



ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS



ABES ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

5
1-3

I SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
SISTEMAS DE PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA
O ABASTECIMENTO DE ÁGUA A UMA EMPRESA
DE SERVIÇOS EM ZONA CARENCIADA

MANUEL F. MARQUES INÁCIO (1)

NORBERTO J. PEREIRA DUARTE (2)

- (1) Engenheiro Civil. Secretário do Comité Português da Associação Internacional de Recursos Hídricos. Vogal do Conselho Geral da A.P.R.H.
- (2) Engenheiro Maquinista da Marinha Mercante. Director de Empresa. Consultor em sistemas de dessalinização.

RESUMO

Apresentam-se algumas considerações relativas à necessidade duma política adequada de gestão dos recursos hídricos, particularmente no sentido do seu melhor aproveitamento dentro duma perspectiva de gestão integrada.

É mencionada uma experiência pontual conducente ao aumento dos recursos hídricos disponíveis, traduzida na adopção duma solução de desmineralização, com a instalação duma unidade numa zona de insuficiente disponibilidade de água, procurando justificar-se a decisão sob o ponto de vista técnico e económico. Procura-se enquadrar a experiência no contexto da necessidade urgente dum planeamento conveniente neste domínio. Descreve-se o processo de osmose inversa e órgãos da instalação, estabelecendo-se algumas considerações sobre os resultados obtidos.

1 - INTRODUÇÃO

O trabalho que seguidamente se apresenta, aparece na sequência duma comunicação apresentada ao passado Congresso da Ordem dos Engenheiros e no qual procuramos transmitir a nossa experiência decorrente de uma situação de dificuldades de abastecimento de água a uma empresa de serviços e que culminou com a aquisição e instalação de uma unidade de desmineralização. Por essa altura, um dos autores dirigia a entidade gestora responsável pelo abastecimento de água, no Concelho, no qual se encontra instalada a empresa referida, encontrando-se o outro a dirigir os serviços de Manutenção e Obras da respectiva empresa, situação que lhe permitiu seguir de perto o desenrolar de toda a problemática. Os grandes consumos previstos, e posteriormente verificados, cedo levaram a que a empresa tivesse optado por recorrer a origens próprias, o que resolveu o problema até há relativamente pouco tempo, pois, que, progressivamente, se tem vindo a manifestar bastante mineralizada. Estudado conveniente o problema, entendeu a empresa em questão, perante a impossibilidade de garantia dos caudais necessários aos consumos verificados, adquirir uma unidade de desmineralização.

Desta forma, e procurando o enquadramento da situação referida em toda a problemática duma zona costeira carenciada em recursos hídricos, desenvolveu-se o estudo duma solução alternativa de desmineralização, que se procura fundamentar dentro das limitações a que os dados existentes possam obrigar.

Efectivamente, a problemática do abastecimento de água tem sido uma preocupação dominante de todos os intervenientes no processo, perante dificuldades quer da ordem quantitativa quer qualitativa. As dificuldades são efectivamente

de toda a ordem, quer a montante quer a jusante da distribuição, impondo-se, em consequência, para além de outras razões, um modelo adequado de gestão de água, de modo a conseguirem-se resultados aceitáveis. É efectivamente necessário que venha a ser atribuída à água a importância que lhe cabe no desenvolvimento do País. No caso em estudo, a solução que veio a ser adoptada, teve origem na insuficiência de caudais a montante da instalação, e, sobretudo, a impossibilidade de garantia dum fornecimento de modo particular nos períodos de ponta estivais, correspondentes aos maiores consumos. A eventualidade de se reduzirem os fornecimentos de água, de se efectuarem cortes técnicos no abastecimento, ou mesmo, em último análise, de consideração de situações de falta de água, ocasionam problemas de toda a ordem, e para alguns consumidores, como, aliás, na presente situação, custos extremamente elevados.

2 - A ÁGUA E A NECESSIDADE DE UMA GESTÃO ADEQUADA

2.1 - A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

A água tem sido, ao longo dos séculos, um factor determinante na vida das populações, nomeadamente na sua fixação, no desenvolvimento económico-social e dentro duma óptica mais global, condicionando a própria qualidade de vida das diferentes civilizações.

É um princípio, de há muito aceite, que a água é indispensável à vida e à maior parte das actividades humanas, sendo ainda um recurso natural insubstituível. Nas últimas décadas, outro aspecto tem merecido particular atenção e diz respeito à aceitação de que a água não é um recurso inesgotável, existindo em quantidades limitadas.

Com efeito, têm vindo a registar-se situações de carência de água, em face das crescentes necessidades, devidas, sobretudo, ao desenvolvimento económico e industrial, ao crescimento demográfico e subida do nível das populações, à crescente poluição das origens, etc. Para além do alerta dado pelo célebre relatório do Clube de Roma, este aspecto extremamente preocupante, de que a água existe em quantidades limitadas, levou a que se tenham desenvolvido, à escala mundial, acções com o objectivo de diagnosticar convenientemente a situação, possibilitando, por outro lado, o avanço de Planos e Programas adequados à gestão dos recursos hídricos.

Integra-se neste pensamento a conhecida Carta Europeia de Água, proclamada pelo Conselho da Europa em Estrasburgo, no ano de 1968. Nela se definem doze princípios que deveriam servir de linha de orientação às legislações dos países membros do Conselho da Europa. Marcos importantes, sem dúvida, neste domínio, são ainda a Declaração do Ambiente, adoptada pelas Nações Unidas em Estocolmo, no ano de 1972, e o programa aprovado no decurso da referida reunião. Mais tarde, o seminário organizado pelo Comité dos Problemas da Água para a Europa, da Organização das Nações Unidas, estabeleceu recomendações extremamente importantes no domínio do planeamento dos recursos hídricos a longo prazo. Este Seminário foi realizado em Varna, em 1976. No ano seguinte, realizou-se ainda, sob os auspícios das Nações Unidas, uma reunião internacional conhecida pela Conferência da Água das Nações Unidas, a qual teve lugar em Mar del Plata, na Argentina, e na qual estiveram presentes delegados de 116 países e de diversas agências e organizações internacionais. Os objectivos desta conferência extremamente importante eram, fundamentalmente, a permuta de experiências no domínio dos recursos hídricos, a análise de novas tecnologias, o estímulo da cooperação e da discussão dos problemas crescentes de procura de água. A análise do papel preponderante dos aspectos económicos, administrativos e técnicos no planeamento dos recursos hídricos e na definição da política de gestão da água, constituiu também objectivo preferencial.

Da Conferência resultaram um conjunto de recomendações, conhecidas pelo Plano de Acção de Mar del Plata, e que deveriam ser implementadas pelos vários Estados membros das Nações Unidas. Foi ainda decidido considerar a década de 1981 a 1990 como a Década Internacional de Abastecimento de Água Potável e Saneamento.

2.2 - A NECESSIDADE DUM PLANO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS

Trata-se de um dado adquirido que o conhecimento dos recursos e das necessidades actuais e futuras no domínio da água, nos seus aspectos quantitativos e qualitativos, é absolutamente fundamental para uma correcta gestão dos recursos hídricos.

Assim, parece simples concluir-se que a elaboração e a actualização permanente dos inventários e balanços de recursos e necessidades da água, são questões cuja execução assume uma urgência prioritária. Em Portugal não foram ainda elaborados, de forma adequada e rigorosa, os inventários e balanços referidos, merecendo, no entanto, realce o estudo realizado pelo Grupo de Trabalho ad hoc criado em 1969 por iniciativa da Comissão de Combustíveis e Centrais Nucleares da Junta de Energia Nuclear, no seguimento da Directiva do Conselho de Ministros para os Assuntos Económicos, de 3 de Dezembro de 1968. Não pondo em dúvida o mérito que o trabalho citado encerra, dever-se-á, no entanto, acrescentar que o estudo não entra em linha de conta com dados relativos à qualidade da água, não estando ainda elaborado o seu inventário à escala nacional. As conclusões do Grupo de Trabalho referido apontam para uma situação que parece concluir não haver problemas, no que se refere às disponibilidades totais de água a nível nacional até ao ano 2010, o mesmo não se passando à escala regional, em que haverá regiões que apresentam valores deficitários, que só poderão ser ultrapassados com transferências de água de bacias hidrográficas para outras.

No aspecto legislativo, a situação também não é satisfatória e a estrutura de gestão de recursos hídricos existente desde 1977, não é aquela que satisfaz as necessidades do País. Tem sido um assunto amplamente discutido, tendo em vista a realidade e o conhecimento dos resultados das experiências de outros países, sobretudo a francesa, após a publicação da Lei de 1964, e a inglesa, com a reorganização introduzida pela legislação de 1973.

É, pois, considerado indiscutível a necessidade de um Plano Nacional de Recursos Hídricos e de uma estrutura de administração da água, intersectorial que contemple todos os interessados. É ainda premente a necessidade de legislação apropriada, regulamentadora e orientadora das principais linhas de força dos objectivos do planeamento e da política de gestão de recursos hídricos. A implementação e o controle do Plano Nacional de Recursos Hídricos, deverão estar intimamente ligados à formulação do próprio Plano, pois todo o processo de planeamento deverá ser um processo contínuo, não só no que respeita às suas fases de execução como à participação das entidades intervenientes.

A implementação de uma política adequada de gestão de recursos hídricos encontra-se profundamente interligada com o modelo de desenvolvimento económico-social adoptado. Efectivamente, a óptica da necessidade duma gestão adequada das águas, será tanto mais conseguida quanto maior fôr a preocupação para melhorar as condições de vida, preservar a qualidade do ambiente, em resumo, melhorar a qualidade de vida das populações, relativamente à qual a água assume papel determinante.

Esperemos que o Plano Nacional de Água, que se encontra em curso mas do qual efectivamente ainda pouca divulgação foi feita ao nível dos técnicos deste País, possa contribuir para alcançar os objectivos referidos anteriormente.

2.3 - OS RECURSOS HÍDRICOS EM ZONAS CARENCIADAS

Os problemas derivados da insuficiente disponibilidade de água, assumem dimensão preocupante nas zonas carenciadas, especialmente nas zonas costeiras e ilhas. Como forma de combater as insuficiências de água, poderão apresentar-se três tipos de medidas principais e que são:

- Medidas que permitam um melhor aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis;
- Medidas que permitam aumentar os recursos hídricos disponíveis;
- Medidas que levem à redução efectiva de consumos e redução de perdas e fugas em sistemas de abastecimento de água.

São efectivamente três grandes grupos de medidas, nos quais se enquadram acções de diversos tipos em que o objectivo comum é o combate à carencia de água. Inscreve-se no segundo grupo, a solução de dessalinização da água do mar, e águas mineralizadas, resultantes, no caso particular de zonas costeiras, das intrusões salinas a partir da água do mar. Essa questão tem particular interesse para o nosso País face à extensão da costa nacional, e da consequente interface entre as águas doces continentais e as águas salgadas marítimas.

3 - A DESMINERALIZAÇÃO

A desmineralização tornou-se uma necessidade resultante da evolução das máquinas a vapor e muito principalmente, na medida em que as caldeiras aumentaram o timbre e a capacidade de produção, foi crescente a exigência da redução de paralizações para remoção das películas salinas depositadas nos diversos órgãos dos sistemas, provocando perdas de rendimento, corrosões, desequilíbrios, entre tantos outros sintomas de anomalia funcional.

Assim, conforme as caldeiras evoluíram de gastubulares para aquitubulares, chegando às modernas caldeiras de vaporização rápida, as exigências de melhor qualidade da água não cessaram, destacando-se como caso extremo, a área de "marine engineering". Aqui, para além da evolução dos equipamentos de produção e utilização do vapor, pôs-se a questão de optimização dos espaços e de maiores autonomias, recorrendo-se à produção de água a partir da água do mar, primeiramente com a destilação, e, mais recentemente, com a osmose inversa.

As experiências ensaiadas na construção naval, alargaram-se às instalações industriais instaladas em terra, e, por último, nas zonas carenciadas de água passou-se à produção, a partir dos aquíferos mais mineralizados e mesmo da água do mar, de água para abastecimento das redes de distribuição pública.

Na remoção de sais dissolvidos em água, poder-se-á utilizar processos como a osmose inversa, diálise e electrodiálise, podendo, em certos casos, quando não interesse remover os sais dissolvidos mas simplesmente permutar alguns iões de solução por outros iões, utilizar o processo da permuta iónica.

No presente trabalho, vamos abordar apenas o processo da osmose inversa, não só por ser o caso concreto da experiência que se procura descrever, como também pelo seu interesse crescente no domínio da engenharia, não só em situações como a que se aborda, como também pelo seu interesse na remoção de fosfatos e nitratos.

3.1 - OSMOSE E PRESSÃO OSMÓTICA

A osmose, fenómeno observado experimentalmente por Pfeffer (1877) poder-se-á definir como o movimento de um solvente através de uma membrana que é impermeável ao soluto. A direcção do movimento do solvente é no sentido da solução menos concentrada para a solução mais concentrada. Como exemplo, refira-se que, se uma solução salina aquosa estiver separada da água por uma membrana semi-

-permeável, a água passa através da membrana nos dois sentidos mas mais rapidamente no sentido da solução salina. As diferentes velocidades dão origem a uma pressão hidrostática. A tendência do solvente para passar para a solução salina, pode ser oposta aplicando uma pressão a esta. O excesso de pressão que é necessário aplicar à solução para produzir o equilíbrio, chama-se pressão osmótica e representa-se por π .

O movimento da água para a solução através da membrana semi-permeável, resulta da diferença de pressão de vapor entre o solvente puro e a solução, ou entre duas soluções de concentrações diferentes.

No caso dum solvente incompressível, a pressão osmótica no equilíbrio pode ser calculada da seguinte forma:

$$\pi = \frac{RT}{V_a} \ln \frac{P_A^0}{P_A}$$

em que:

- π Se exprime em atmosferas ou em bar
 R = 0,082 l atm mole⁻¹ °K⁻¹
 T É a temperatura em °K
 P_A⁰ e P_A Representam a pressão do vapor respectivamente do solvente nas soluções diluída e concentrada
 V_a É o volume molar do solvente e é igual a 0,018 litros mole⁻¹ para a água

Indicam-se seguidamente as pressões osmóticas características de algumas soluções salinas a 25°C:

| Sal | Concentração mg/l | Pressão Osmótica bar |
|---------------------------------|----------------------|----------------------------|
| Na Cl | 35.000 | 27,86 |
| Na Cl | 1.000 | 0,79 |
| Na ₂ SO ₄ | 1.000 | 0,42 |
| Ca Cl ₂ | 1.000 | 0,58 |
| Na H CO ₃ | 1.000 | 0,89 |
| Mg Cl ₂ | 1.000 | 0,67 |
| Mg SO ₄ | 1.000 | 0,42 |

QUADRO 1

Para águas naturais aceita-se o valor da pressão osmótica de 0,689 bar por grama e por litro de mineralização, enquanto para a água do mar (35 g/l) esse valor médio é de 25 bar.

3.1.1 - O Processo de Osmose Inversa

Entendida a osmose e verificada a reversibilidade do processo hidrostático, exercendo-se na solução concentrada uma pressão superior à osmótica, a água (solvente) difundir-se-á através da membrana, do que resultará a separação do solvente (permeato) o que constitui afinal o objectivo da dessalinização.

Acresce que as membranas semi-permeáveis para utilização no processo de osmose inversa, são permeáveis à água e relativamente impermeáveis aos sais nela dissolvidos.

O processo de transferência de massa da osmose inversa tem limitações resultantes das equações que a regem (King, 1971):

$$Q = K \frac{S}{e} (\Delta p - \Delta \pi)$$

em que:

- Q - Caudal de água desmineralizada pela membrana (permeato) e expresso em m^3
- K - Coeficiente de permeabilidade da membrana à água pura
- $\frac{S}{e}$ - Relação da superfície activa em m^2 pelo comprimento
- Δp - Diferencial de pressão entre as superfícies da membrana
- $\Delta \pi$ - Pressão osmótica diferencial entre a água de alimentação (água bruta) e o permeato

$$Q' = K' \frac{S}{e}$$

em que:

- Q' - Quantidade de sal que atravessa a membrana expresso em Kg
- K' - Coeficiente de permeabilidade da membrana aos sais da água bruta
- C - Diferença de concentrações da água em contacto com as superfícies da membrana

As limitações referidas resultam do aumento da concentração na zona da superfície da membrana em contacto com a água bruta, já que os sais não se podem difundir através dela. Esta acumulação salina (concentração - polarização) tem dois efeitos: um acréscimo da concentração da água bruta aumenta a pressão osmótica diferencial e, conseqüentemente, reduz o caudal de permeato; por outro lado, aquele acréscimo provocará uma menor rejeição de sais pela membrana, o que aumentará a mineralização do permeato. Estes inconvenientes da concentração-polarização podem ser reduzidos criando-se uma turbulência que produza na superfície da membrana, um filme de água com concentração constante, o mais próxima possível da água de alimentação, melhorando a transferência por difusão de sais para o caudal de rejeição (esgoto) da membrana.

Para além deste problema, importará otimizar as membranas de modo a que possam suportar as maiores pressões com a menor espessura e as melhores percentagens de rejeição de sais, o que significa também uma maior compactação dos módulos e melhores produtividades.

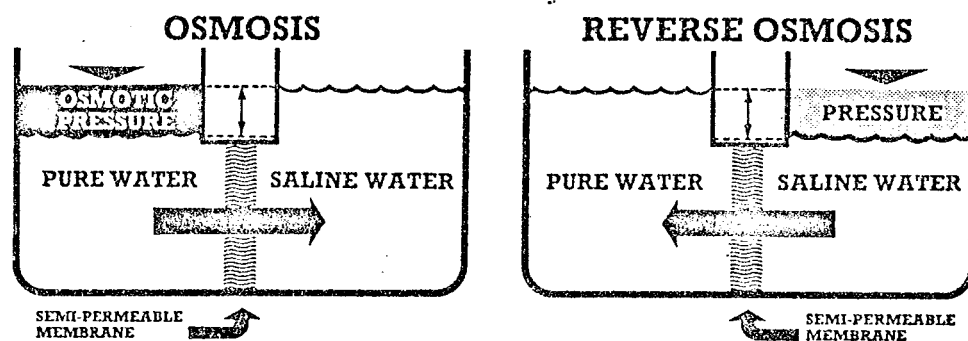


Fig. 1 - Osmose inversa

3.1.1.1 - A influência da temperatura

Como se referiu, a temperatura é um factor que influi na pressão osmótica pelo que os construtores elaboraram gráficos para optimização do rendimento das membranas para uma determinada concentração e pressões de bomba e temperatura variáveis, crescendo, em média, o caudal cerca de 3% por grau centígrado até se atingir a temperatura de referência de funcionamento ideal.

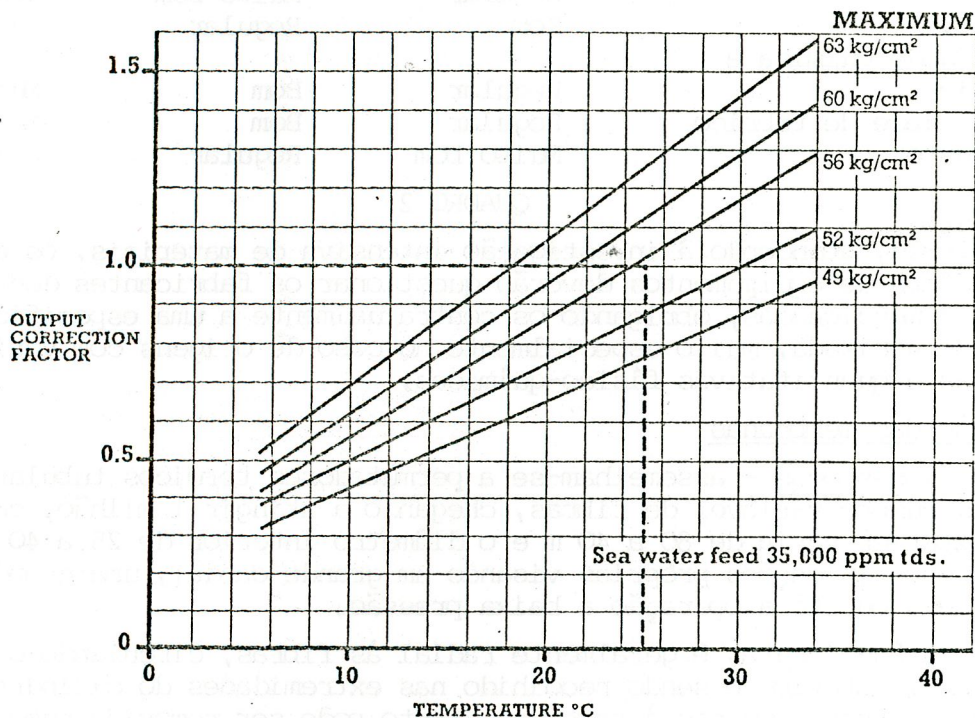


Fig. 2 -- Influência da temperatura

O exemplo da figura acima refere-se a uma membrana espiralada de compostos de acetato de celulose cujo ponto de funcionamento óptimo para a desmineralização de água do mar com 25°C, será 800 psi (56 Kg/cm²).

3.1.1.2 - As membranas

Materiais de construção das membranas

A investigação das membranas semi-permeáveis constitui um campo de trabalho intensivo, em face da potencialidade do mercado, listando-se como mais usuais os módulos com membranas dos polímeros seguintes:

- Diacetato de celulose (D.A.)
- Triacetato de celulose (T.A.)
- Compostos de celulose (D.A. + T.A.)
- Poliamidas aromáticas
- Hidrazidas aromáticas
- Compostos de poliamidas e poliureias

A opção por um determinado material deverá ser o resultado de um estudo criterioso, considerando o custo de produtos químicos de pré-tratamento e remineralização, a análise físico-química da água disponível nas origens, o caudal requerido e sua qualidade e até o espaço disponível para a instalação do equipamento, no caso de construções existentes.

A produtividade inicial e o seu declínio no tempo, a hidrólise em função do PH e temperatura, a rejeição de iões específicos da água de alimentação, são os pontos de partida para o estudo referido, pela constatação da grande variação das características das membranas segundo o diferente material de construção.

Um fabricante americano resumiu as características das membranas mais correntes, no quadro seguinte, o que deverá ser entendido com reserva de um mero documento de "Marketing", como tal susceptível de distorções, para favorecer um determinado produto comercial.

| <u>Característica</u> | <u>Acetatos de celulose</u> | <u>Polihidrazida aromática</u> | <u>Poliamida aromática</u> |
|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| Caudal e rejeição de sais | Bom | Muito bom | Regular |
| Variação do regime de produção | Regular | Muito bom | Bom |
| Vida útil | Bom | Regular | Muito bom |
| Estabilidade química e biológica | Regular | Bom | Muito bom |
| Versatilidade de fabrico | Regular | Bom | Muito bom |
| Baixo custo | Muito bom | Regular | Bom |

QUADRO 2

Como se referiu, atendendo à investigação intensiva de materiais, os eventuais compradores de equipamentos deverão questionar os fabricantes dentro das pressupostas mencionadas, obrigando-os contratualmente a uma especificação técnica pormenorizada, muito especialmente no caso de origens com variações qualitativas e quantitativas físico-químicas.

Configuração das membranas

Módulos de fibras ocas - assemelham-se a permutadores térmicos tubulares, reunindo um número variável de fibras, chegando a atingir 1 milhão, cujo diâmetro exterior varia de 80 a 40 m e o diâmetro interior de 25 a 40 m, de acordo com especificações próprias visando um grande caudal, uma grande rejeição de sais ou até a operação a baixa pressão.

O percurso da água bruta, é geralmente radial às fibras, circulando o permeato no canal interior e sendo recolhido nas extremidades do cilindro envolvente das fibras. Quanto à rejeição, tanto pode ser removida numa das extremidades como radialmente, dependendo da configuração do projecto.

As fibras podem ter a configuração tubular em U, o que lhes confere uma maior resistência à pressão de regime de 25 a 60 bar, sem recurso a suportes mecânicos conseguindo uma superfície máxima por unidade de volume. As extremidades são fixas numa orla de resina epóxida, tendo, em série, um disco poroso por onde é descarregado o permeato.

A produtividade por elemento é de 50 a 60% da alimentação.

Esta configuração tem o inconveniente de ser sujeita a uma maior incrustação e colmatagem devido à grande densidade de fibras, sendo a limpeza química de resultados menos razoáveis que nas restantes alternativas.

Também no caso de rotura das fibras, é pressuposto que o permeato pouco será afectado, sendo impossível a visualização e reparação das avarias devido à compacticidade.

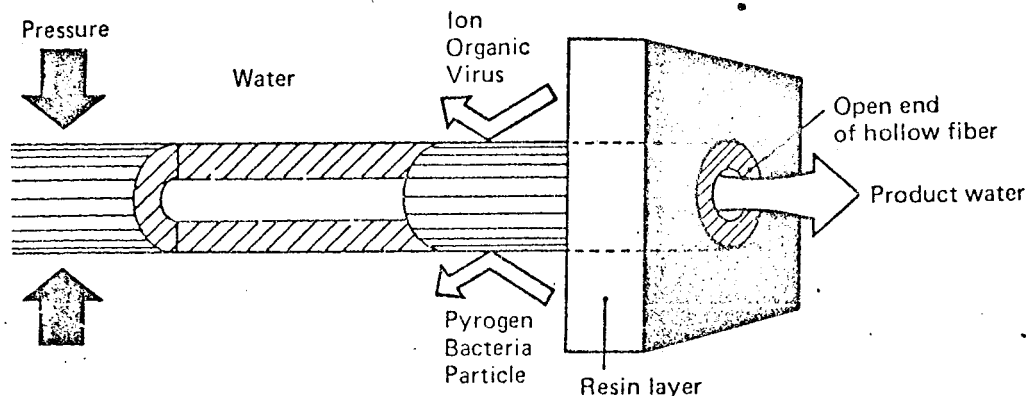


Fig. 3 - Fibra oca

Módulos enrolados em espiral - As membranas têm uma configuração plana e são enroladas em torno de um colector central perfurado de PVC, em camadas sucessivas, constituídas por espaçadores de alimentação, membrana e colectora do permeato.

A entrada da água bruta e a saída do permeato e rejeição, são nos topos do módulo cilíndrico.

A produtividade por elemento é de 5 a 15% da alimentação.

A forma espiralada confere uma grande resistência mecânica, mas tem o inconveniente de proporcionar zonas inactivas, entre o invólucro e o elemento, onde há tendência para a actividade biológica.

A falta de estanquicidade entre a rejeição e o permeato é causa de avaria possível.

Como vantagem, este tipo de membrana pode ser recuperado no caso de roturas.

Os produtos de fabrico são geralmente compostos de acetato de celulose ou de poliamidas aromáticas.

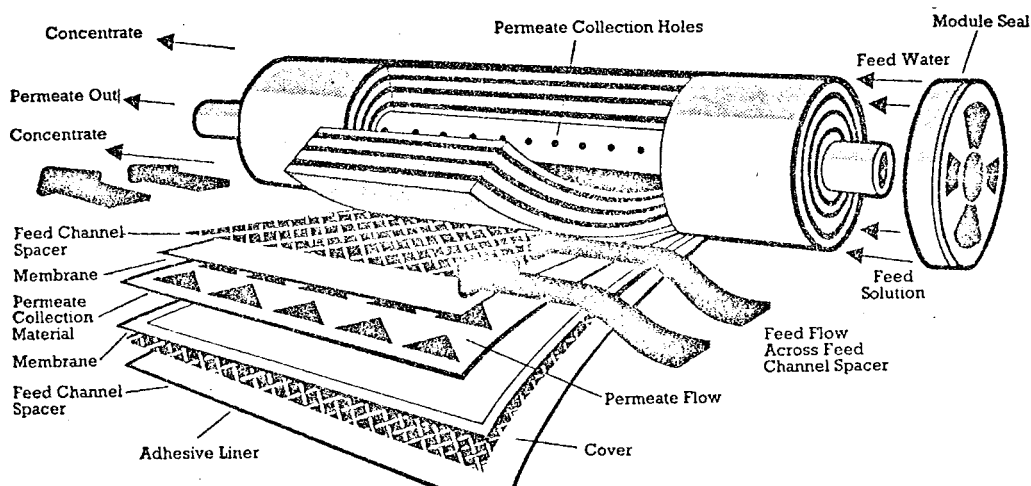


Fig. 4 - Módulos enrolados em espiral

Módulos tubulares - São constituídos por feixes tubulares perfurados que suportam mangas de membrana, sendo longitudinais a alimentação e a rejeição.

Estes módulos têm vindo a ser substituídos pela concepção em espiral.

A grande vantagem que apresentam é a possibilidade de limpeza mecânica com um escovilhão esférico especial.

Módulos do tipo filtro-prensado - São constituídos por membranas planas, intercaladas por placas espaçadoras com a dupla função de recolher o permeato e de conduzir a água crescentemente mineralizada de placa para placa, no sentido longitudinal, descarregando-a na extremidade como salmura.

A configuração assemelha os módulos a condensadores de placas, sendo a limpeza e substituição de elementos de extrema facilidade.

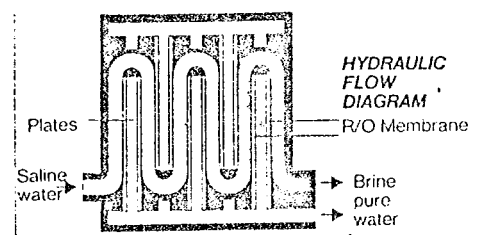


Fig. 5 - Módulos do tipo filtro-prensado

3.1.1.3 - O pré-tratamento da água de alimentação

O comportamento dos diversos materiais de construção das membranas implica uma adequada correcção do PH, para que se obste a sua hidrólise, sendo maior a estabilidade na zona ligeiramente ácida, pelo que a acidificação é aplicada à maioria das águas de alimentação.

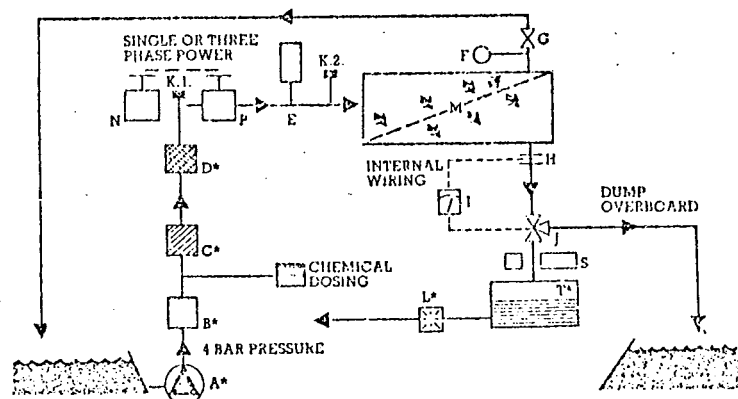
A remoção de colmatantes é um cuidado comum a todos os tipos de membranas pelo que se recorre a permutas iónicas e a agentes oxidantes, coagulantes e dispersantes, bem como a uma filtração fina para a retenção dos sólidos,

A inibição biológica é uma necessidade resultante da composição orgânica, pelo que se controla o adequado nível de cloragem, dentro do máximo teor de cloro residual tolerado pelas membranas. A alternativa da esterilização por outros agentes, como o ozono, é alternativa ou mesmo imposição nos polímeros que não suportam o menor teor de cloro livre.

O controle da ausência de incrustação, muito especialmente resultantes da presença de bicarbonato de cálcio na origem, é de importância primordial, pelo que a água de rejeição deve ser sujeita a análises frequentes para determinação do índice de Langelier.

3.1.1.4 - Orgãos dos sistemas de osmose inversa

O sistema é constituído por uma bomba primária, filtros, progressivamente mais finos, doseadores químicos, bomba de alta pressão, elementos modulares com as membranas, sistema de controle automático de salinidade e PH, desgasificador, tanques de produto, bombas de transfeça, elementos de pós-tratamento e instrumentos de protecção.



Joints marked thus * are fitted remote from the cabinet to suit installation.

Extent of Supply

- | | | |
|------------------------------|---------------------------------------|------------------|
| A. PRIMING PUMP (OPTIONAL) | G. BACK PRESSURE REGULATOR | M. MEMBRANE BANK |
| B. COARSE FILTER 25 MICRON | H. CONDUCTIVITY CELL | N. MOTOR |
| C. FINE FILTER 5 MICRON | I. SALINITY METER | P. PRESSURE PUMP |
| D. NON ASBESTOS DEPTH FILTER | J. DIVERSION SOLENOID VALVE | S. FLOW SENSOR |
| E. ACCUMULATOR | K. PRESSURE SWITCH | T. WATER TANK |
| F. PRESSURE GAUGE | L. ULTRA-VIOLET STERILISER (OPTIONAL) | |

Fig. 6 -- Orgãos do sistema

3.1.1.5 - A osmose inversa e outros tipos de tratamento

Capacidade de rejeição de sais

A osmose inversa apresenta sobre os demais sistemas de separação, uma amplitude que o torna competitivo, mesmo nos casos de maior exigência, até valores próximos da pureza absoluta como é requerido pelas indústrias farmacêutica ou de produção de semicondutores.

Como exemplo da capacidade comparativa da osmose inversa, inclui-se a figura

abaixo onde se verifica a possibilidade de retenção de partículas de grão próximas de $5^{\circ}A$ (0,5 nm),

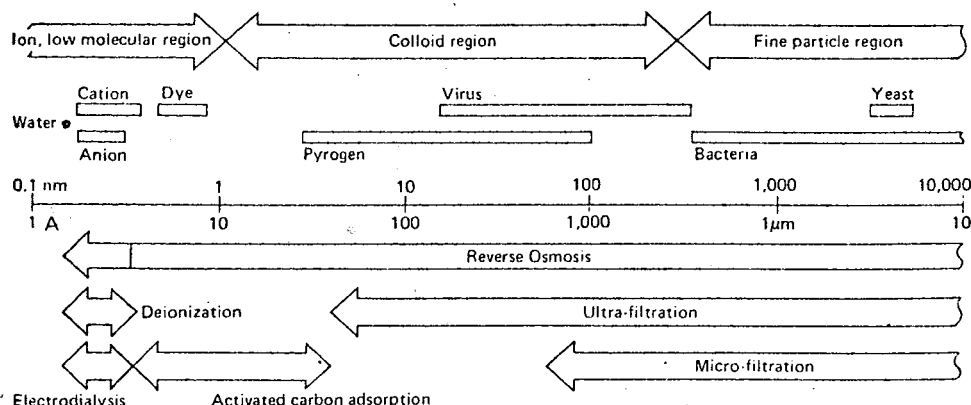


Fig. 7 - Capacidade de rejeição de partículas

Assinale-se que no mercado estão disponíveis membranas cuja retenção de sais se situa na ordem dos 98,5%, na passagem simples através de um único módulo, constatando-se que a água se tornou bacteriológicamente pura, não obstante o muito baixo teor de cloro residual proveniente do pré-tratamento, nos casos das membranas que requerem tal procedimento.

Economia de energia

Os sucessivos choques petrolíferos têm vindo a acentuar a tendência para o crescimento dos sistemas de osmose inversa, verificando-se que as instalações industriais de destilação detinham 97,7% da capacidade mundial em 1968, cabendo à electrodialise 2,3% e não havendo referência a outros sistemas (fonte: "United Nations Distillation Operation Survey" - 1969).

Em 1975, ocorreu um ponto de inflexão na repartição dos sistemas, cabendo à electrodialise 6,11% e à osmose inversa 8,59% (0% em 1972 e 1,14% em 1973), enquanto a destilação passou para 85,3%, prevendo-se ainda que caia para 40% no ano 2000, sendo então os restantes 60% atribuídos à osmose inversa.

Considerando um caso real que motivou o presente trabalho, em que se verificam consumos de $3,3 \text{ KW h/m}^3$ de permeato, a partir de água bruta, até 5000 p.p.m., ter-se-iam consumos de entre 30 e $7,9 \text{ KW h/m}^3$ nas opções por destiladores.

O quadro seguinte clarifica a razão destes valores, referindo ainda detalhes de custo relativo e dimensão:

| <u>Tipo</u> | <u>Consumo (referido a fuel)</u> | <u>Custo relativo</u> | <u>Dimensões relativas</u> |
|---|----------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Destilador de simples efeito | 10,0 | 2,0 | 1,0 |
| Destilador de simples efeito com recuperação de fluídos | 1,0 | 1,4 | 1,0 |
| Destilador de 2 estágios por vaporização instantânea | 6,5 | 2,1 | 1,9 |
| Destilador de 4 estágios por vaporização instantânea | 4,9 | 2,3 | 2,1 |
| Destilador por vapor de compressão | 2,4 | 1,0 | 1,9 |
| Osmose inversa | 1,0 | 1,3 | 1,3 |

3.2 - INSTALAÇÕES DE DESMINERALIZAÇÃO

Em 1975, segundo elementos do "United States Department of the Publication Desalting Plants by Location", existiam no mundo inteiro 1036 instalações, com a capacidade diária de 1.990.000 m³ de água dessalinizada, a que correspondiam cerca de 1.700.000 m³/dia produzidos por destilação.

Em 1977, segundo a mesma fonte, o número de instalações passou a 1498, com a capacidade de 3.708.000 m³, ocorrendo, no período de dois anos, um crescimento da capacidade instalada, mesmo nas zonas consideradas menos carenciadas, sendo mais acentuado no caso da Península Arábica & Irão (229,7%) e da Europa (51,17%),

Em 1978, no "VI Simpósio Internacional sobre Extração de Água Doce do Mar", um fabricante revelava que os seus módulos de fibras ocas já eram utilizados em 2.000 sistemas de osmose inversa (incluindo as pequenas unidades instaladas na área naval e do "off-shore") com capacidade de produção superior a 500.000 m³/dia. Ainda em 1978 a capacidade total das instalações por osmose inversa para a produção diária de um máximo de 10.000 galões americanos, era 529.900 m³/dia, enquanto se anunciavam complexos de produção de água, como o de Riyadh, com 5 estações, com uma capacidade diária total de 260.000 m³, pelo mesmo processo e já em funcionamento, ou a aplicação de osmose inversa a bordo de grandes navios, como o "Queen Elizabeth 2" em substituição dos anteriores destiladores, muito especialmente durante e a partir do conflito das Falkland/Malvinas.

Entretanto, a dessalinização por osmose inversa não cessou o crescimento, alargando-se ao espaço nacional, onde, na Ilha do Porto Santo, uma estação produz 600 m³/dia, experiência pioneira entre nós, que teve o seguimento na instalação de 700 m³/dia que se reporta a seguir.

4 - DESCRIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA UNIDADE INSTALADA

4.1 - CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS

O caso considerado corresponde a uma grande unidade da área de serviços em que o abastecimento exclusivo da rede pública se tornou impraticável desde o início da exploração, há cerca de 20 anos, devido à necessidade de grande quantidade de água para consumo que aquela não podia suportar.

Assim, como alternativa, decidiu-se pela execução de um furo de captação numa zona com certo risco de sobreexploração, devido à proximidade do mar e características geológicas, caso o nível freático baixasse a níveis susceptíveis de provocar a intrusão salina.

O risco foi assumido e perfurou-se a 56 m de profundidade, conseguindo-se um caudal de 25 l/s e uma água potável perfeitamente razoável para consumo, desde que amaciada. Com a continuidade da exploração, o nível freático baixou como previsto, dando-se a salinização do aquífero, passando-se a dispôr de uma água fortemente mineralizada (4500 p.p.m.) de alto teor de cloretos (1560 p.p.m.) e elevada dureza (1070 p.p.m. de Ca CO₃) e PH neutro a 18°C (temperatura média de captação), melhorando acentuadamente a mineralização (800 p.p.m.) nos períodos de pluviosidade, devido a reposição do nível freático.

As consequências do uso desta água revelaram-se principalmente no sobreconsumo de energia, corrosão e incrustações, sobreconsumo de

detergentes, deterioração de roupas e equipamentos, maiores encargos de mão-de-obra, factos que obrigaram à procura de uma solução técnico-económica que eliminasse os problemas numa base de auto-suficiência de água potável.

Assim, procuraram-se estimar os custos da situação existente, inclusive nos casos extremos de uma imobilização parcial da actividade para a substituição de condutas de água, devido à forte e acelerada corrosão (canalizações de \varnothing 100 mm chegaram a ter uma vida média de 1 ano), e só depois se encararam as hipóteses técnico-económicas de solução, sem exclusão de qualquer uma.

Deste modo, encararam-se as mais diversas hipóteses, da permuta iónica à descalcificação, com adição de polifosfatos ou sílica activa, do tratamento inibidor electrostático à osmose inversa.

Num caso o factor impeditivo, para além do investimento, eram os custos dos regeneradores e a mão-de-obra, noutros seria a potabilidade, revelando-se a osmose inversa com membranas de grande caudal, como o único sistema com condições amplas: automatização total, baixo custo de manutenção e características físico-químicas nos parâmetros recomendados para uma água potável para uso geral.

4.2 - A UNIDADE DE DESMINERALIZAÇÃO INSTALADA

O sistema instalado constitui, como já se referiu, uma unidade de desmineralização pelo processo de osmose inversa que seguidamente se passa a descrever, tendo em atenção os seus constituintes principais:

- 1) Bomba primária submersa de captação ($40 \text{ m}^3/\text{h}$)
- 2) Pré-tratamento
 - 2 Filtros em paralelo, com meio de resina sintética "green sand", para remoção do ferro e retenção de sílica e sólidos, incluindo lavagem por contra-corrente, também com função regeneradora.
 - 1 Filtro fino de 5 m.
 - Injecções (antes dos filtros) de hipoclorito de sódio e de permanganato de potássio e hidróxido de sódio (desinfecção e oxidante).
 - Injecções pós-filtros de ácido clorídrico (redução para PH = 6,5 para se evitar a hidrólise das membranas) e de hexa-meta-fosfato (anti-incrustante).
- 3) Bomba de alta-pressão (para o regime máximo de 32 Kg/cm^2 dependente da mineralização da água de alimentação)
- 4) Módulo de desmineralização
 - Válvula pneumática de controle da pressão diferencial de desmineralização.
 - Conjunto de 2 estágios em série de 7 + 4 elementos de composto de acetato de celulose de grande caudal para água salobra (até 5000 p.p.m.) e uma produção de $700 \text{ m}^3/\text{dia}$ de água potável dentro dos limites recomendados pela O.M.S. e autoridades sanitárias portuguesas.
 - Tanque de permeato (água dessalinizada).
- 5) Pós-tratamento
 - Chuveiro para remoção do CO_2 (descarga para tanque de permeato em by-pass)
 - 2 Mineralizadores em paralelo com by-pass e meio de hidróxido de magnésio em granulos (correção de PH até 9.5)

- 1 Doseador de lexívia cáustica (adicional montado, entre outras razões, para se eliminar a dependência da importação do hidróxido de magnésio e para redução de custo de exploração)
- Bomba auxiliar
- 6) Tanque de produto final com sensor de PH e de condutividade
- 7) Bomba de Transfega
- 8) Controle de PH de alimentação e de produto e salinómetro com actuação de válvula de 3 vias (consumo ou esgoto por rejeição de qualidade)

O sistema inclui ainda indicadores de caudal, pressostatos, e demais instrumentos para protecção.

4.3 JUSTIFICAÇÃO ECONÓMICA DO INVESTIMENTO (a preços actuais)

Apontam-se alguns indicadores que ilustram, no plano económico, os resultados obtidos noutros aspectos, uma vez posta a questão de não existir alternativa entre a osmose inversa e o consumo da rede.

Custo do m³ de água dessalinizada

Custo do investimento..... 33.700.000\$00 (C.I.)
 Amortização anual..... 3.370.000\$00 (A) (*)

(*) - Não se consideram os encargos financeiros pois são parâmetros de cada situação, conforme as componentes de capital próprio e capital alheio.

Custo anual de energia..... 4.516.100\$00 (C.E. (**))

(**) - Considerou-se um consumo anual de 193.000 m³ de água, para uma capacidade de produção diária de 700 m³, com uma potência de 82 KW, obtendo-se 6617 horas de funcionamento com 1 KWH = 6\$825 (75% em T.D. e 25% em T.N.)

Consumo anual de produtos químicos..... 1.737.000\$00 (C.P.Q.)
 Custo anual das membranas..... 1.000.000\$00 (C.M.) (***)

(***) - Considerou-se uma vida útil de 5 anos de funcionamento.

Custo da água produzida = 49\$86/m³

Custo anual da água supondo o abastecimento pela rede pública (C.R.P.)

Custo anual = 95\$00 x 193.000 = 18.335.000\$00

Custo anual da exploração (C.A.E.)

A. + C.E. + C.P.Q. + C.M. = 9.623.100\$00

Poupança anual comparativamente ao uso exclusivo de água da rede

C.R.P. - C.A.E. = 8.711.900\$00

Número de anos de reembolso pela poupança

$$\text{Nº anos} = \frac{\text{C.I.}}{\text{C.R.P.} - \text{C.A.E.}} = 3,86 \text{ anos}$$

Neste cálculo, com mero intuito informativo e de sensibilização para este tipo de soluções, verifica-se a existência de algumas imprecisões, como seja a não inclusão do custo da mão-de-obra dos operadores e de outros variáveis (por ex.: captação e transporte) por serem característicos de cada caso pontual.

4.4 - RESULTADOS E CONCLUSÕES

Na sequência das características da água extraída na captação que abastecia a empresa, observadas antes da instalação da unidade de tratamento, observou-se que a sua mineralização varia ao longo do ano entre 600 p.p.m. e 4500 p.p.m.

Desta forma, o sistema de descalcificação existente tornou-se obsoleto pois as características químicas mais relevantes da água não se referem à presença de carbonatos e bicarbonatos de cálcio mas sim à de cloreto e outros sais de sódio, pelo que o tratamento implicava, ao invés do pretendido, um aumento de mineralização. Optou-se então, tal como referido anteriormente, pela solução da instalação duma unidade de osmose inversa, cujos resultados comparativos se apresentam seguidamente:

RESULTADOS COMPARATIVOS DA OSMOSE INVERSA

| | Descalcificação 10/84 | Osmose Inversa (1ª fase) 4/84 | Osmose Inversa (2ª fase) 6/84 |
|--|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Resíduo seco a 180°C (mg/l) | 3219,2 | 211,9 | 265,6 |
| Dureza (p.p. 10 ⁵ CaCO ₃) | 83,2 | 7,9 | 5,3 |
| Alcalinidade | 61,2 | 30,8 | 36,8 |
| PH | 7,20 | 7,39 | 8,31 |
| Cloreto (mg/l) | 1562,0 | 28,4 | 34,08 |
| Sulfato | 256,8 | 4,32 | 7,2 |
| Carbonato | - | - | 9,6 |
| Bicarbonato | 373,3 | 187,88 | 204,96 |
| Nitrato | 15,6 | 5,6 | 7,2 |
| Fluoreto | 0,05 | - | 0,08 |
| Sódio | 889,41 | 56,58 | 88,09 |
| Potássio | 16,0 | 0,9 | 0,9 |
| Cálcio | 217,6 | 10,0 | 9,6 |
| Magnésio | 69,98 | 13,1 | 7,05 |
| Ferro | 0,1 | 0,04 | 0,04 |
| Sílica | 14,0 | 2,8 | 4,0 |
| CO ₂ livre | 38,1 | 14,8 | - |
| Aniões | 2207,75 | 226,2 | 263,16 |
| Catiões | 1193,09 | 80,62 | 105,68 |
| Mineralização | 3414,84 | 309,62 | 372,84 |

Como se constata, a melhoria da água foi notória relativamente ao anterior procedimento. Cumprindo o estabelecido sobre potabilidade, verifica-se, no entanto, que a 2ª fase da osmose inversa teve um ligeiro aumento de cloretos, sódio e ocorreu a presença de carbonatos. Este facto deve-se ao arranque da neutralização com lexívia cáustica a 50%, por um lado, e ao sobreaumento do PH, por razões de optimização do índice de Langelier, visando revestir o óxido de ferro existente nas canalizações com uma película incrustante.

Posteriormente, alterou-se o doseamento do pré-tratamento com vista à redução dos sulfato e carbonato de cálcio, ambos indesejáveis no sistema, o que testes por viragem de cor, confirmaram ter-se conseguido.

Em face dos resultados corresponderem às recomendações da O.M.S. e autoridades

sanitárias nacionais, decidiu-se proceder ao corte total do abastecimento de água a partir da rede pública, criando-se uma situação de auto-suficiência plena, caracterizada pela paragem dos problemas assinalados e comprovada por troços de prova de verificação periódica, garantindo-se, pois, a adesão dos mais cépticos à inovação tecnológica.

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

De tudo o que ficou referido, parece-nos de destacar a necessidade prioritária duma atenção particular no domínio da gestão da água. As medidas inadiáveis, que urge levar à prática, situam-se na necessidade de definir uma política adequada de gestão dos recursos hídricos e da criação de condições para a sua implementação.

A situação económico-financeira do País, de um modo geral, não deverá funcionar como um travão às acções a desenvolver.

Nesta situação de graves dificuldades, e, como uma das medidas conducentes a um aumento dos recursos hídricos disponíveis, desenvolveu-se uma experiência de desmineralização que poderá ser alargada a outras situações de zonas costeiras carenciadas, como a que serviu de base ao presente trabalho, e, em particular, em zonas onde esta questão se faz sentir duma forma premente, como seja, por exemplo, a costa Sul do País.

6 - BIBLIOGRAFIA

- Cunha, L.V. et al. 1980 - "A Gestão da Água" - Fundação Calouste Gulbenkian - Lisboa - 1980
- L.N.E.C. 1982 - Problemas de Recursos Hídricos em Ilhas e Zonas Costeiras - Lisboa - Laboratório Nacional de Engenharia Civil - 1982
- Dégremont - Mémento Technique de L'eau - Paris - 1978
- Paradela - P.L. - Condições Hidrogeológicas do Concelho de Cascais - Lisboa - 1983
- Sackinger C.T. - Economics of seawater desalting - Dupont de Nemours Co. 1980
- PP/AJH - Reverse Osmosis report - Clark Industries 1981
- Bidault B. - Osmose inversa in "O Propulsor" Nº 37, Março/Abril de 1977, Revista do Centro Cultural dos Of. e Engenheiros Maquinistas da Marinha Mercante
- Allanson, J.T. et al. 1983 - "Drinking seawater via reverse osmosis" in "MER - Marine Engineers Review", Journal of the Institute of Marine Engineers, Londres, Março de 1983
- Dean R.A.A. - "Recent Experience with reverse osmosis" in "MER", Londres, Março de 1983
- Burns and Roe Industrial Services Corp. - "Reverse Osmosis Technical Manual", Office of Water Research and Technology, U.S. Dept. of Interior, Washington, Julho de 1979
- Water Re-Use Promotion Center, "Desalination and Water Re-Use Technologies in Japan - Annual Report 1983", W.R.P.C., Tóquio, 1983.