

Emprêgo de Fluorita para Fluoretação de Águas de Abastecimento

Informe Sôbre os Trabalhos Experimentais Realizados em Macaé, Estado do Rio de Janeiro

Engenheiros **JOÃO EMILIO L. MENDONÇA**
e **BERNARDO S. GRINPLASTCH**
(Fundação SESP)

INTRODUÇÃO

A Fundação SESP vem realizando, em colaboração com a Superintendência de Águas e Esgotos de Macaé no Estado do Rio de Janeiro, estudos em escala normal de utilização de fluorita para a fluoretação de águas. Os primeiros resultados desses estudos são de tal modo encorajadores que julgamos conveniente dar ao meio técnico uma primeira comunicação sôbre os mesmos, com a esperança de que dêsse modo, possa ser despertado maior interesse sôbre o assunto, possibilitando outros estudos que venham contribuir para uma divulgação mais ampla do emprêgo da fluorita em abastecimento de água.

A Seção de Águas e Esgotos da Divisão de Engenharia orientou a execução de trabalhos, atendendo a sugestão da Seção de Odontologia da Fundação SESP e contando com a inestimável colaboração da Superintendência de Águas e Esgotos de Macaé.

Do Cirurgião Dentista Paulo Freire, chefe da Seção de Odontologia, partiu a idéia original motivadora dos trabalhos, além de auxílio e incentivo constantes no desenvolvimento dos mesmos. Deve ser destacada também a participação do Cirurgião Dentista Aldir Henrique Silva, daquela Seção, cujo entusiasmo e espírito de colaboração foram de muito auxílio em tôdas as fases dos trabalhos.

Sem a decidida colaboração da Superintendência de Águas e Esgotos de Macaé, não teria sido possível a realização dos trabalhos; além do apoio e incentivo do Eng.º José Pôrto, ex-Superintendente da região de Macaé e hoje Presidente da Comissão Estadual de Águas e Engenharia Sanitária do Estado do Rio de Janeiro, tivemos a boa fortuna de poder contar com a colaboração decidida do atual Superintendente, Eng.º Químico Roberto Caldas, que chegou mesmo a subtrair tempo de seus afazeres administrativos a fim de colocar à nossa disposição seus conhecimentos técnicos, nas fases dos trabalhos relativas às determinações de fluoretos nas amostras.

GENERALIDADES

A importância da fluoretação das águas de abastecimento para contrôlo da incidência da cárie dentária está de tal modo reconhecida que já se torna desnecessário salientá-la. Desde os trabalhos iniciais realizados em Newburgh no Estado de Nova York nos EE.UU., a prática da fluoretação das águas de abastecimento tem se difundido com grande rapidez, sendo aplicada em grande número de comunidades em todo o mundo. A redução da incidência da cárie nas comunidades beneficiadas é de tal modo evidente que já não se cogita, em nossos dias, de qualquer discussão sôbre a eficácia dessa prática.

No Brasil tem sido experimentada a fluoretação de águas de abastecimento em algumas cidades dos Estados do Espírito Santo e de Pernambuco e em muitas cidades do Rio Grande do Sul. Os resultados obtidos vêm confirmar a experiência mundial. Na cidade de Baixo Guandu, no Espírito Santo, vem sendo praticada a fluoretação desde 1953 com excelentes resultados comprovados nos inquéritos anuais de contrôlo que são ali realizados. Em Palmares e Ribeirão no Estado de Pernambuco, os trabalhos foram iniciados em 1957. No Estado do Rio Grande do Sul a fluoretação é praticada de maneira mais extensiva, pois, em virtude da Lei Estadual n.º 3 125 de 18 de junho de 1957, é obrigatória a fluoretação das águas em tôdas as localidades cujos serviços sejam operados pelo Estado e que possuam estação de tratamento.

Para a fluoretação das águas são usados comumente os seguintes compostos de flúor: fluoreto de sódio, fluorossilicato de sódio, fluorossilicato de amônio, ácido fluorídrico e ácido fluorossilícico. No Brasil são mais usados o fluoreto de sódio e o fluorossilicato de sódio.

Um dos fatores que impedem uma maior difusão da prática da fluoretação no Brasil é o eleva-

do custo dos compostos de flúor de possível emprêgo. O preço atual (início de 1964) dos dois principais sais está por volta de Cr\$ 1 100,00 o quilo, o que vem dar, apenas para o produto químico, um custo de 2 a 3 cruzeiros por metro cúbico de água tratada. Esse custo, se bem que não seja em verdade proibido, importa na necessidade de desembolsos periódicos de certo vulto que não são bem recebidos nas pequenas comunidades do país.

Existe na natureza um composto de flúor, o fluoreto de cálcio, comumente conhecido como **fluorita**, que a par de ser abundante em muitas regiões do globo, ocorre freqüentemente em estado que pode ser levado a grande grau de pureza por meio de simples processos de separação e purificação. Por isso mesmo, seu custo é extremamente baixo em comparação com os demais compostos de flúor acima referidos. No Brasil existem extensas jazidas de fluorita, tanto na região norte como no sul do país, muitas das quais já são exploradas comercialmente para outras finalidades industriais. Nas condições atuais de mercado, pode adquirir-se a fluorita de alto grau de pureza e moída a uma granulometria conveniente, por apenas Cr\$ 60,00 o quilo.

A utilização da fluorita para fluoretação de águas de abastecimento apresentar-se-ia como solução ideal se não existissem óbices de monta à sua aplicação. As dificuldades decorrem do baixo grau de solubilidade desse composto em água. Enquanto o fluoreto de sódio tem solubilidade de 4,22% e o fluorossilicato de sódio de 0,65%, a solubilidade da fluorita em água é de apenas 0,0016%, nas mesmas condições de temperatura (18°C). Além disso, tem sido verificado que nem mesmo esse pequeno grau de solubilidade pode ser conseguido nas condições correntes na prática.

Apesar de não terem sido ainda vencidas as dificuldades que impedem o uso da fluorita nos abastecimentos de água, alguns trabalhos realizados nos últimos anos têm demonstrado a viabilidade dessa utilização. Observando que a fluorita é solúvel em ácidos como também em soluções de sulfato de alumínio, Maier (1), em 1956 realizou estudos e executou um dosador experimental na cidade de Bel Air, Estado de Maryland nos EE.UU. Posteriormente, um modelo mais aperfeiçoado foi instalado em Rosiclair no Estado de Illinois. O funcionamento dessas instalações tem demonstrado, segundo Maier, que a utilização da fluorita pode ser realizada sem grandes problemas.

No Brasil, alguns estudos têm sido realizados, ao que parece sem resultados conclusivos. A Fundação SESP, em colaboração com o D.A.E. do Paraná, manteve um programa de pesquisas a esse respeito, o qual posteriormente foi descontinuado. No Rio Grande do Sul, os estudos realizados pelo Serviço de Laboratório da Diretoria de Saneamento e Ur-

banismo chegaram a adiantar-se bastante, sendo que em 1962 pareciam os mesmos encaminhar-se para um ponto satisfatório.

Voltando ao assunto em fins de 1962, iniciou a Fundação SESP, em colaboração com a Superintendência de Águas e Esgotos de Macaé no Estado do Rio, a execução de uma instalação piloto que por motivos vários somente no corrente ano pôde ser completada.

Nessa instalação, foi seguido o processo empregado por Maier na cidade de Rosiclair o qual consta da dissolução prévia da fluorita em solução de sulfato de alumínio, em um dissolvedor especial. Esse processo presta-se para os casos em que é realizado tratamento completo, com a utilização de sulfato de alumínio como coagulante.

A INSTALAÇÃO PILOTO DE MACAÉ

A água do sistema de abastecimento público de Macaé é captada no rio Severina a 18 kms da cidade e recalçada para a estação onde sofre tratamento completo, com adição de cal e sulfato de alumínio para floculação. As vazões de recalque oscilam entre 40 e 50 l/seg; o regime de funcionamento é contínuo nas 24 horas do dia. A fluoretação é realizada normalmente a 1 mg/l, com o emprêgo de fluoreto de sódio.

Bases para o projeto

De acôrdo com os trabalhos de Maier podem ser obtidas soluções em que a concentração do fluoreto é de cerca de um décimo da concentração do sulfato de alumínio. Isso quer dizer que para uma concentração de 5% de sulfato, pode-se obter uma concentração de 0,5% de fluoreto o que corresponde a 5 000 mg/l de ion fluoreto. No projeto de Macaé foram também seguidas as demais condições sugeridas por Maier, quais sejam:

- 1 — Tempo de contáto de cerca de 2 horas à temperatura ambiente;
- 2 — Presença de um excesso de fluorita;
- 3 — Agitação vigorosa durante a dissolução.

Com base nos elementos citados foi organizada uma tabela para orientação das dosagens de fluorita e de sulfato de alumínio a serem atendidas (Tabela I).

Para tanto, forem consideradas vazões de 40 a 60 l/seg que cobrem suficientemente os valores comumente verificados na localidade. As porcentagens de pureza da fluorita são as dos produtos comerciais encontrados e as concentrações da solução de sulfato de alumínio são as que usualmente empregam-se na estação.

(1) Franz J. Maier, Engenheiro Sanitarista da Divisão de Higiene Dental do Serviço de Saúde Pública dos EE.UU.

TABELA I

Dosagens de fluorita e de solução de sulfato de alumínio, para fluoretação, para diferentes vazões da Estação de Tratamento de Macaé

VAZÃO l/seg	Dosagem de Fluorita (g/min)				Dosagem de Sulfato (l/min)			
	Pureza da fluorita %				Concentração da Solução %			
	95	96	97	98	3,5	4	4,5	5
40	5,2	5,1	5,1	5,0	0,69	0,60	0,54	0,48
41	5,3	5,2	5,2	5,1	0,70	0,62	0,55	0,49
42	5,4	5,4	5,3	5,3	0,72	0,63	0,56	0,50
43	5,6	5,5	5,5	5,4	0,74	0,65	0,57	0,52
44	5,7	5,6	5,6	5,5	0,76	0,66	0,59	0,53
45	5,8	5,7	5,7	5,6	0,77	0,68	0,60	0,54
46	5,9	5,9	5,8	5,8	0,78	0,69	0,61	0,56
47	6,1	6,0	5,9	5,9	0,80	0,71	0,63	0,56
48	6,2	6,1	6,1	6,0	0,83	0,72	0,64	0,58
49	6,3	6,3	6,2	6,1	0,84	0,74	0,65	0,59
50	6,5	6,4	6,3	6,3	0,86	0,75	0,67	0,60

Esquema da instalação

O dispositivo de fluoretação de Macaé ficou constituído por um dissolvedor especial, alimentado por um dosador a seco para a fluorita e por um

dosador rotativo para a solução de sulfato de alumínio. A solução de sulfato utilizada é a mesma empregada como auxiliar de coagulação. A instalação é mostrada de maneira esquemática na Figura 1.

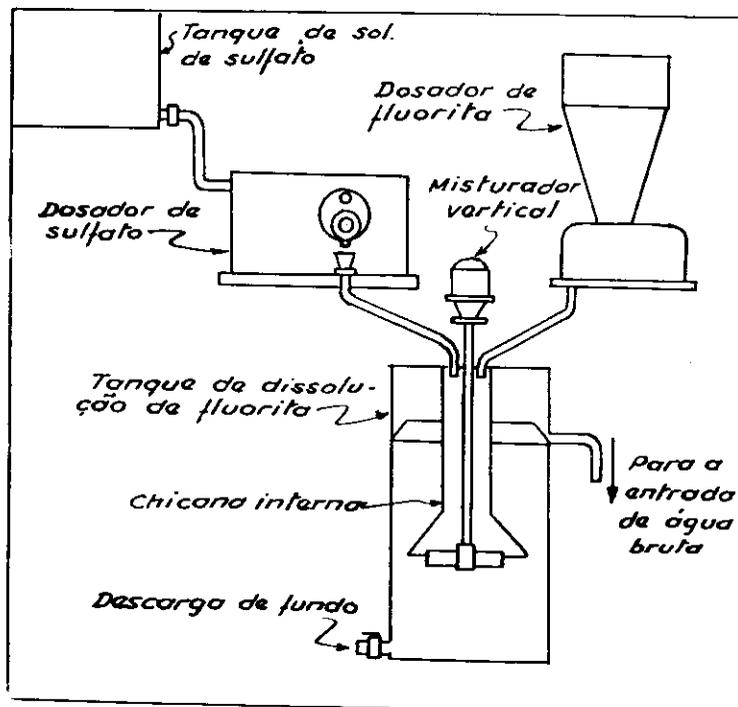


Fig. 1

Esquema da instalação de fluoretação de Macaé.

Tanque de dissolução

O tanque de dissolução de fluorita utilizado na instalação de fluoretação de Macaé é constituído de um cilindro de aço inoxidável de 0,52 m de diâmetro interno por 1,00 m de altura. Esse tanque é dotado de uma chicana interna e de um vertedor de saída, ambos de aço inoxidável. A chicana interna tem sua parte superior cilíndrica com 0,15 m de diâmetro interno e a parte inferior tronco-cônica com 0,25 m de altura e 0,15 e 0,42 m, respectivamente, para diâmetros das bases. O vertedor de saída é constituído de uma calha tronco-cônica situada a 0,15 m da borda superior do tanque.

A agitação requerida para a perfeita dissolução da fluorita é promovida por um misturador vertical, acionado por motor elétrico, instalado de modo que suas palhetas fiquem abrigadas na parte inferior da chicana interna.

O tanque é dotado de uma descarga de fundo para remoção das impurezas eventuais, principalmente do excesso de sulfato de cálcio que tende a se depositar no fundo.

Funcionamento do dissolvedor

O tanque de dissolução deve ser previamente carregado com solução de sulfato e com um excesso de fluorita. Posto em funcionamento, passa o tanque a ser alimentado de solução de sulfato de alumínio, através do dosador rotativo, e de fluorita, através do dosador a seco. A fluorita e a solução de sulfato descem pelo interior da chicana interna e atingem a zona de intensa agitação promovida pelas palhetas do misturador. A dissolução da fluorita se processa, ocorrendo, então, intensa formação de sulfato de cálcio (1,7 kg de sulfato de cálcio para cada quilograma de fluorita dissolvida). A solução percorre, então, uma trajetória ascendente no espaço entre a chicana interna e a parede do tanque, indo ter ao vertedor de saída de onde é encaminhada ao ponto de aplicação, por meio de tubulação plástica de 1" de diâmetro. O sulfato de cálcio formado pode naturalmente ser descarregado na água juntamente com a solução de sulfato de alumínio contendo a quantidade de fluoretos que se deseja. Essa descarga, além de não apresentar dificuldade no processo de tratamento, pode trazer, de fato, uma vantagem como núcleo adicional para a formação de flócos.

A velocidade de ascensão em direção ao vertedor de saída deve ser mantida em níveis tais que não permita o carreamento de fluorita não dissolvida sem provocar, por outro lado, uma deposição exagerada de sulfato de cálcio, o que poderia trazer como consequência a necessidade de limpezas demasiadamente freqüentes.

Dosadores de fluorita e de solução de sulfato

Para a solução de sulfato foi escolhido um dosador rotativo de "canecas", acionado por motor elétrico. Os limites de dosagem abrangem com folga suficiente os valores extremos de 0,48 e 1,00 l/min previstos na Tabela I.

Para a fluorita foi empregado um dosador volumétrico contínuo. Como no caso anterior, os limites de variação da dosagem de fluorita abrangem com bastante folga os valores extremos de 4,91 e 6,45 g/min previstos na Tabela I.

Custo da instalação

Todo o conjunto de dissolução e dosagem custou, em fins de 1962, Cr\$ 640 000,00, assim distribuídos:

1. Tanque de dissolução	Cr\$ 100 000,00
2. Estrutura para montagem	Cr\$ 3 000,00
3. Tubulações e registra	Cr\$ 12 000,00
4. Dosador rotativo p/ solução	Cr\$ 100 000,00
5. Dosador a seco p/ fluorita	Cr\$ 370 000,00
6. Misturador vertical	Cr\$ 55 000,00

Total Cr\$ 640 000,00

Um conjunto similar pode ser montado atualmente por cerca de Cr\$ 1 300 000,00.

Custo da operação

O custo da operação e manutenção de um serviço de fluoretação com fluorita depende do padrão atual de operação e manutenção da estação de tratamento. No caso de Macaé, o pessoal encarregado da operação da estação de tratamento está em condições de operar o equipamento de fluoretação sem necessidade de auxílio complementar. O controle químico da operação pode também ser realizado no local com os recursos normais já existentes. Não há, portanto, qualquer despesa adicional de pessoal. Em outras localidades, é de esperar que um programa de treinamento possa colocar rapidamente o pessoal normal da estação em condições de operar e manter um serviço similar.

O dispêndio anual adicional requerido pode, então, ser estimado tendo em conta a amortização do equipamento, o custo da fluorita, e o gasto de energia. No presente caso, que pode ser bem exemplificativo das condições a esperar em comunidades do mesmo porte, o dispêndio foi estimado (Tabela II) considerando a amortização do equipamento em 10 anos com juros de 8% ao ano, o custo atual de Cr\$ 60,00 o quilo para a fluorita e o gasto diário de 9 kwh de energia elétrica.

TABELA II

Dispêndio adicional para a manutenção de um serviço de fluoretação com fluorita das águas de abastecimento de Macaé

Discriminação	Gasto anual	Dispêndio anual
Fluorita	4 200 kg	252 000,00
Energia elétrica	3 285 kwh	39 420,00
Equipamento (*)	—	162 500,00
Total		453 920,00
Dispêndio "per capita"	(**)	18,20
Dispêndio por ligação	(***)	91,00

(*) Amortização em 10 anos com juros de 8% ao ano.

(**) População abastecível de 25 000 habitantes.

(***) A 5 habitantes por ligação.

Verifica-se que o acréscimo nas taxas de água importaria em apenas Cr\$ 91,00 por ano ou seja Cr\$ 7,60 por mês, o que corresponde a um aumento de apenas 2% sobre as taxas mensais médias cobradas na localidade.

Comparação de custos

É conveniente fazer uma comparação entre os custos estimados para a fluoretação das águas do sistema público de Macaé com a utilização de diferentes compostos fluorados. Supondo que o aproveitamento dos diversos compostos é total, pode-se calcular as quantidades necessárias para a fluoretação, bem como avaliar seus respectivos custos. A

Tabela III mostra esses valores calculados para vazões de 40, 45 e 50 l/seg.

Para a confecção da Tabela III foram consideradas, para o fluoreto de sódio e fluorossilicato de sódio, porcentagens de pureza de 95 e 99%, respectivamente, enquanto que para a fluorita foi adotado o mais baixo dos valores constantes da Tabela I, ou seja, 95% de pureza. As quantidades necessárias foram, então, determinadas, para uma dosagem de 1 mg/l.

A análise da Tabela permite concluir que o dispêndio estimado com a fluorita está compreendido entre 5 e 7% dos valores correspondentes aos demais sais de flúor.

TABELA III

Comparação de custos de fluoretação com a utilização de fluorita, fluoreto de sódio e fluorossilicato de sódio

Vazão l/seg	Quantidade diária (kg)			Dispêndio diário Cr\$ (*)		
	Fluoreto	Fluoros-silicato	Fluorita	Fluoreto	Fluoros-silicato	Fluorita
40	8,1	5,7	7,5	8 800	6 300	450
45	9,0	6,5	8,4	9 900	7 150	501
50	10,1	7,2	9,3	11 000	7 900	560

(*) Apenas em produtos químicos.

RESULTADOS OBTIDOS EM MACAÉ

Posta em operação a instalação de Macaé procedeu-se à determinação do ion fluoreto na água tratada. Foi utilizado o método colorimétrico de Scott-Sanchis; as primeiras determinações foram feitas com e sem destilação preliminar. Foram seguidos sempre os procedimentos preconizados pelos "Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water".

Na primeira etapa dos trabalhos procurou-se verificar a aplicabilidade do comparador de padrões colorimétricos permanentes. Não foram, entretanto, satisfatórios os resultados, que se mostraram erráticos e sofriam freqüentemente da dificuldade de serem conseguidas côres comparáveis. É possível que melhores resultados possam ser obtidos com o emprego de reagentes preparados pelos próprios fabricantes.

Verificada a inconveniência do emprego de padrões permanentes, tôdas as demais comparações colorimétricas foram feitas com padrões temporários preparados na hora. Na Tabela IV são apresentados alguns resultados obtidos, ajustado o equipamento de dosagem para dar 1 mg/l na água de abastecimento.

Dos resultados obtidos, os quais são exemplificados pelos elementos constantes da Tabela IV, resultam três importantes conclusões. Em primeiro lugar, verifica-se que ocorre perfeita dissolução e dosagem. Não está perfeitamente esclarecida a ocorrência de valores superiores ao esperado. Possivelmente trata-se da solubilidade da fluorita na solução de sulfato em condições melhores do que antecipado pelos estudos de Maier. Serão feitos estudos mais completos sobre esse assunto.

TABELA IV
Determinações de Fluoretos realizados em Macé (1)

Data	Origem da amostra	Fluoretos em mg/l	
		C/Destilação	S/Destilação
7.4.64	Água floculada	1,2	0,5
7.4.64	Água filtrada	1,2	0,5
8.4.64	Água floculada	1,5	0,4
8.4.64	Água filtrada	1,5	0,2
8.4.64	Cidade	1,5	—
8.4.64	Cidade	1,5	—
9.4.64	Água filtrada	1,2	0,4
10.4.64	Água filtrada	1,2	0,2
17.4.64	Água filtrada	1,5	0,5
17.4.64	Cidade	1,0	0,4
30.4.64	Água filtrada	1,0	0,2

(1) Determinações realizadas diretamente pela equipe da FSESP. Resultados semelhantes foram obtidos pela equipe local.

Em segundo lugar, mostram os dados da Tabela IV que não se pode confiar nas determinações feitas sem destilação. As análises de prova que foram realizadas em soluções de teor de fluoretos conhecido, confirmaram o acerto do procedimento de destilação utilizado.

Conclue-se, finalmente, que não há perda de fluoretos ao longo das diversas etapas do tratamento. Vale a pena recordar que Maier verificou em seus estudos a ocorrência de alguma perda de fluoretos quando a dosagem de sulfato de alumínio passava além de 10 mg/l. Pode-se supôr que Macaé está no limiar dessa condição e que nas épocas em que as águas se apresentarem com maior turbidez, demandando maior dosagem de sulfato, pode ocorrer alguma perda.

SUMÁRIO E CONCLUSÕES

1. A Fundação Serviço Especial de Saúde Pública, em colaboração com a Superintendência de Águas e Esgotos de Macaé está levando a efeito uma experiência, em escala normal, de emprêgo de fluoreto de cálcio (fluorita) para fluoretação de água de abastecimento.

2. Está sendo empregado o processo de dissolução prévia da fluorita em solução de sulfato de alumínio, descrito por Maier.

3. Os resultados preliminares da experiência demonstram boas condições de solubilização e aplicação, com a obtenção das dosagens previstas de fluoreto na água.

4. O emprêgo de comparador de padrões permanentes para as determinações colorimétricas não apresentou resultados satisfatórios. Admite-se a possibilidade de serem obtidos melhores resultados com o emprêgo dos reagentes preparados pelos próprios fabricantes do comparador.

5. As determinações de fluoretos foram feitas pelo método de Scott-Sanchis, com destilação prévia com arraste de vapor. As determinações feitas sem destilação apresentaram, freqüentemente, resultados de 2 a 5 vezes menores do que aqueles obtidos com destilação, sendo que algumas vezes foram obtidos resultados coincidentes. Atribue-se as diferenças à presença de interferentes em maior ou menor grau, interferentes êsses que são sempre eliminados pela destilação.

6. Nas condições atuais de mercado (início de 1964) pode ser realizada a fluoretação com fluorita a um custo de cerca de Cr\$ 1,50 por pessoa servida, por mês.

7. Nas mesmas condições, o custo da fluorita empregada para uma cidade como Macaé fica entre 5 a 7% do custo dos sais de flúor mais usados, o fluoreto de sódio e o fluorossilicato de sódio.

INSTALAÇÕES PARA DEZALINIZAÇÃO DA ÁGUA DO MAR, USANDO ENERGIA ATÔMICA

O desenvolvimento das instalações para a potabilização da água do mar, utilizando energia nuclear, continua sendo estudado com grande interesse pelo governo dos Estados Unidos, que tem demonstrado especial atenção pelas instalações mixtas, com possibilidade de produzir ao mesmo tempo eletricidade e água pura. Os estudos são orientados para a execução de programas acelerados de dezalinização, baseados na mais ampla colaboração internacional, sob a égide da ONU, por meio de acordos bilaterais com outras nações e de trocas científicas com a União Soviética.

Os cientistas sustentam que a tecnologia dos reatores e da dezalinização alcançou um grau de maturidade suficiente para garantir à humanidade energia elétrica abundante e água para fins industriais e alimentares. No Holly Cross College de Worcester, Mass, por ocasião da conclusão do ano acadêmico, o Presidente Johnson anunciou que *nêstes últimos meses conseguimos um progresso notável sob o ponto de vista econômico na utilização de reatores em vasta escala para a produção de energia eletronuclear comercial. Este fato oferece excelentes perspectivas para a transformação da água do mar em água potável. Reatores nucleares de grande potência e instalações para a dezalinização da água do mar oferecem conjuntamente energia elétrica a baixo custo e água potável para zonas áridas.*

Em Setembro dêste ano terá lugar em Washington uma Reunião Internacional para o estudo da conversão da água do mar em água potável, tendo sido convidados 114 países. Essa Reunião terá o patrocínio do Governo Americano, em estreita colaboração com a UNESCO e outras entidades internacionais. O texto enviado pelo Governo americano sublinha: "o Governo dos Estados Unidos considera que, devido ao fato que muitos problemas econômicos e sociais têm estreita ligação com a carência de água potável, a Reunião deverá provocar desusado interesse".

Um exemplo é ilustrativo: os EE.UU. obtiveram em 1963 progressos notáveis nas pesquisas financiadas pelo governo, nesse sentido. Esta nação alcançou o primado das iniciativas mundiais para utilizar a energia nuclear como fonte de calor para a transformação da água do mar em água potável. O Departamento encarregado dêsse assunto de transcendental importância para a humanidade, trabalha em colaboração com a Comissão de Energia Atômica (AEC) e com a Comissão Internacional de Energia Atômica, com séde em Viena (IAEA).

(Da Revista "Ingegneria Sanitária, N.º 5/64, Roma, Itália)