

TECNOLOGIA DE OSMOSE REVERSA PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES HÍDRICOS DE UMA FÁBRICA DE CELULOSE KRAFT BRANQUEADA

Alberto Ferreira Lima⁽¹⁾
Cesar A. de Mattros Gaia⁽²⁾
Marcio Rodrigues Mensch⁽¹⁾
Nei Rubens Lima⁽¹⁾
Suane Machado Vezzani⁽¹⁾



(1) RIOCELL S.A. - RS - Brasil
(2) DOW - SP - Brasil

1- Introdução

No setor de celulose, a nível mundial, está se desenvolvendo inúmeros trabalhos de desenvolvimento abordando novos métodos de cozimento, branqueamento, recuperação de químicos e impactos ambientais. A demanda internacional por tecnologias que proporcionem processos com "efluente zero" é crescente.

Todos os projetos de novas fábricas já estão incluindo, necessariamente, em sua análise para definição da rota tecnológica os seguintes pontos:

- . extensão ao máximo da deslignificação antes do branqueamento propriamente dito,
- . eliminação do uso de cloro molecular e/ou de compostos de cloro das sequências de branqueamento,
- . redução do consumo de água para processo e dos volumes de efluentes.

A Riocell é uma empresa conhecida internacionalmente como um bom exemplo de cuidados ambientais. Até 1990 já tinham sido investidos o equivalente a US\$ 200 milhões (valores atualizados) em equipamentos e na adoção de tecnologia avançada para garantir qualidade ambiental.

No sentido de avaliar tecnologias que proporcionem processos com "efluente zero", a RIOCELL e a DOW, iniciaram trabalho de parceria visando o desenvolvimento de estudos para tratamento de efluentes da fábrica de celulose por separação por membranas.

No presente trabalho são descritos os experimentos realizados com nanofiltração e osmose reversa, os parâmetros monitorados bem como os principais resultados da etapa inicial do estudo.

Os resultados indicam a viabilidade técnica de utilizar essa tecnologia como uma etapa do tratamento de efluentes de modo a permitir a reciclagem do permeado ao sistema de água tratada da fábrica.

Trabalho apresentado no 26^a Congresso Anual de Celulose e Papel da ABTCP, realizado em São Paulo-SP - Brasil, de 22 a 26 de novembro de 1993.

2 - Instalação Industrial

A Riocell está localizada na região sul do Brasil, na margem direita do rio Guaíba, próxima a Porto Alegre, capital do Estado do Rio Grande do Sul, numa região com cerca de 1,5 milhões de habitantes.

2.1.- Produção de polpa

A Riocell tem capacidade para produzir cerca de 270.000 t/ano de celulose kraft branqueada de madeiras de acácia e de eucalipto destinadas à produção de papel e derivados celulósicos. A linha de fibras consiste basicamente de linhas de lavagem de toras, picadores, seleção de cavacos por tamanho (peneiras), digestor contínuo Kamy, lavagem por difusão, depuração centrífuga e pressurizada, lavagem em filtros rotativos, deslignificação por oxigênio, lavagem, branqueamento por deslocamento em 3 torres, depuração branqueada, máquina de secagem (cilindros secadores) e enfardamento.

Integrado com a linha de fibras existe o sistema de recuperação que, além de gerar o vapor e energia elétrica necessários ao processo, permite a recuperação dos produtos químicos usados no cozimento e eliminação de fontes poluidoras.

2.2.- Estação de Tratamento de Efluentes (ETE)

A ETE da Riocell é uma das mais completas do mundo, sendo a única na América Latina a possuir Tratamento Terciário para remoção principalmente de cor. É composta das seguintes etapas:

I- Pré-Tratamento

Composto por grades mecanizadas, desarenadores e tanque de neutralização, com as funções de remoção de sólidos grosseiros e correção de pH.

II- Tratamento Primário

Possui decantadores primários que removem os sólidos decantáveis e trocadores de calor que reduzem a temperatura até 38°C, compatível para o tratamento biológico. Na eventualidade de que o efluente não atinja os parâmetros desejados para a etapa seguinte, poderá ser desviado para uma lagoa de emergência, retornando posteriormente ao início do processamento.

III- Tratamento secundário

Possui uma lagoa de homogeneização, um reator fechado (UNOX) com adição prévia de lodo reciclado e de nutrientes, sendo finalizado com decantadores secundários. O sistema é de lodo ativado e a principal função é a redução de DBO₅ e DQO. Durante o processo os microorganismos consomem o oxigênio dissolvido no efluente, sendo desta forma necessária a introdução contínua de oxigênio com elevado teor de pureza.

Parte dos compostos organoclorados tem alto peso molecular (> 1000) e não são removíveis facilmente através de tratamentos primários e secundários convencionais.

IV- Tratamento terciário

Contem uma câmara de mistura, onde é feita a adição de sulfato de alumínio e decantadores terciários. As reduções de cor e DQO são os principais objetivos. Finalmente os efluentes têm o seu pH corrigido com cal, passam por uma lagoa de polimento, e são lançados ao rio Guaíba através de um difusor situado a 1,5 km da margem.

V- Sistema de lodo

Possui um tanque de mistura, adensadores de lodo, prensas desaguadoras e estocagem. O lodo gerado nos três tratamentos é extraído, espessado, desaguado e encaminhado a um processo de decomposição para sua transformação em fertilizante orgânico.

3 - Princípios da Tecnologia de Separação por Membranas

3.1.- Introdução

A tecnologia de separação por membranas tem por base o princípio de que os componentes das misturas líquidas ou gasosas, de acordo com suas características moleculares, não podem passar seletivamente através de uma determinada membrana, em certas condições operacionais.

As separações com membranas que já atingiram nível de aplicação industrial são: osmose reversa, ultrafiltração, microfiltração, diálise, eletrodiálise, permeação de vapor (permeação de líquidos). Na tabela I estes processos são caracterizados pela força motriz da separação e pela natureza do material retido e do material permeado.

Tabela I - Caracterização dos Processos de Separação com Membranas (1)

Processo	Força Motriz	Material Retido	Material Permeado
Osmose Reversa	diferença de pressão (7-60 atm)	todo material solúvel ou suspenso PM>50*	água (solvente)
Nanofiltração	diferença de pressão (3-14 atm)	moléculas orgânicas (PM 200-400), sais de íons divalentes	água (solvente)
Ultrafiltração	diferença de pressão (1-7 atm)	colóides macromoleculares PM>5.000	água (solvente) sais
Microfiltração	diferença de pressão (1-5 atm)	silica em suspensão bactérias PM>500.000	água e sólidos dissolvidos
Diálise	diferença de concentração	moléculas de alto PM em suspensão PM > 1.000	íons e orgânicos baixo PM
Eletrodiálise	diferença de potencial elétrico	não iônicos e macromoléculas	íons
Permeação de gases	diferença de pressão de concentração	gás menos permeável	gás mais permeável
Pervaporação	diferença de concentração	líquido menos permeável	líquido mais permeável

* Peso Molecular

3.2. Forma de Construção e Material das Membranas

Atualmente, a forma mais comum de construção das membranas é o tipo Espiral. Esta construção é composta de duas camadas de membrana coladas uma de cada lado de um tecido "coletor" sendo este conjunto bobinado em um tubo perfurado (fig.1). Esta construção, no entanto, é mais suscetível a incrustações quando comparado a outras disponíveis no mercado, mas oferece custo de investimento menor.

O material mais comumente utilizado atualmente é uma poliamida aromática depositada em suporte de polissulfona, sendo esta combinação a melhor em termos de produtividade, performance e durabilidade.

3.3. Nanofiltração (NF)

Nanofiltração se reporta a um tipo especial de processo de separação por membrana que abrange a rejeição de partículas de tamanho na faixa de 10 nanômetros (10 ângstrons). A nanofiltração opera em uma faixa intermediária entre Ultrafiltração e Osmose Reversa, e rejeita moléculas orgânicas de peso molecular entre 200-400. Sais de íons monovalentes apresentam uma faixa de rejeição de 20-80% enquanto que sais de íons divalentes são rejeitados a níveis de 90-98%. As aplicações típicas da nanofiltração incluem tratamento de efluentes, remoção de cor, carbono orgânico total (toc), dureza e sólidos dissolvidos da água.

3.4. Osmose Reversa (OR)

Quando duas soluções, com significativas diferenças de concentração em determinados solutos e, portanto, com diferentes níveis de atividade do solvente, são separadas fisicamente por uma membrana semipermeável (aquelas nas quais somente o solvente permeia), o fenômeno da osmose ocorre, ou seja, o solvente deixa o lado mais diluído e passa através da membrana para o lado mais concentrado, deixando para trás o que nele estava dissolvido.

O fluxo cessa ao se atingir o equilíbrio termodinâmico. Nestas condições, a diferença de pressão entre os dois lados da membrana é denominada pressão osmótica. Se for aplicada uma pressão superior à osmótica do lado mais concentrado, um fluxo de solvente no sentido inverso ocorrerá, resultando no final em um processo de concentração equivalente a uma filtração a nível molecular. Pressões de operação variam de 7 a 60 atm. A Figura 2 ilustra este processo.

A OR envolve separações à escala iônica com rejeição de partículas na faixa de 1 a 10 angstrons, aproximadamente. A membrana de OR atua, assim, como uma barreira a todos os sais dissolvidos e moléculas inorgânicas, bem como a moléculas orgânicas com peso molecular acima de 50. As moléculas de água, por outro lado, passam livremente através da superfície da membrana, criando uma corrente de água purificada. O transporte da água através da membrana se dá por difusão sendo essencial a boa afinidade com o material da membrana. As rejeições típicas de sais dissolvidos atingem a marca de 95 a 99%.

3.4.1. Aplicações

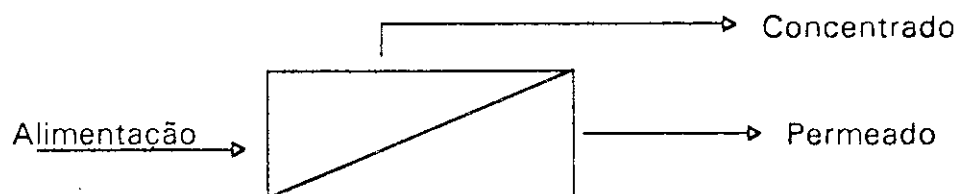
A tabela II apresenta as principais aplicações das membranas de Osmose Reversa.

Tabela II - Aplicações de Membranas de Osmose Reversa ⁽²⁾

Atividade	Aplicação
Produção e tratamento de água	dessalinização de água do mar e água salobra, água para caldeiras, água super pura, pré-tratamento de água industrial
Separação, concentração e refino	concentração de sucos de frutas, separação/concentração de amino-ácidos, refino/concentração de enzimas e vacinas, tratamento de líquidos fermentados
Indústria farmacêutica	produção de água pura esterilizada
Recuperação de substâncias	processamento de soja, pescado e amido, recuperação de proteínas e açúcares, metais, tintas, lignina e xilose, tratamento de resíduos da destilação do álcool
Separação óleo/água	tratamento de águas residuais: da indústria petroquímica, do processamento de petróleo, do processamento de gorduras vegetais e animais emulsificados
Tratamento de esgotos	desnitrificação, desfosforização e dessalinização de esgotos para recuperação e reciclo
Processamento/tingimento de têxteis	recuperação de corantes, agentes de superfície e auxiliares das águas residuais
Indústria nuclear	despejo de águas radioativas

3.4.2. Conceitos típicos

O processo de Osmose Reversa caracterizado pela separação de soluto e solvente, apresenta conceitos típicos ^(7,8) que podem ser compreendidos pela análise do fluxograma básico:



Pressão Osmótica - é a pressão necessária para que uma solução diluída passe através de uma membrana semipermeável, para outra solução mais concentrada até que se estabeleça o equilíbrio osmótico (mesma concentração em ambos os lados da membrana).

Permeado - é a solução rica em solvente após a passagem pela membrana de separação.

Concentrado - é a solução remanescente que não foi permeada pela membrana, contendo os compostos rejeitados à passagem pela membrana (peso molecular mais alto).

Grau de recuperação - é a relação entre a vazão de permeado e a vazão de alimentação, expresso percentualmente.

Eficiência de remoção - é a relação de concentração no permeado em relação à concentração na alimentação para um determinado componente, expressa percentualmente.

Vida útil da membrana - tempo de utilização da membrana com 100% de sua capacidade de permeação. Em trabalho utilizando ultrafiltração para tratamento de efluentes da unidade

de branqueamento de uma fábrica de celulose kraft o comportamento das membranas permitem estimar o seu tempo de vida útil em cerca de 2,5 anos⁽³⁾.

3.4.3. Variáveis que afetam a eficiência do Sistema

As figuras 3 a 6 apresentam o comportamento da eficiência da remoção de sal das membranas de osmose reversa conforme as variações de pressão, temperatura, concentração e pH da corrente de alimentação.

A elevação nos parâmetros concentração, pH e temperatura provoca aumento na passagem de sal. O incremento da pressão de alimentação leva a um efeito contrário em função do aumento da velocidade superficial, dificultando a permeação.

4- Experimentos

Os testes com a tecnologia de separação por membranas foram realizados a nível de escala de laboratório e piloto para melhor compreensão do comportamento da membrana nos aspectos operacional e capacidade de remoção de impurezas. As membranas adotadas foram de nanofiltração (membrana DOW, código XB 3027) e osmose reversa (membrana DOW, código XB 3048).

Como pré-tratamento para remoção dos sólidos suspensos, optou-se por filtro de areia (tamanho efetivo da areia = 0,9) e filtro cartucho (tipo CUNO) de 5 a 10 µm.

Para controle da eficiência da unidade, foram adotados os parâmetros constantes da licença ambiental⁽⁴⁾ para o efluente tratado e aqueles determinados para a especificação de água potável (vide tabela III).

As figuras 7 e 8 apresentam o desenho esquemático das unidades utilizadas.

Tabela III - Parâmetros de Controle^(4,5)

Água Potável	Valores	Efluente Tratado	Valores
pH	6,5 - 8,5	Cor (ppm PtCo/l)	não deve conferir mudança de coloração acentuada ao corpo receptor, no ponto de lançamento.
		pH	6,0 - 8,5
Dureza (ppm)	500	Sólidos suspensos(ppm)	até 30
Sulfatos (ppm)	400	Dureza (ppm CaCO ₃)	até 200
Cloretos (ppm)	250	Fenóis (ppm)	até 0,1
Ferro (ppm)	0,3	Fósforo total	até 0,8
Alumínio (ppm)	0,2	Nitrogênio total (ppm)	até 8
Turbidez (ppm)	1,0	Sulfetos (ppm)	até 0,18
Cor aparente	5,0	Cloretos (ppm)	até 300
Cloro livre(ppm) ⁽⁵⁾	0,2	Mercúrio (ppm)	até 0,008
Sólidos dissolvidos	1000	Alumínio (ppm)	até 9
-		DBO5 (ppm)	até 20
-		DQO (ppm)	até 100
-		AOX	até 0,2 kg AOX/ton polpa branqueada (seca ao ar)

5- Resultados e Discussão

Conforme demonstrado na figura 9 a tecnologia de Osmose Reversa mostrou-se mais atrativa quando comparada com a nanofiltração uma vez que a mesma apresenta menor capacidade de remoção de íons monovalentes como sódio e cloretos, íons estes, balisadores da melhor qualidade de água.

Foi observada uma elevada taxa de remoção (>90%) para os compostos organoclorados tanto pela utilização de membranas de nanofiltração como de osmose reversa confirmando observações citadas em trabalhos com efluente alcalino do branqueamento ^(9,10).

Alguns comentários podem ser feitos com relação aos testes realizados com a osmose reversa.

5.1. Eficiência

Segundo a figura 10 a eficiência de remoção do material dissolvido na corrente de alimentação é bastante atrativa (>90%), sendo o Permeado possível de ser reaproveitado como água de processo, o que pode ser demonstrado pela comparação com os parâmetros legislados e de controle do processo de produção de água (tabela III).

5.2. Pré-Tratamento

É indispensável o uso de sistema de pré-tratamento para retenção do material em suspensão, uma vez que este é o maior causador de bloqueio na superfície da membrana. Estudos futuros devem ser realizados na busca do melhor desempenho e menor custo/benefício para esta etapa.

5.3. Balanço material

A figura 11 mostra o fluxograma concebido inicialmente para a utilização da Osmose Reversa no tratamento de efluentes de onde se pode depreender que a corrente concentrada carrega a maior parte de todos os contaminantes presentes no efluente de alimentação em um volume equivalente a 20% do volume de alimentação. Por esta razão, consideramos, a princípio, seu retorno ao tratamento secundário na ETE. As tabelas IV e V apresentam o resultado do balanço para 2 (dois) parâmetros de controle de efluente e água de processo: Cl e AOX.

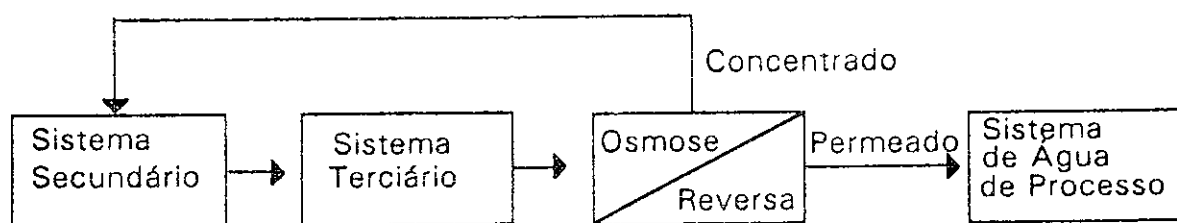


Figura 11 - Fluxograma do Sistema de Tratamento de Efluentes, incluindo osmose reversa (base para balanço material).

DADOS

BALANÇO MATERIAL PARA OSMOSE REVERSA

Contaminante: CLORETOS
 Vazão do secundário (m3/h) : 3000.00
 Concentração no secundário (mg/l) : 463.50
 Vazão do permeado (m3/h) : 1200.00
 Recuperação de permeado (%) : 55.00
 Eficiência de remoção do contaminante na osmose (%) : 92.00
 Eficiência de remoção do terciário (%) : 0
 Concentração no terciário (mg/l) : 463.5

DADOS DO BALANÇO

Vazão de alimentação da osmose (m3/h): 1846.15
 Vazão do concentrado (m3/h): 646.15
 Vazão de alimentação do terciário (m3/h): 3646.15
 Vazão de efluente ao rio (m3/h): 1800.00

TABELA IV

Tempo (horas)	Concentração de CLORETOS no permeado (mg/l)	Concentração de CLORETOS no concentrado (mg/l)	Nova concentração de CLORETOS no transbordo do terciário (mg/l)	Carga de CLORETOS ao rio (Kg/h)
após 1.00	37.08	1255.42	603.84	1086.91
2.00	48.31	1635.55	671.20	1208.17
3.00	53.70	1818.00	703.54	1266.37
4.00	56.28	1905.59	719.05	1294.31
5.00	57.52	1947.62	726.51	1307.72
6.00	58.12	1967.80	730.09	1314.15
7.00	58.41	1977.49	731.80	1317.24
8.00	58.54	1982.14	732.53	1318.73
9.00	58.61	1984.37	733.02	1319.44
10.00	58.64	1985.44	733.21	1319.78
11.00	58.66	1985.95	733.30	1319.94
12.00	58.66	1986.20	733.35	1320.02
13.00	58.66755635	1986.32	733.37	1320.06
14.00	58.66933581	1986.38	733.38	1320.08
15.00	58.57014195	1986.40	733.3816112	1320.09
16.00	58.67052889	1986.42	733.3839329	1320.091079
17.00	58.57071463	1986.422767	733.3850473	1320.093085
18.00	58.57080378	1986.425785	733.3855822	1320.094048
19.00	58.57084657	1986.427234	733.3859389	1320.09451
20.00	58.57086712	1986.427929	733.3859522	1320.094732
21.00	58.57087697	1986.428263	733.3860213	1320.094838
22.00	58.57088171	1986.428424	733.3860497	1320.09489
23.00	58.67088398	1986.4285	733.3860534	1320.094974
24.00	58.67088507	1986.428537	733.3860599	1320.094926

BALANÇO MATERIAL PARA OSMOSE REVERSA

DADOS

Contaminante: AOX
 Vazão do secundário (m3/h): 3000.00
 Concentração no secundário (mg/l): 4.13
 Vazão do permeado (m3/h): 1200.00
 Recuperação de permeado (%): 65.00
 Eficiência de remoção do contaminante na osmose (%): 98.00
 Eficiência de remoção do terciário (%): 57
 Concentração no terciário (mg/l): 1.7974

DADOS DO BALANÇO

Vazão de alimentação da osmose (m3/h): 1845.15
 Vazão do concentrado (m3/h): 646.15
 Vazão de alimentação do terciário (m3/h): 3546.15
 Vazão de efluente ao rio (m3/h): 1800.00

553

TABELA V

Tempo (horas)	Concentração de AOX no permeado (mg/l)	Concentração de AOX no concentrado (mg/l)	Nova concentração de AOX no transbordo do terciário (mg/l)	Carga de AOX ao rio (Kg/h)
após 1.00	0.04	5.07	2.38	4.28
2.00	0.05	6.70	4.63	8.33
3.00	0.09	13.05	5.75	10.35
4.00	0.12	16.22	6.31	11.36
5.00	0.13	17.80	6.59	11.87
6.00	0.13	18.60	6.73	12.12
7.00	0.13	18.99	6.80	12.25
8.00	0.14	19.19	6.84	12.31
9.00	0.14	19.29	6.86	12.34
10.00	0.14	19.34	6.87	12.36
11.00	0.14	19.36	6.87	12.37
12.00	0.14	19.38	6.87	12.37
13.00	0.137456319	19.38	6.87	12.37
14.00	0.137478171	19.38	6.87	12.37
15.00	0.137489091	19.39	6.874727411	12.37
16.00	0.137494548	19.39	6.874863774	12.37475479
17.00	0.137497275	19.38711584	6.874931922	12.37487746
18.00	0.137498638	19.38730802	6.874965978	12.37493876
19.00	0.13749932	19.38740406	6.874982998	12.3749694
20.00	0.13749966	19.38745205	6.874991503	12.37498471
21.00	0.13749983	19.38747604	6.874995754	12.37499236
22.00	0.137499915	19.38748803	6.874997375	12.37499618
23.00	0.137499958	19.38749402	6.874998294	12.37499809
24.00	0.137499979	19.38749701	6.87499847	12.37499905

5.4. Considerações adicionais

O investimento previsto para um módulo de tratamento de 370 m³ de efluente (% recuperação = 65%) é da ordem de US\$ 1,8 milhões (sem incluir pré-tratamento, impostos, fretes, seguros e parte civil). Para cada aplicação deve ser realizado estudo de viabilidade econômica, considerando estes e outros itens que possam ter impacto nos investimentos e/ou nos custos operacionais (tipo e vida útil da membrana, possível taxaço de captação de água e de lançamento de efluentes, etc.)

Rosain ⁽⁶⁾ sugere os seguintes fatores para avaliação de um programa de reutilização de efluente como água de processo:

- . custos - economia na captação e tratamento de água
- . adequação à regulamentação
- . possíveis impactos na qualidade do produto e/ou água de processo
- . influência sobre os parâmetros de controle de produção
- . imagem perante a comunidade

6- Conclusões

A RIOCELL e a DOW Produtos Químicos vêm realizando trabalho de parceria com a finalidade de verificar a viabilidade de aplicação destes sistemas de separação em algumas áreas da unidade industrial de produção de celulose. As principais conclusões obtidas na primeira etapa do trabalho são resumidas a seguir:

- Visando a utilização do permeado diretamente no sistema de água tratada da fábrica a osmose reversa mostrou-se mais eficiente do que a nanofiltração, principalmente com relação aos parâmetros condutividade, íons metálicos e cloretos;
- A utilização da osmose reversa possibilitou uma elevada eficiência de remoção de sólidos dissolvidos (93%), turbidez (97%), cloretos (92%) e dos organoclorados expressos como AOX (98%). Foi obtida também alta remoção da alcalinidade (91%), dureza (99%), e dos íons sódio (95%), potássio (99%), ferro (97%), cálcio (99%), magnésio (99%) e alumínio (97%) o que possibilita o envio direto do permeado ao sistema de água quimicamente tratada;
- O uso de pré-tratamento para retenção de material em suspensão é indispensável como forma de aumentar o desempenho da membrana e o seu tempo de vida útil;
- O trabalho de desenvolvimento está sendo continuado com a avaliação da etapa de pré-tratamento e determinação do tempo de vida útil da membrana. Avaliação da viabilidade econômica deve considerar estes e outros itens que possam ter impacto nos investimentos e/ou nos custos operacionais (tipo de membrana, formas de bombeamento, possível taxaço de captação de água e de lançamento de efluentes).

7- Referências Bibliográficas

- 1 - Martins, J.V.B, Perspectiva de Desenvolvimento no Brasil de alguns polímeros especiais - Rio de Janeiro, 1987, 40p (Relatório de Consultoria para a Comissão de Novos Materiais do MCT).

- 2 - Specialty polymer materials in Japan, The Japan Industrial & Technological Bulletin, (21):1 - 29, 1985.
- 3- Muratore, E. et alii, Bleach plant effluent treatment by ultrafiltration - mill site experimentation, Pulp & Paper Canada 84:6 T140-T144, 1983.
- 4 -Secretaria da Saúde do Estado do Rio Grande do Sul - Licença Prévia - LP FEPAM/RIMA Nº 02/92-DL.
- 5 - Ministério da Saúde - Portaria nº 39.
- 6 - Rosain, Robert M., Reusing Water in CPI Plants, Chemical Engineering Progress, p. 28-43, abril, 1993.
- 7 - Petersen, R.J. - Reverse Osmosis Membranes, Film Tec Corporation - Minnesota - USA - s/d.
- 8 - DOW - Conceitos Básicos sobre Membranas de Osmose Reversa - Fev/88.
- 9 - Rosa, M. e Pinho, M.N.-Characterization of bleaching kraft effluent by ultrafiltration - s.n.t.
- 10- Afonso, M.D. et alii - Nanofiltration removal of chlorinated organic compounds from alkaline bleaching effluents in a pulp and paper plant - Instituto Superior Técnico - Lisboa - Portugal s.d.

Agradecimentos

Agradecemos a todos os funcionários da RIOCELL e da DOW que direta ou indiretamente participaram de etapas deste trabalho.

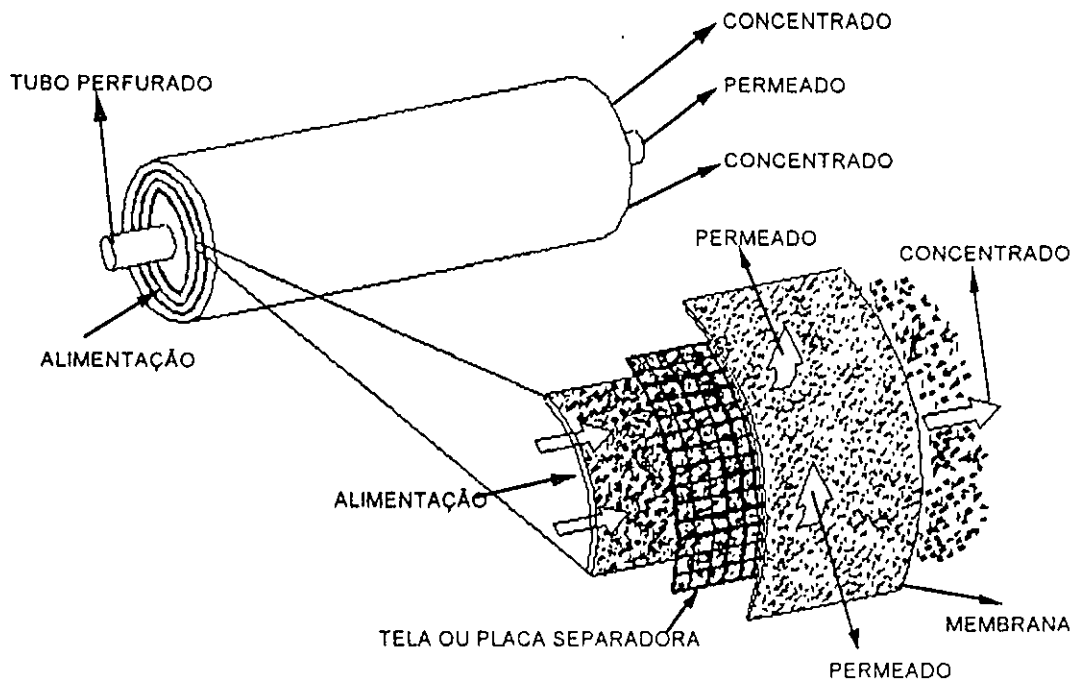


FIG. 1 - DESENHO ESQUEMÁTICO DE CONSTRUÇÃO DO MÓDULO EM ESPIRAL

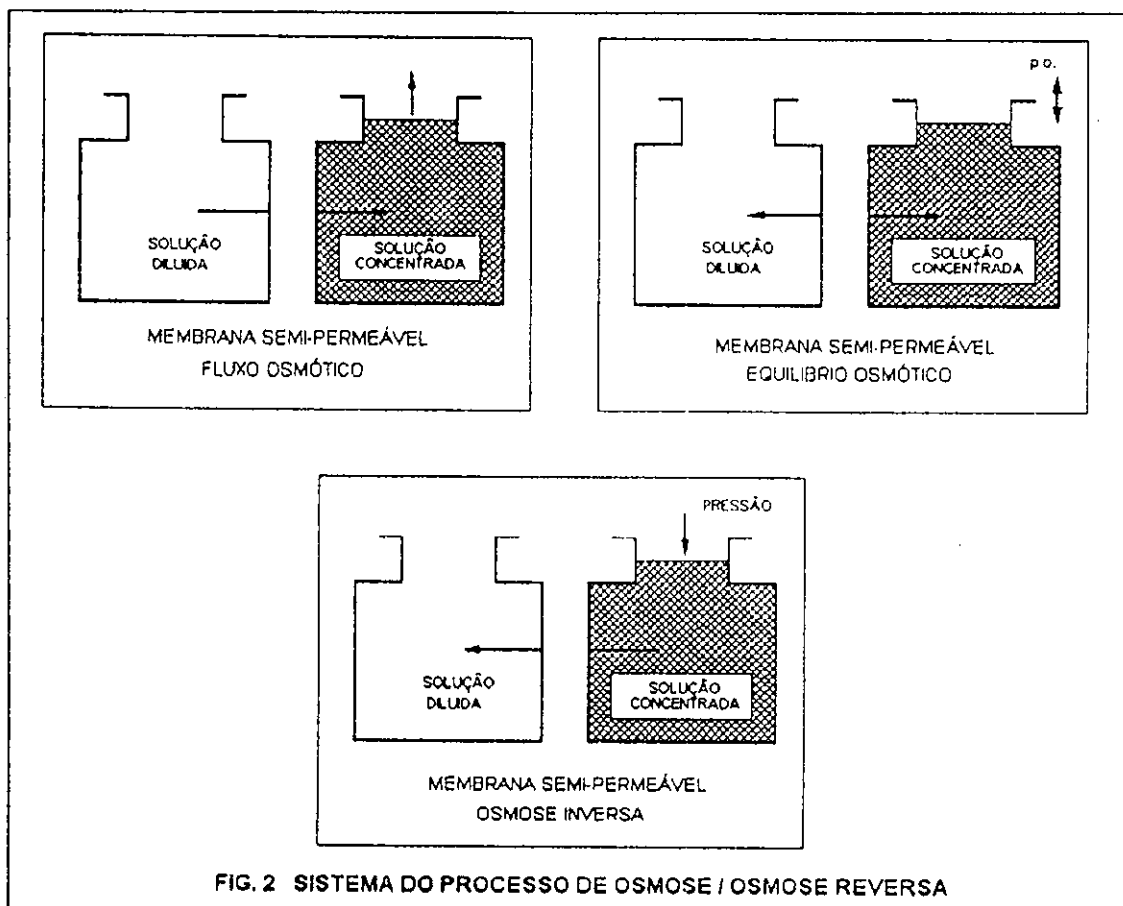
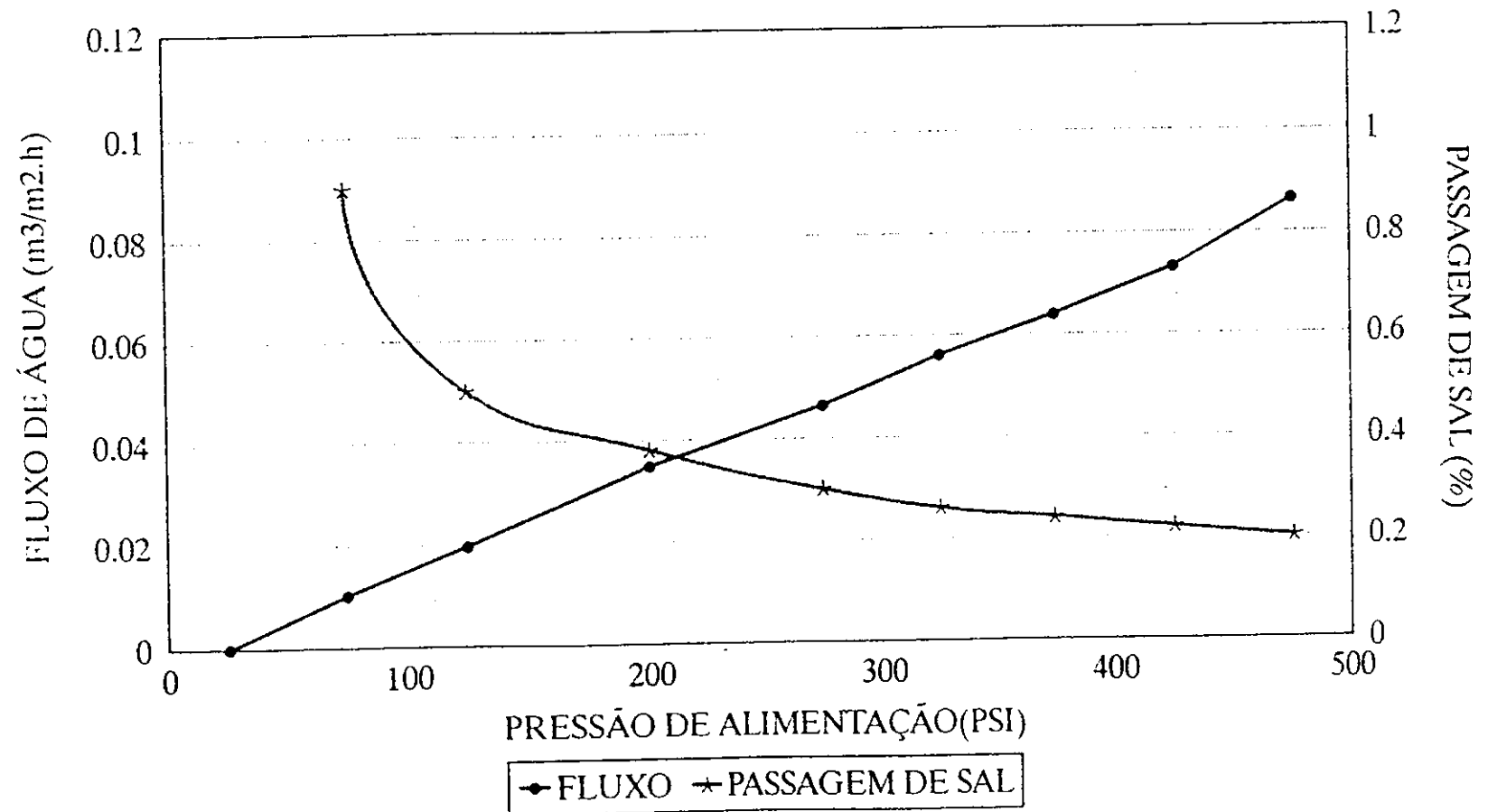


FIG. 2 SISTEMA DO PROCESSO DE OSMOSE / OSMOSE REVERSA

PRESSÃO DE ALIMENTAÇÃO

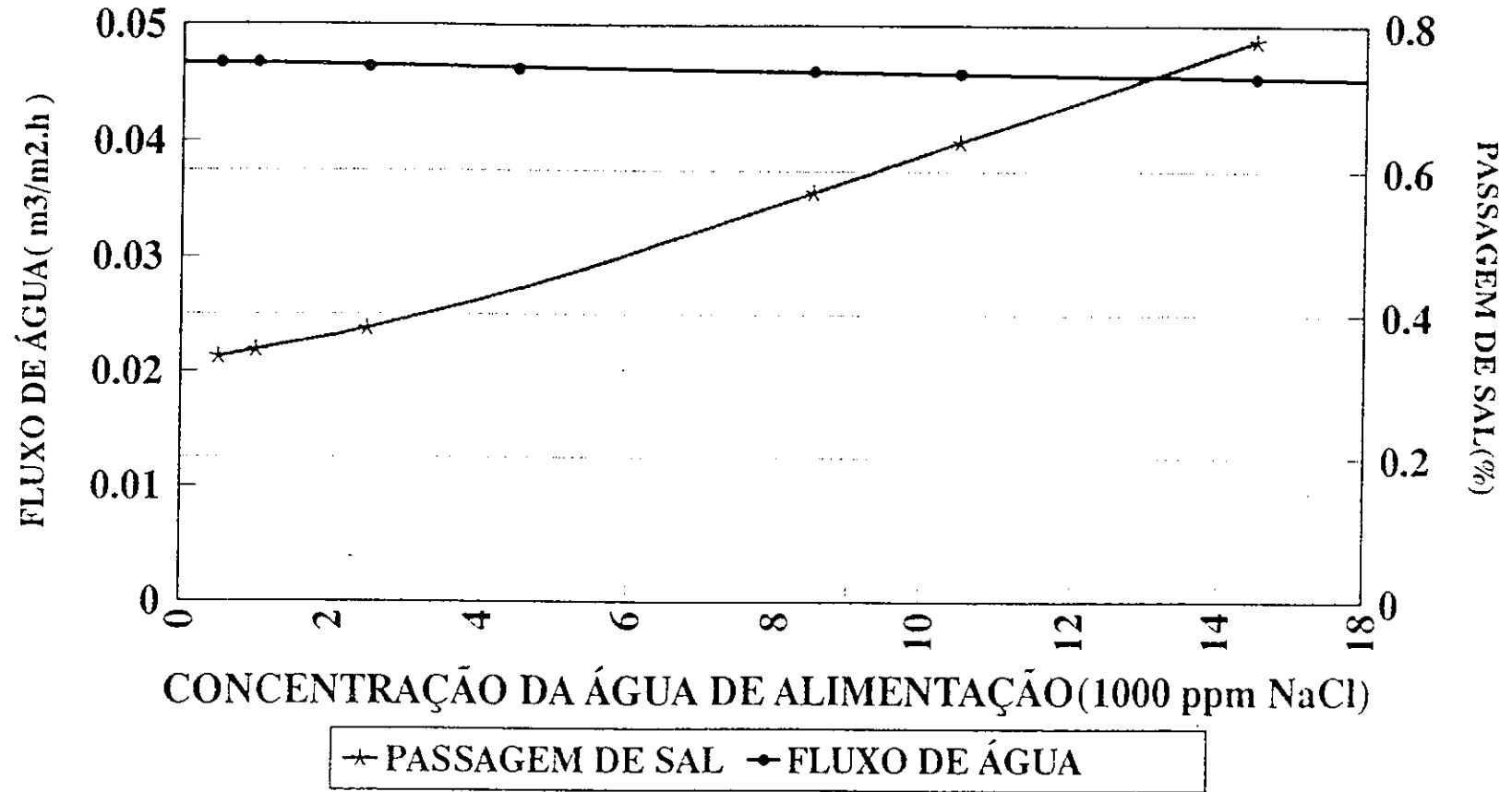
EFEITO SOBRE O FLUXO E A PASSAGEM DE SAL



CONDIÇÕES DE TESTE PADRÃO (25°C, 15% RECUPERAÇÃO E 2000 ppm NaCl.)

FIGURA 3

CONCENTRAÇÃO DA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO: EFEITO SOBRE A PASSAGEM DE SAL



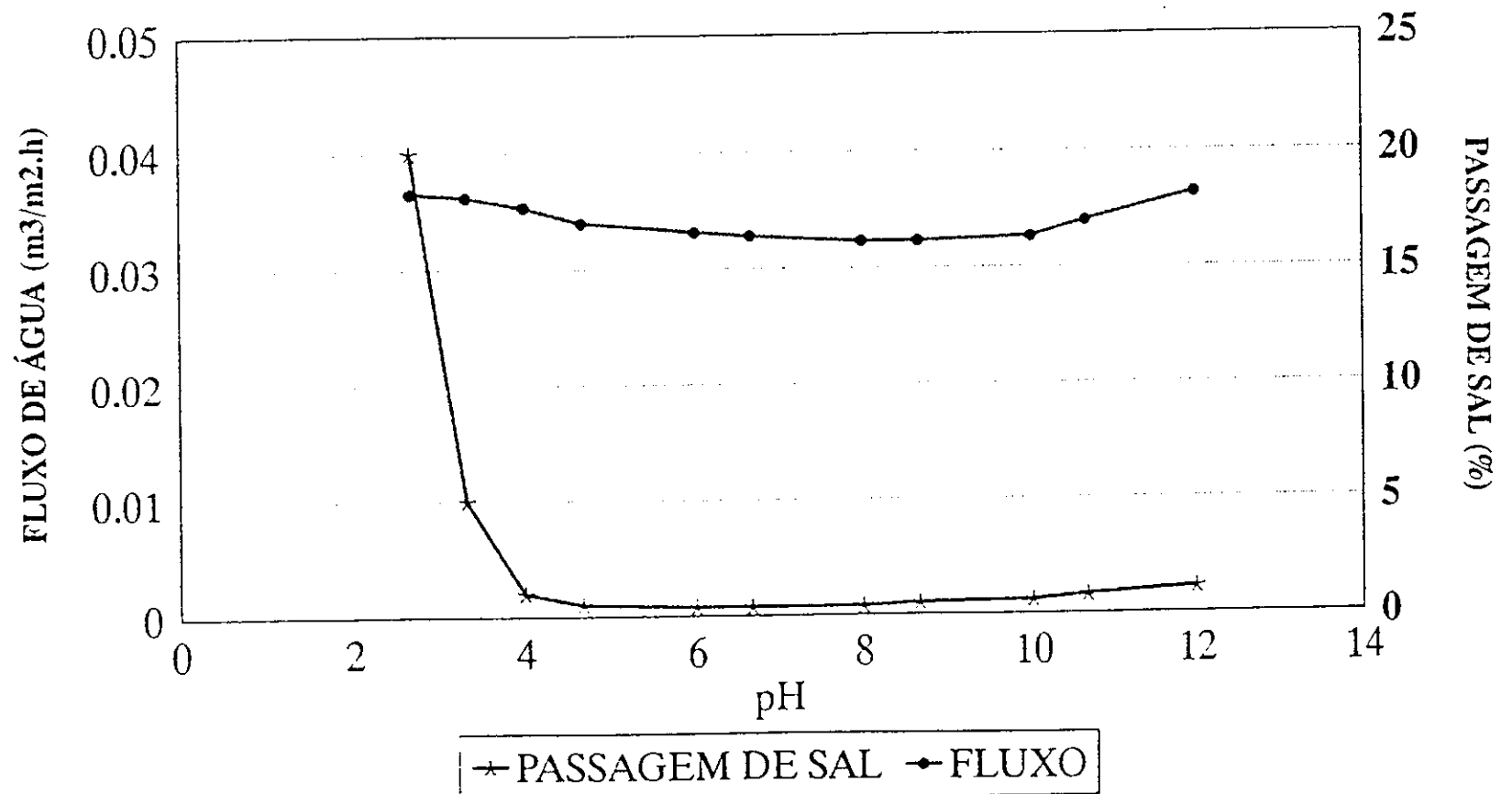
CONDIÇÃO PADRÃO (25°C, 15% RECUPERAÇÃO, FLUXO CONSTANTE A 0.004692 m³/m².h)

FIGURA 4

pH DA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO

EFEITO SOBRE O FLUXO E A PASSAGEM DE SAL

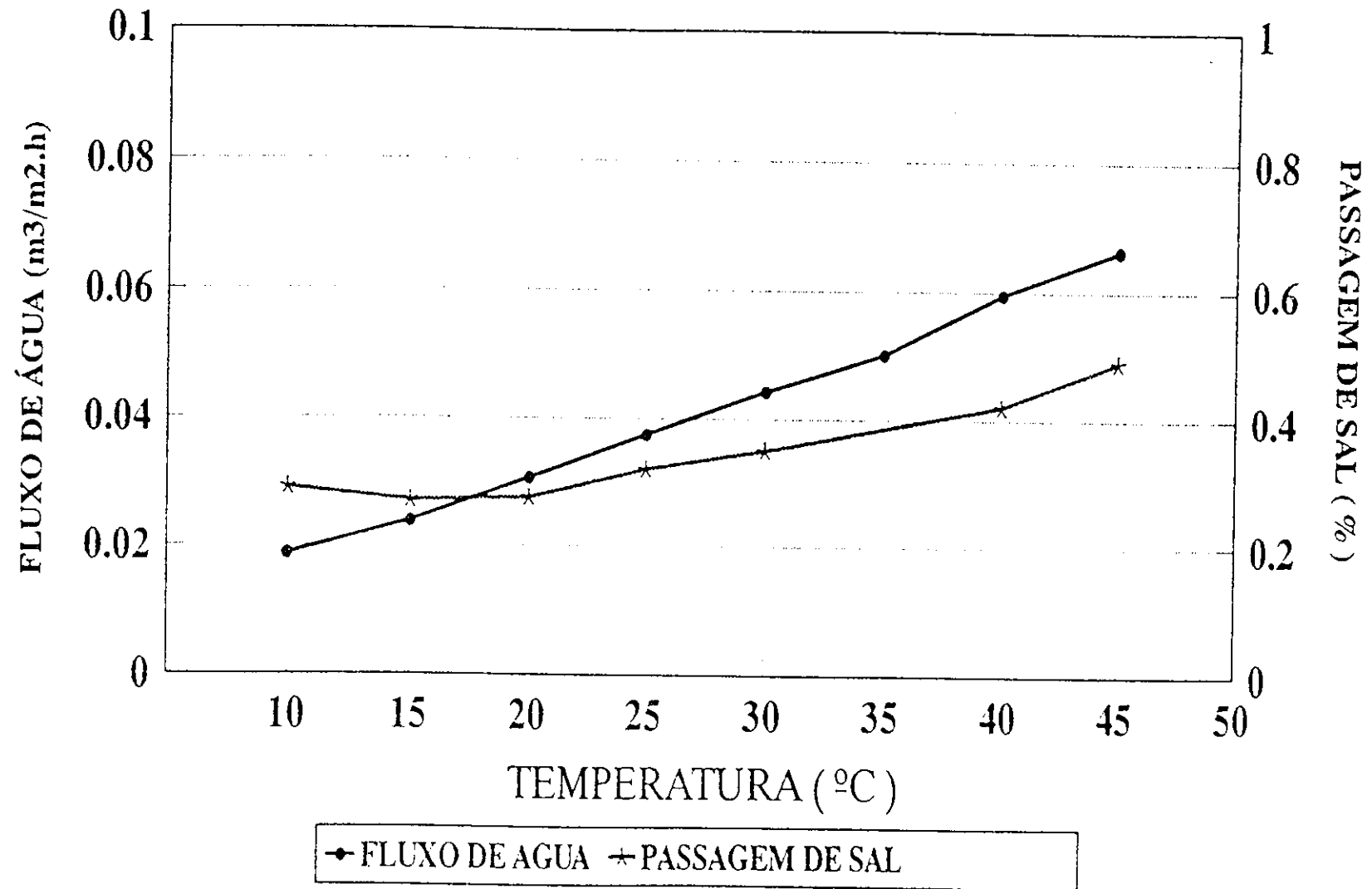
559



CONDIÇÕES PADRÕES DE TESTE (15% DE RECUPERAÇÃO, 25°C, 2000ppm NaCl, 225 PSI.)

FIGURA 5

TEMPERATURA DA ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO: EFEITO SOBRE O FLUXO E A PASSAGEM DE SAL



CONDIÇÕES PADRÕES DE TESTE (15% RECUPERAÇÃO, 2000ppm NaCl, 225 PSI)

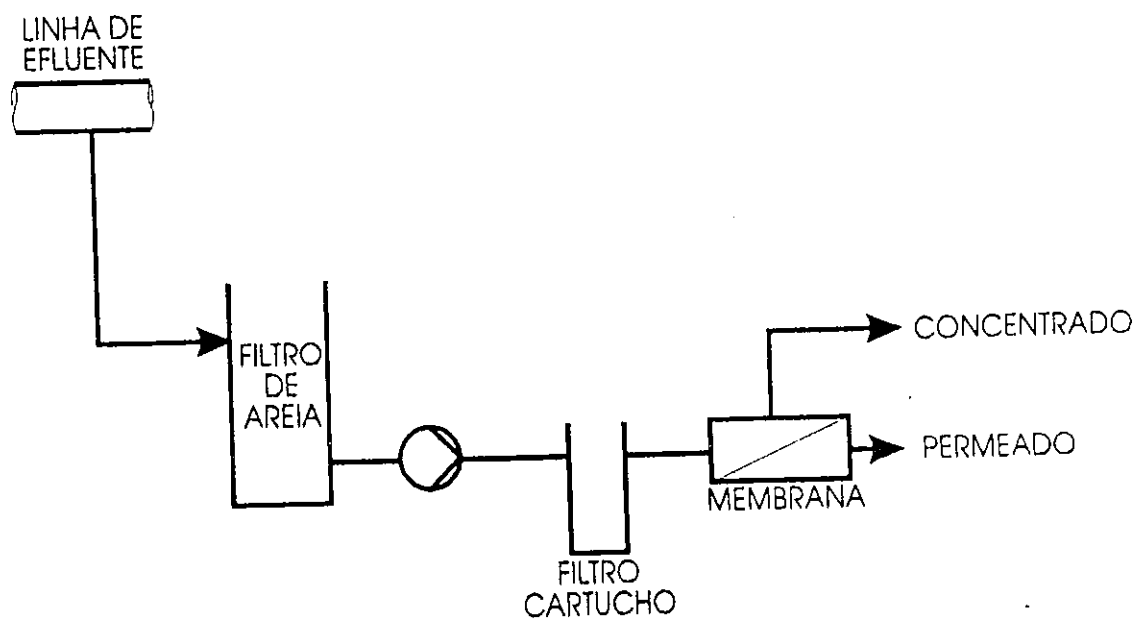


FIG. 7 - UNIDADE PILOTO

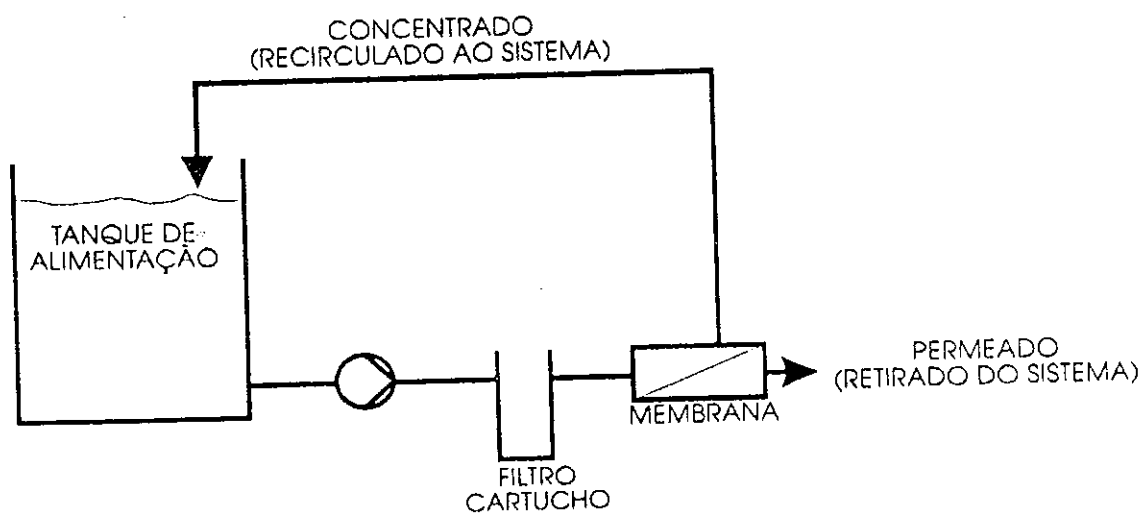
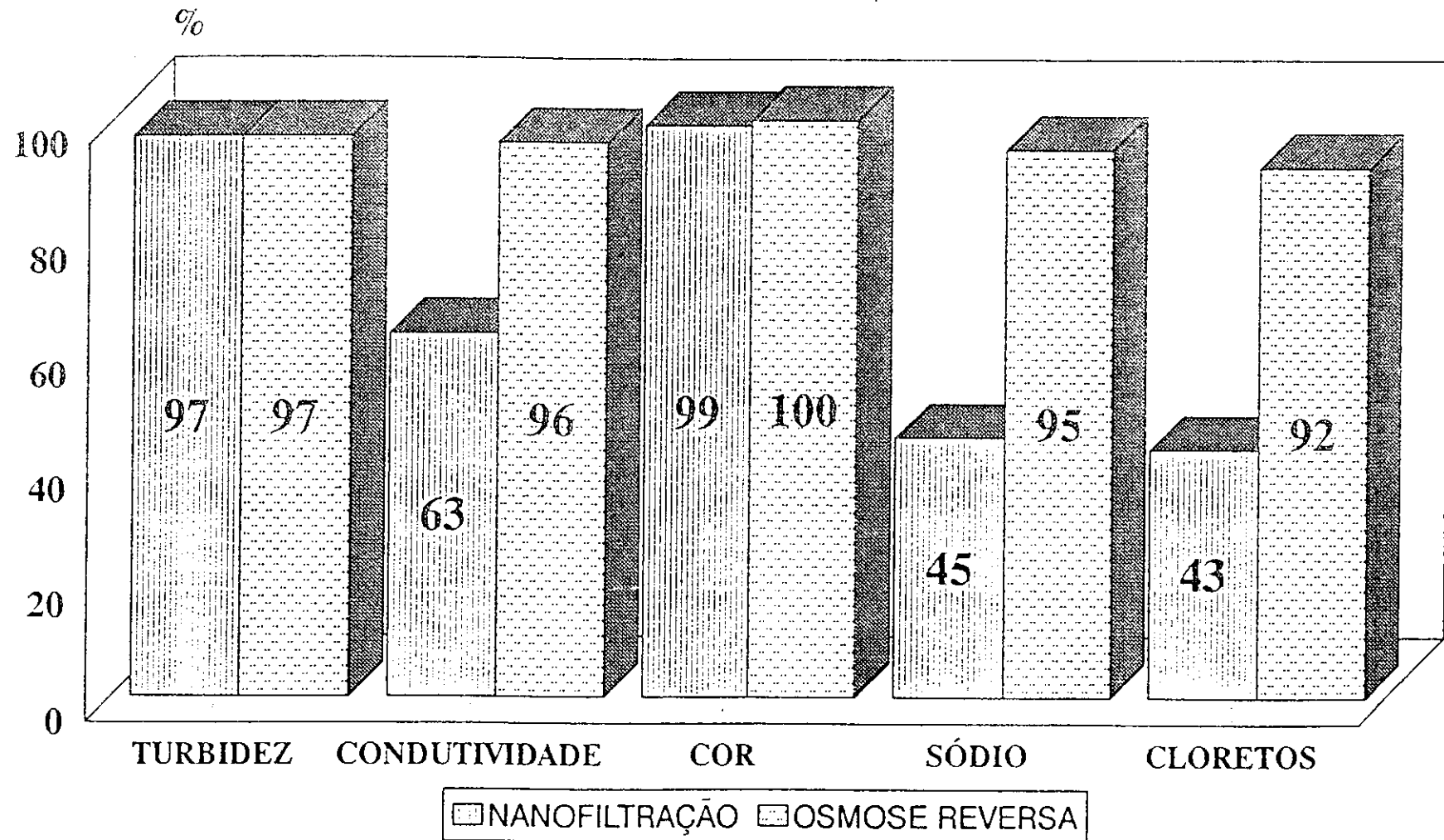


FIG. 8 - UNIDADE DE ESCALA LABORATORIAL

EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO NANOFILTRAÇÃO x OSMOSE REVERSA



562

FIGURA 9

OSMOSE REVERSA % REDUÇÃO

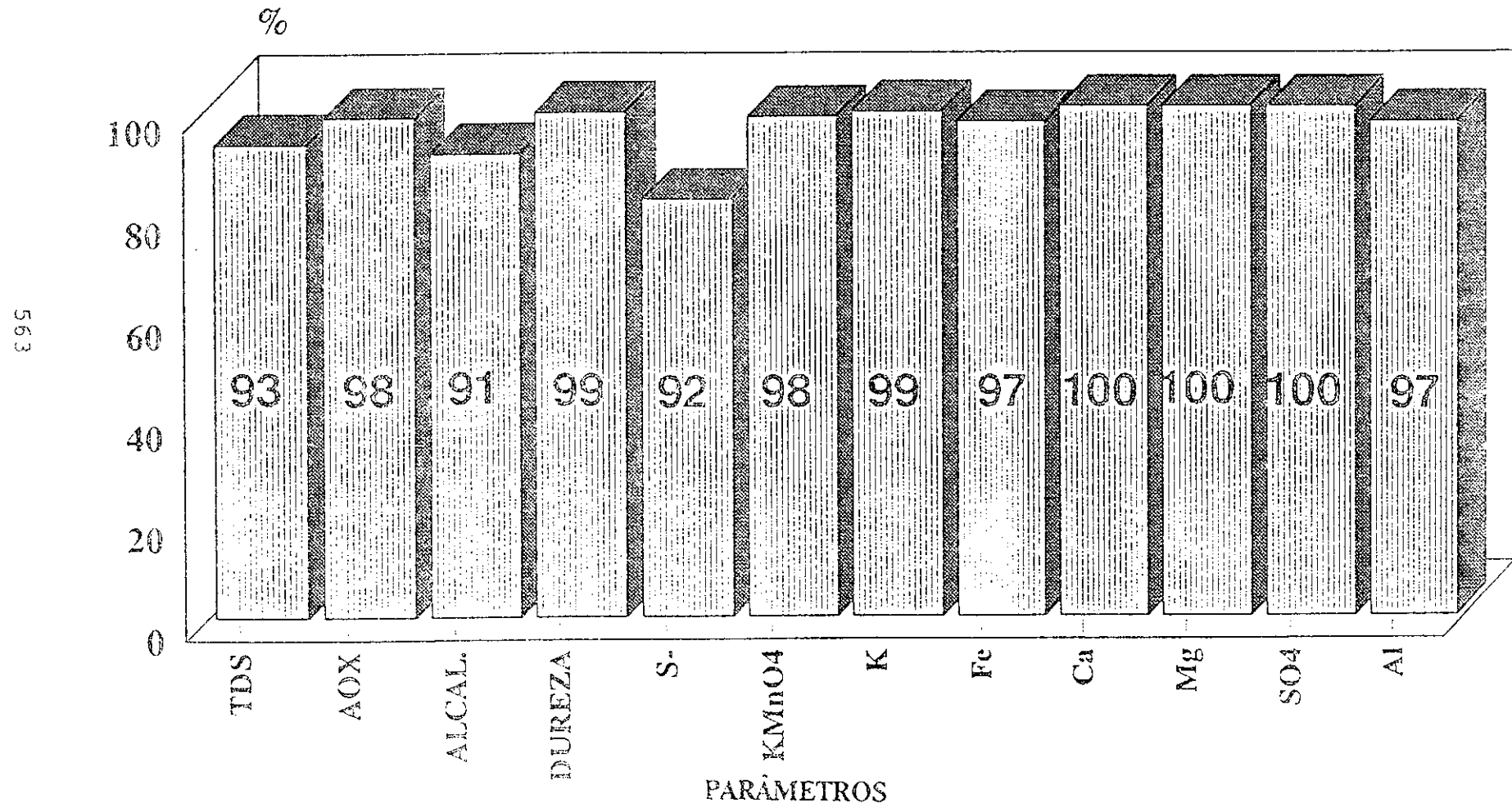


FIG. 10