantidade máxima de estágios em série para sistemas de OR e NF é igual a 3.
- Isto irá resultar em uma recuperação máxima de 85% por passagem no sistema;
- Esta configuração não é indicada para sistemas de MF e UF, devido às variações nas taxas de fluxo de água através das membranas.



Arranjo tipo árvore de natal

Arranjo para sistemas contínuos (cont.)

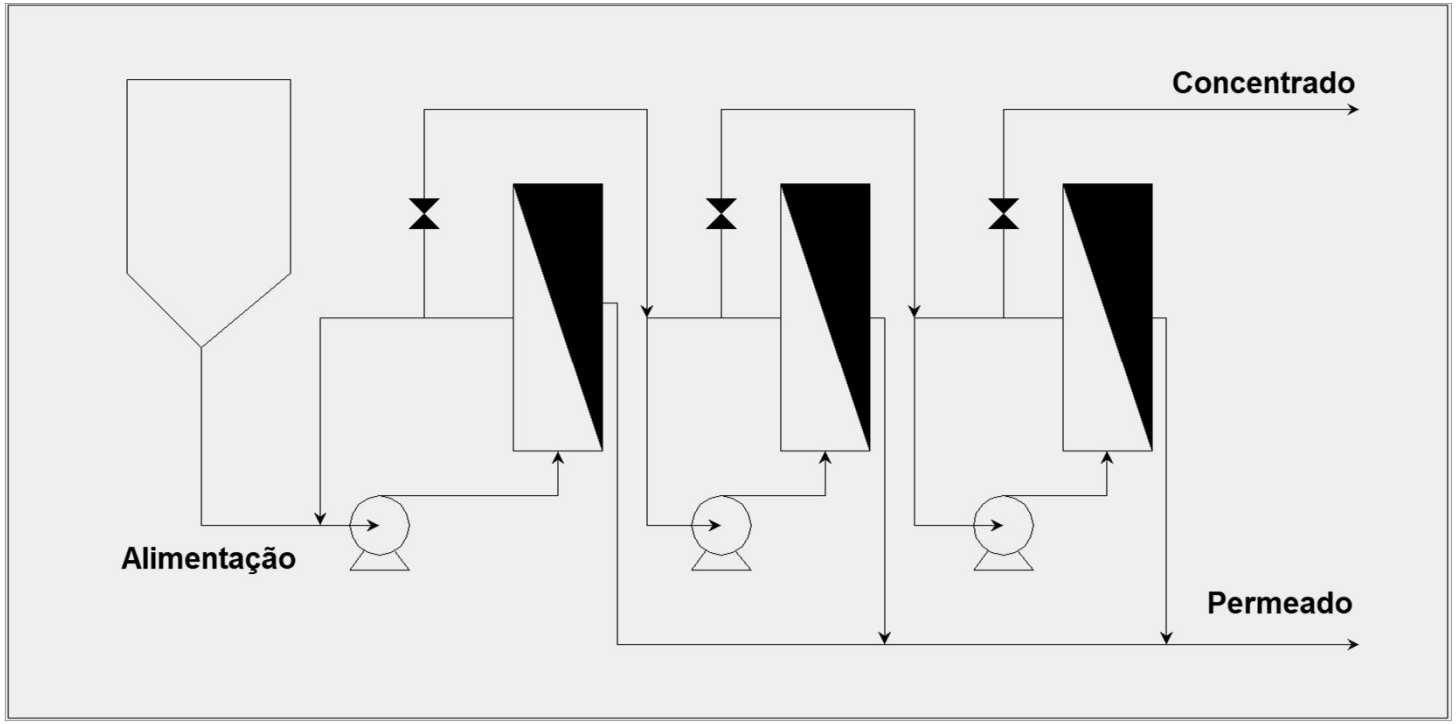
- Para uma maior recuperação de água utiliza-se o sistema com recirculação de concentrado;
- Neste tipo de arranjo uma parcela do concentrado retorna para a alimentação do sistema;
- O principal resultado desta opção é o aumento do consumo de energia e deterioração da qualidade de produto:
  - Maior vazão circulante;
  - Maior concentração do contaminante na alimentação.



Sistema com recirculação de concentrado (recuperação > 85%)

Arranjo para sistemas contínuos (cont.)

- Uma variante do sistema com recirculação de concentrado é o sistema de múltiplos estágios;
- Estes sistemas são mais indicados para sistemas de MF e UF;
- Neste arranjo são utilizados duas ou mais unidades operando em série.



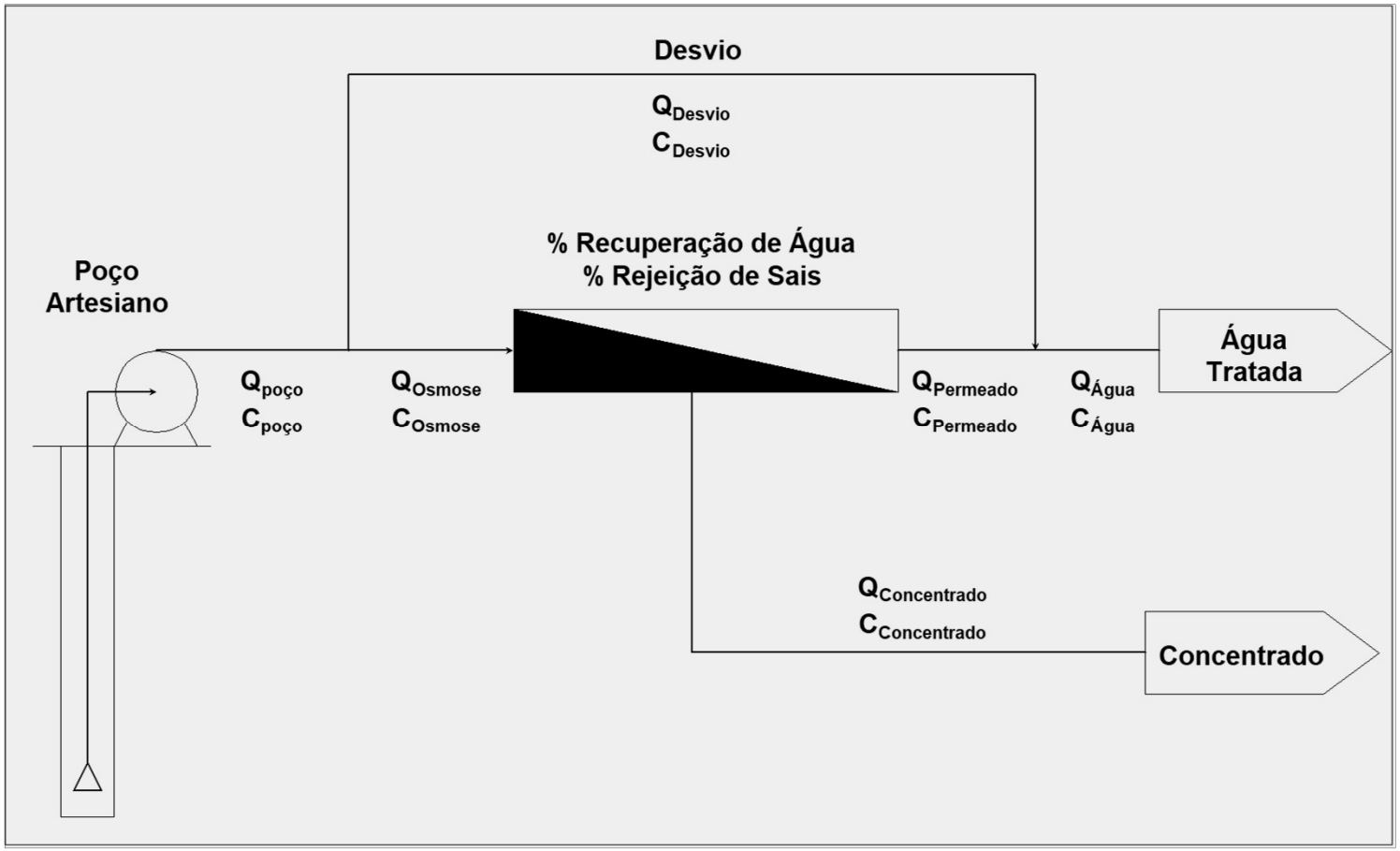
Sistema de múltiplos estágios com recirculação

Arranjo para sistemas contínuos (cont.)

- Arranjo de múltiplos estágios:
  - Apenas as membranas dos últimos estágios são submetidas à condições operacionais mais severas;
  - Exige menor área de membrana;
- Como os primeiros estágios são menos sacrificados, é possível trabalhar com fluxos mais elevados.

Arranjo para sistemas contínuos (cont.)

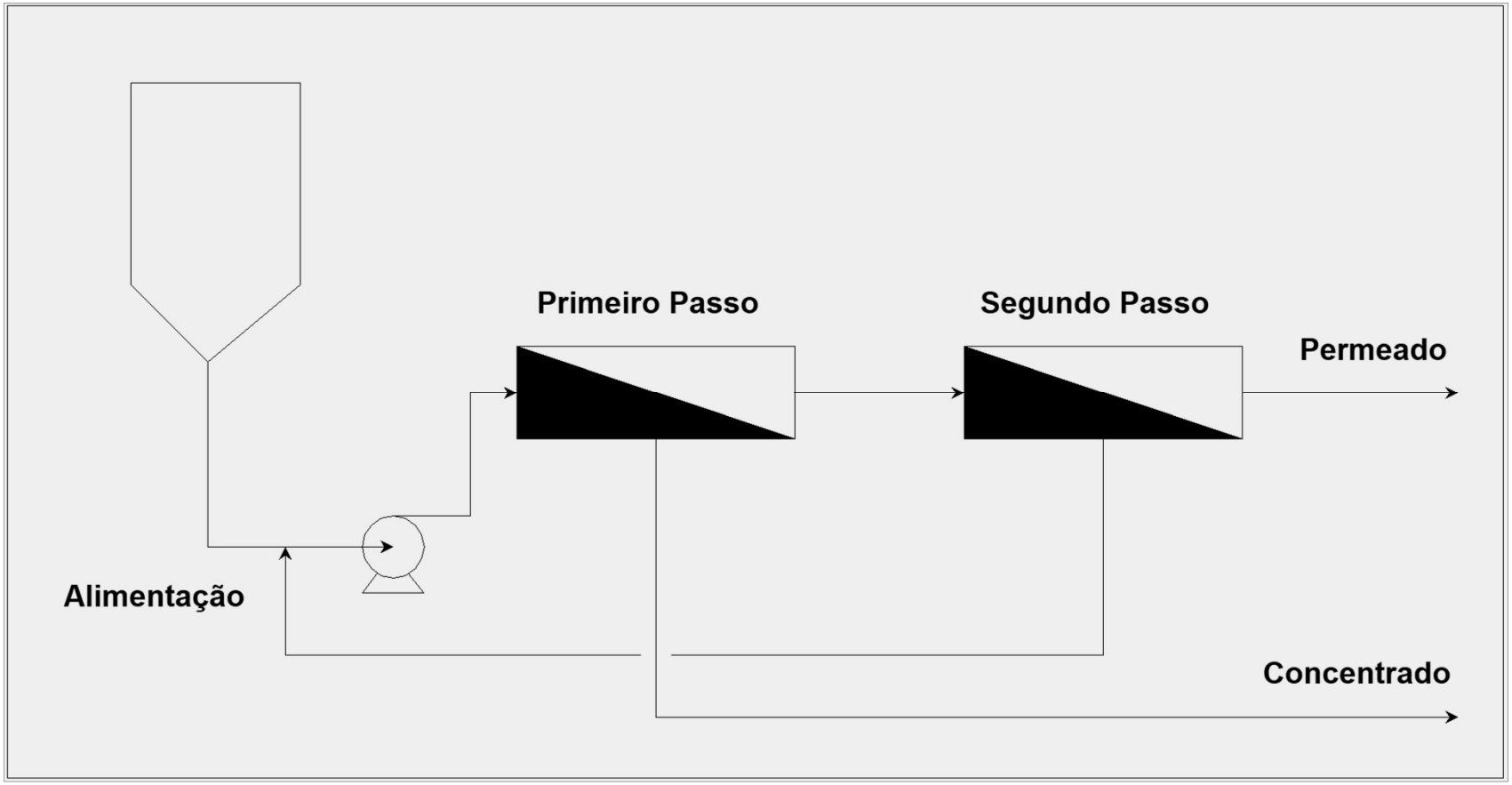
- No arranjo com tratamento parcial apenas uma parcela da corrente a ser tratada passa pelas membranas;
- Após a passagem pelo sistema o produto obtido é misturado com um fração da alimentação;
- É específico para situações onde a qualidade da água disponível está bem próxima dos requisitos exigidos para uso.



Sistema com desvio

Arranjo para sistemas contínuos (cont.)

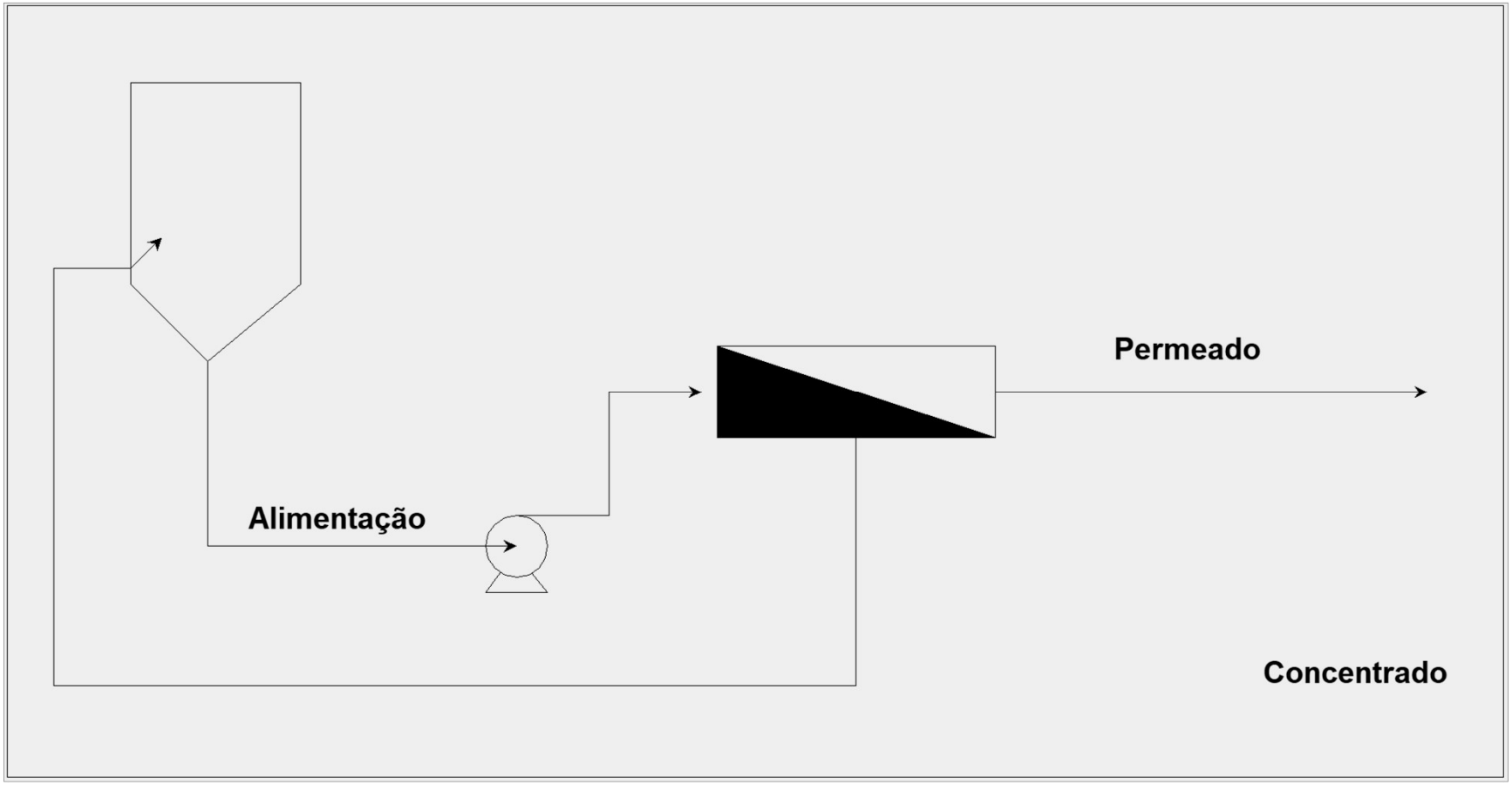
- No caso onde se exige a obtenção de água com elevado grau de qualidade, principalmente em sistemas de OR, utiliza-se o arranjo de duplo passo;
- Neste arranjo o permeado obtido no primeiro estágio de tratamento segue para uma outra unidade de separação;
- O concentrado do segundo estágio (passo) é direcionado para a alimentação do primeiro passo.



Representação do sistema de duplo passo

Arranjo para sistemas intermitentes

- Para os sistemas intermitentes ou em batelada o arranjo mais utilizado é o de recirculação total de concentrado;
- Esta situação é mantida até que o nível de recuperação ou fator de concentração desejado seja atingido;
- Estes sistemas não operam em regime permanente;
- As características da alimentação variam com o tempo;
- Como resultado a taxa de fluxo através da membrana varia.



Representação do sistema com recirculação

Arranjo para sistemas intermitentes (cont.)

- A cada campanha de operação o sistema deve ser submetido à uma operação de limpeza;
- Durante o período em que o sistema não estiver operando ele deve permanecer com preenchido com soluções preservantes;
- Como consequência o custo de tratamento acaba sendo superior.

Recomendações de vazão nos sistemas com membrana enroladas em espiral

Raw Water source		RO	Brackish	Brackish	Brackish	Brackish	Sea	Sea	Brackish	Brackish	Waste	Waste
Feed m3/h (maximum per vessel)												
2.5"	Typical	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
4"	Typical	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
8"	Typical	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
8"	Conservative	17.0	15.9	14.8	14.8	17.0	14.8	13.6	13.6	17.0	13.6	17.0
Reject m3/h (minimum per vessel)												
2.5"	Conservative	0.27	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.45	0.45
2.5"	Typical	0.18	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
4"	Conservative	0.68	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	1.14	1.14
4"	Typical	0.45	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
8"	Conservative	2.73	3.18	3.63	3.63	3.18	3.18	3.63	3.63	3.63	4.09	4.09
8"	Typical	1.82	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73
Full Fit												
4"	Conservative	0.45	0.57	0.57	0.61	0.61	0.57	0.61	0.61	0.61	0.84	0.84
4"	Typical	0.39	0.52	0.52	0.57	0.57	0.52	0.57	0.57	0.57	0.79	0.79
8"	Conservative	2.27	2.73	2.73	3.41	3.41	2.73	3.41	3.41	3.41	3.41	3.41
8"	Typical	1.61	2.18	2.18	2.34	2.34	2.18	2.34	2.34	2.34	2.45	2.45

Programas para avaliação preliminar

- Vários fornecedores de membranas disponibilizam programas de cálculo.
  - Sistemas de osmose reversa/Ultrafiltração:
    - Koch – ROPRO;
    - Dow – ROSA ou WAVE;
    - Hydranautics/Nitto – IMSDesign;
    - GE-Water/Osmonics – Winflows (não está mais disponível);
  - Sistemas de ultrafiltração:
    - Inge System Design – BASF (http://www.inge.basf.com/ev/internet/inge/en/content/inge/Support_Downloads/software_inge_system_design).