

IMPLANTAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE PRODUÇÃO DE ÁGUA DESIONIZADA PARA USO NOS LABORATÓRIOS DO CENA/USP EMPREGANDO RESINAS DE TROCA-IÔNICA

Resumo

Considerando que laboratórios químicos necessitam de água de elevada pureza, foi desenvolvido um sistema de produção de água desionizada através de resinas trocadoras de íons como alternativa ao uso de equipamentos de destilação. Tal sistema fornece água para todos os laboratórios do CENA/USP, reduzindo significativamente o consumo de água e energia na instituição. Esse exemplo pode ser seguido por outras instituições que apresentam elevado consumo de água desionizada em suas atividades de rotina e pesquisa.

Palavras-chave: água desionizada, purificação, laboratórios

Glauco Arnold Tavares,
José Albertino Bendassolli,
Gleison de Souza,
Felipe Rufine Nolasco*

Universidade de São Paulo,
Centro de Energia Nuclear na
Agricultura

*Autor para correspondência:
Universidade de São Paulo
CENA
Caixa Postal 96
13400-970. Piracicaba. SP
Fone: (19) 3429-4600
E-mail: gtavares@cena.usp.br

Summary

As research laboratories need high purity water, it was developed a production system through ion exchange resins, as an alternative to the use of distillation equipment. The elaborated system supplies deionized water to all laboratories from CENA/USP, reducing greatly the water and energy consumption. This example can be followed by other institutions that use a great volume of deionized water on their routine activities.

Keywords: deionized water, purification, laboratories

Introdução

No atual estágio do desenvolvimento humano, no início do século XXI, um dos grandes desafios a serem enfrentados está atrelado à sustentabilidade. Embora em diversos países o desenvolvimento tecnológico tenha alcançado níveis inimagináveis há décadas, os recursos naturais, de extrema necessidade para a sobrevivência das espécies, são cada vez mais escassos.

As fontes disponíveis de água doce estão se esgotando, o que permite prever um quadro catastrófico para os próximos anos. Essa preocupação é ainda mais acentuada ao considerar-se que, em alguns países, a falta d'água já é uma realidade (1-3). O governo dos Estados Unidos da América anunciou recentemente que deve iniciar entendimentos para importar água do vizinho Canadá, enquanto no Brasil, em algumas regiões, já estão em vigor programas de racionamento, inclusive com o estabelecimento de cotas por habitante (4). O relatório mundial (5) da Unesco (Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura) estima que dois milhões de toneladas de rejeitos são lançados diariamente em redes receptoras, podendo contaminar 12.000km³ de água. Esse volume é 50 % superior a

toda água armazenada em todas as represas até hoje construídas.

Dentro deste contexto, além de alternativas que visem a prevenção e remediação da poluição de mananciais por substâncias de diversas naturezas, é também necessária uma utilização mais racional da água.

Em laboratórios químicos, a água é o solvente mais empregado, uma vez que a utilização de água desionizada de alta pureza é de fundamental importância nos trabalhos de pesquisa, principalmente no preparo de padrões analíticos e carregadores para análise em fluxo. Dentre os sistemas para tratamento de água para essa finalidade, destacam-se os processos de destilação, osmose reversa e troca-iônica. O processo convencional de destilação é o mais empregado, consumindo, porém, grande quantidade de água de refrigeração (15L L⁻¹ de água produzida) e energia elétrica (0,7Kw L⁻¹), além de cuidados constantes durante a produção (6). Um equipamento comercial de osmose reversa apresenta também desperdício de água (3L L⁻¹ de água produzida), mas o consumo de energia é baixo (7).

Ressalta-se a observação de que o fornecimento de energia está comprometido, sendo que, em diversos países (como o Brasil), a implantação de programas de redução no consumo de

energia, e também incentivos a estudos referentes a energias alternativas, estão na ordem do dia (8-10).

Ao contrário dos demais processos de purificação de água, o emprego de colunas de resinas trocadoras de íons evita desperdícios dessa natureza, sendo ainda favorecido pela simplicidade da técnica, durabilidade das resinas e alta pureza do produto obtido (11-12).

No CENA/USP, onde existem atualmente 19 laboratórios de ensino e pesquisa, um levantamento preliminar realizado revelou que os processos de purificação de água produzem cerca de $60\text{m}^3 \text{mês}^{-1}$ de água ($20\text{m}^3 \text{mês}^{-1}$ no Laboratório de Isótopos Estáveis – troca iônica), o que gera aproximadamente $600\text{m}^3 \text{mês}^{-1}$ de águas residuárias provenientes da etapa de resfriamento dos processos convencionais de destilação. Toda essa água de resfriamento é captada da rede pública de abastecimento, sendo o consumo médio do CENA/USP de aproximadamente $1600\text{m}^3 \text{mês}^{-1}$. Baseando-se nessas estimativas iniciais, uma possível substituição dos processos de destilação por resinas trocadoras de íons possibilitaria uma redução de volume de captação de água (e por conseqüência de águas residuárias) da ordem de 40%, com redução dos custos com os serviços de abastecimento de água e esgoto de mais de R\$ 4.000,00 mês^{-1} . Isso sem computar os gastos com energia elétrica despendidos pelos processos de destilação, correspondendo a aproximadamente $40.000\text{Kw} \text{mês}^{-1}$ (R\$ 8.000,00). Somados, esses valores indicam a possibilidade de uma economia da ordem de R\$ 140.000,00 ano^{-1} para a Instituição.

Desse modo, propôs-se a construção de uma unidade produtora/fornecedora de água para fins analíticos para toda a instituição através de um redimensionamento do sistema proposto por Bendassolli e colaboradores¹². Considerando-se o volume necessário para abastecer todos os laboratórios do CENA/USP, a unidade produtiva a ser dimensionada devia, em capacidade plena de produção, considerando-se as necessárias etapas de regeneração das resinas, produzir cerca de $100\text{L} \text{h}^{-1}$ de água para atender à demanda. Assim sendo, essa unidade produtiva de água desionizada foi instalada em área própria, de fácil acesso, visando uma produção de água nas condições adequadas para os procedimentos de pesquisa em cada laboratório em particular.

É importante frisar, ainda, que esse desenvolvimento é parte integrante do Programa de Gerenciamento de Resíduos Químicos do CENA/USP, que vem sendo implementado na instituição, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Material e Métodos

Material

Os equipamentos utilizados nas análises de interesse, a fim de se aferir a qualidade do produto final obtido, bem como acompanhar parâmetros de interesse na produção e regeneração, foram: espectrômetros de absorção atômica Perkin Elmer,

modelos 503 e 306; espectrofotômetro de chama modelo B-262 Micronal; cromatógrafo a gás acoplado a espectrômetro de massas (CG-EM) espectrofotômetro Micronal modelo B 342 I; espectrômetro de plasma induzido Jarrel-Ash, modelo 975; balanças eletrônicas digitais marca And, modelo ER-182A (escala 0,0001g), e marca Tecnal com capacidade para 15Kg (escala 0,1g); capelas especiais para manuseio e processamento dos materiais perigosos; medidor digital de pH marca ORION modelo 4260-C15; condutivímetro Texto 240; autoclave; estufa incubadora BOD; estufa para esterilização seca; entre outros.

As resinas escolhidas para uso no sistema proposto foram a catiônica Amberjet 1200 Na (tipo forte, grupo funcional sulfônico, capacidade de troca de $2,0\text{mmol Na}^+ \text{cm}^{-3}$ resina úmida, malha $650 \pm 50\mu\text{m}$) e a aniônica Amberlite IRA 410 (tipo forte, com capacidade de troca de $1,4 \text{mmol OH}^- \text{cm}^{-3}$ resina úmida, malha $410-480\mu\text{m}$).

Os três pares de colunas de acrílico (aniônica e catiônica – separadas) do sistema de produção possuem 1800mm de comprimento e 183, 152 e 100mm de diâmetro, denominados respectivamente Sistemas 1, 2 e 3. Para garantir a pureza microbiológica da água após a purificação química, foi instalado um equipamento de desinfecção UV no sistema de produção.

O armazenamento da água produzida é feito em tanques de aço inoxidável com tratamento sanitário de 2m^3 de capacidade. Para a regeneração das resinas foram instalados tanques em resina estervinilica, reforçado com fibra de vidro (200L). A Figura 1 mostra os detalhes da planta de produção.

No laboratório, os recipientes para armazenamento de água testados foram: 1 – recipiente de 50L de capacidade em PVC da Permution; 2 – recipiente em PET (garrafa plástica empregada na comercialização de água mineral); e 3 – recipiente especial para armazenamento de água de 50L de capacidade, construído em aço inoxidável 304 polido e com tratamento sanitário, dotado de eletrobomba de drenagem Eberle EBD 17241 (220 v / 60 hz) e lâmpada UV-C Light Express (6 watts).

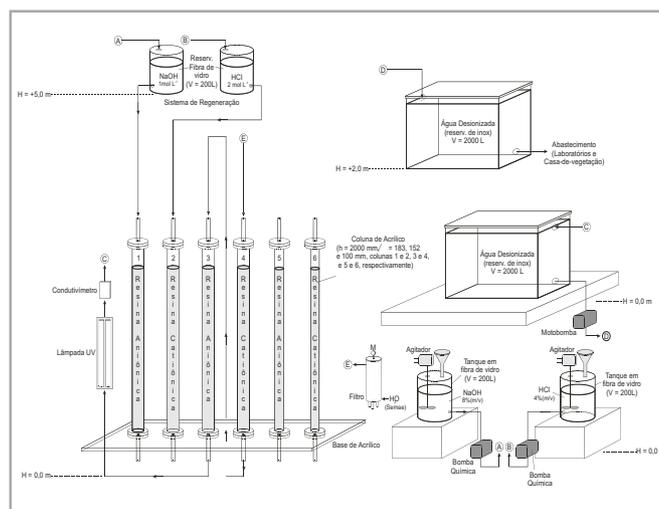


Figura 1. Central de produção de água desionizada para fornecimento aos laboratórios de ensino e pesquisa do CENA/USP

Métodos

Nas unidades de desionização foram avaliados os parâmetros: concentrações das soluções de regeneração das resinas catiônicas (ácido clorídrico 1,0 e 2,0 mol L⁻¹) e aniônicas (hidróxido de sódio 1,0 e 2,0 mol L⁻¹); tempo de regeneração; concentração de algumas espécies químicas (cátions e ânions) importantes no eluido da etapa de regeneração das resinas; pH; condutividade ou resistividade; propriedades microbiológicas (bactérias heterotróficas totais).

Para se verificar a eficiência da etapa de regeneração, amostras representativas de cada 3L da solução eluída, de cada coluna, foram coletadas e acondicionadas em frascos de polietileno (200mL) mantidas sob refrigeração (4°C).

A técnica de espectrometria de emissão atômica de plasma (ICP-AES), por permitir linearidade da ordem de 10⁸, foi empregada para a determinação de Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SiO₄⁴⁻ e SO₄²⁻ nas amostras de interesse (13).

Para as determinações de Cl⁻ e NO₃⁻, utilizou-se metodologia espectrofotométrica de análise em fluxo (14).

Na aferição da qualidade da água desionizada produzida, foram avaliadas as concentrações de espécies inorgânicas e orgânicas. Com relação às espécies orgânicas, foram avaliados 60 compostos utilizando a técnica da CGMS.

As determinações de contagem colônias de bactérias heterotróficas totais foram procedidas em amostras de água coletadas antes e após o tratamento nas colunas de resinas trocadoras de íons, bem como após a desinfecção empregando luz UV. As análises microbiológicas foram realizadas através do método do plaqueamento em profundidade (15), sendo observados os necessários procedimentos de assepsia durante a coleta de amostras e demais etapas analíticas. Como a água acaba ficando armazenada nas caixas de aço inoxidável por algum período de tempo, verificou-se também a presença de bactérias na água estocada, propondo novas alternativas para armazenamento de água na instituição.

Os resíduos químicos gerados nas etapas de regeneração das resinas e determinações analíticas foram tratados de maneira a possibilitar o descarte ambientalmente correto.

Resultados e Discussão

Com a conclusão do sistema proposto (investimento de R\$ 35.000,00) e início da etapa de produção de água desionizada, puderam então ser avaliados os parâmetros de interesse tanto na água produzida e armazenada como nas etapas de regeneração das resinas.

Qualidade da água

Com respeito à qualidade da água desionizada produzida, alíquotas coletadas 10 vezes ao dia durante um ciclo de produção (até a saturação das resinas) permitiram observar que a

Tabela 1. Concentrações (mg L⁻¹) de algumas das principais espécies inorgânicas e orgânicas analisadas em amostras de água de abastecimento e purificada pelo sistema proposto

Espécie	AAP ¹	ADTI ²	AEUV ³	APD ⁴
Cu	< 0,0036	< 0,0036	< 0,0036	< 0,0036
Mn	< 0,0051	< 0,0051	< 0,0051	< 0,0051
Fe	0,0152	< 0,0048	< 0,0048	< 0,0048
Cd	< 0,0009	< 0,0009	< 0,0009	< 0,0009
Cr	0,0019	< 0,0009	< 0,0009	< 0,0009
Ni	< 0,0402	< 0,0402	< 0,0402	< 0,0402
Sr	0,2176	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006
Ba	< 0,4464	< 0,0030	< 0,0030	< 0,0030
Si	4,2354	0,0807	0,0789	0,0801
P	< 0,0288	< 0,0288	< 0,0288	< 0,0288
Ca	39,1203	< 0,0660	< 0,0660	< 0,0660
Mg	5,8689	< 0,0099	< 0,0099	< 0,0099
Na	5,7295	< 0,0426	< 0,0426	< 0,0426
K	2,8241	< 0,0126	< 0,0126	< 0,0126
S	9,6248	< 0,0147	< 0,0147	< 0,0147
Al	< 0,0099	< 0,0099	< 0,0099	< 0,0099
C orgânico	0,916	0,204	0,169	0,186
C inorgânico	6,486	0,102	0,070	0,066
Tolueno ⁵	1,3	1,7	1,5	1,5
Clorofórmio ⁵	0,1470	0,0078	0,0085	0,0021
Bromodiclorometano ⁵	0,0078	—	—	—

¹AAP = água de abastecimento público; ²ADTI = água desionizada pelo sistema de troca iônica; ³AEUV = água esterilizada em radiação UV, após purificação química; ⁴APD = água purificada coletada nos pontos de distribuição da Central de Abastecimento; ⁵compostos orgânicos voláteis, reportados em mg L⁻¹.

condutividade variou entre 0,2 e 1 μS cm⁻¹ e o pH entre 6,5 e 7,5. Embora as medidas tenham sido realizadas no instante da produção, pôde-se verificar, posteriormente, que não havia variações nesses parâmetros quando a água é estocada por um período curto de tempo (aproximadamente duas semanas).

Medidas do volume de água produzida até a saturação das resinas, em cada sistema de produção dimensionado, permitam estimar que a capacidade de produção é de aproximadamente 15, 10 e 5 m³, respectivamente para os sistemas 1, 2 e 3.

A elevada pureza da água desionizada produzida é atestada também pelas baixas concentrações de algumas das principais espécies inorgânicas e orgânicas analisadas em comparação às verificadas na água de abastecimento público, apresentadas na Tabela 1. Sobre as espécies orgânicas analisadas, cabe ressaltar que foram quantificados 60 compostos orgânicos voláteis (principalmente halogenados), mas a concentração da grande maioria foi inferior ao limite de detecção da técnica (0,5 μg L⁻¹).

Como na operação do sistema de troca-iônica a água não é levada à ebulição, como ocorre na destilação, as colunas de

Tabela 2. Análises de crescimento bacteriano, pH e condutividade em água armazenada em recipientes de INOX, PVC e PET pelo período de até duas semanas

Recipiente	Teste*	Período (dias)	UFC ml ⁻¹	pH	Condutiv. (μS cm ⁻¹)
INOX	1	0	0	7,6	0,8
		3	1,0 x 10 ²	7,3	1,1
		7	2,2 x 10 ²	7,3	1,3
		14	1,7 x 10 ²	7,0	1,9
	2	0	4,3 x 10 ⁴	7,9	0,6
		3	5,2 x 10 ¹	8,1	1,3
		7	6,1 x 10 ¹	7,7	1,2
		14	3,8 x 10 ¹	7,8	2,1
PVC	1	0	0	7,2	0,7
		3	3,6 x 10 ⁴	7,2	1,4
		7	4,0 x 10 ⁴	6,9	1,8
		14	2,5 x 10 ⁴	7,1	2,8
	2	0	5,3 x 10 ⁴	6,8	0,7
		3	6,9 x 10 ⁴	7,0	0,9
		7	4,0 x 10 ⁴	7,0	1,1
		14	4,1 x 10 ⁴	7,1	1,5
PET	1	0	0	7,4	0,6
		3	3,2 x 10 ⁴	7,5	0,8
		7	9,3 x 10 ³	7,8	1,2
		14	1,8 x 10 ⁴	7,5	1,3
	2	0	8,6 x 10 ⁴	6,9	0,8
		3	3,1 x 10 ⁴	6,8	1,6
		7	3,7 x 10 ⁴	7,4	1,6
		14	5,2 x 10 ⁴	7,0	2,4

* Teste 1 refere-se ao armazenamento de água coletada no instante da produção, após desinfecção empregando luz UV, enquanto o teste 2 refere-se ao armazenamento de água coletada nos reservatórios instalados no interior da Casa de Vegetação (água produzida há alguns dias).

resinas acabam não retendo microorganismos presentes na água de abastecimento público. Para realizar a desinfecção da água produzida, a solução adotada foi o uso de um esterilizador UV acoplado ao sistema após a saída da água das colunas de troca iônica.

Testes realizados mostraram que a água de abastecimento público apresentava 1,9x10³ UFC mL⁻¹ e, após desmineralização no sistema de troca iônica, a quantidade de colônias aumentava para 2,5x10⁴ UFC mL⁻¹, o que indica que as resinas de troca iônica constituem-se em ambiente propício para a proliferação de bactérias, uma vez que o número de colônias encontrado é maior que o verificado na água de abastecimento. Levando esse parâmetro em consideração, a água produzida pode tornar-se inadequada para uso em laboratórios que realizam análises biológicas. O equipamento de UV utilizado mostrou-se eficiente na desinfecção da água, não sendo detectado crescimento de colônias de bactérias nas amostras de água analisadas.

Entretanto, nas amostras de água analisadas armazenadas por curto período de tempo (até duas semanas), pôde-se verificar elevado número de colônias de bactérias (2,9x10⁵ UFC mL⁻¹). Ocorre que o armazenamento da água durante o período de alguns dias acaba por facilitar o crescimento de colônias de bactérias, o que pode ser verificado tanto nas caixas de aço inoxidável como nos recipientes disponíveis em cada laboratório.

Em laboratórios que necessitam de água de elevada pureza química e também microbiológica, deve-se então dar a devida atenção ao armazenamento da água produzida, evitando-se o armazenamento prolongado da água recém produzida e desinfetada. Também é interessante a adoção de alternativas viáveis de recipientes de armazenamento de água. Desse modo, estudou-se o armazenamento em três recipientes distintos nos intervalos de 3, 7 e 14 dias, aferindo-se as oscilações de número de colônias de bactérias, pH e condutividade. Os recipientes selecionados para esse estudo foram: 1 – recipiente de PVC, de uso comum nos laboratórios do CENA/USP; 2 – recipiente de PET, indicado na literatura para amostragem de água em análises de elementos traço (16); e 3 – recipiente em inox dotado de bomba para circulação de água e lâmpada UV-C. Esse último recipiente foi especialmente construído (Figura 2) para solucionar os problemas de crescimento de microorganismos na água



Figura 2. Recipiente para armazenamento de água em laboratórios construído em aço inox 304, contendo lâmpada UV-C (6 watts), eletrobomba para circulação de água e controlador automático.

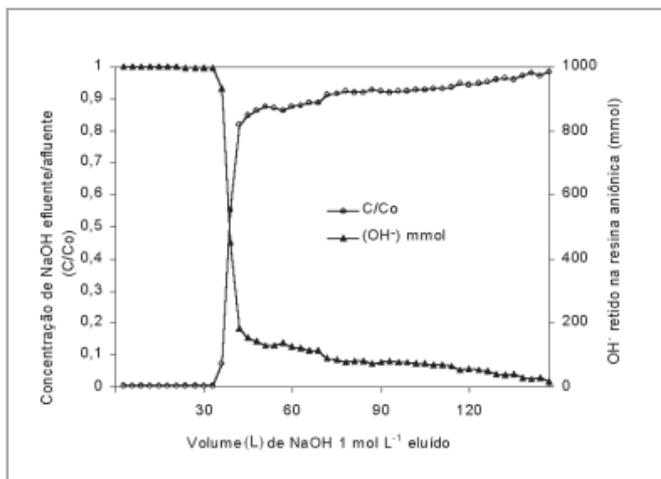


Figura 3. Regeneração da resina aniônica à forma OH observada em teste realizado no Sistema 2 de produção de água desionizada.

produzida e fornecida para alguns laboratórios da instituição. Ele é dotado de controlador automático que aciona a luz UV e a bomba em intervalo estipulado de 10 minutos a cada hora. Assim sendo, amostras de água foram armazenadas nos três recipientes ocupando metade da capacidade de armazenamento de cada um. Num primeiro ensaio, a água foi coletada no instante de produção e, no segundo, foi coletada da caixa de abastecimento localizada na Casa de Vegetação do CENA/USP.

Os resultados obtidos, verificados na Tabela 2, ressaltam a significativa redução (99,9 %) no crescimento bacteriano na água armazenada no recipiente em inox, tanto quando armazenada água isenta de microorganismos quanto no segundo teste, no qual a água armazenada já continha inicialmente $4,3 \times 10^4$ UFC ml^{-1} . Quanto à condutividade e pH, pouca variação foi verificada no período de armazenamento testado.

Ressalta-se ainda que, para distribuir água no interior da Casa de Vegetação do CENA/USP, onde a central de produção foi construída, vários pontos internos de distribuição foram instalados. Ao mesmo tempo, para atender à demanda dos laboratórios, externamente à Casa de Vegetação, também foram construídos pontos de distribuição, onde carrinhos e recipientes apropriados para o transporte de água até os laboratórios foram disponibilizados.

Regeneração das resinas

Após a saturação das resinas no Sistema 2, avaliou-se a regeneração empregando-se soluções de HCl e NaOH 1 mol L^{-1} , nas resinas catiônica e aniônica, respectivamente, em fluxo de 300 mL min^{-1} . Nesse sistema, pôde-se determinar que as colunas de resina aniônica e catiônica apresentam volume aproximado de 35,8 e 35,6L, respectivamente, quando saturadas com OH⁻ (aniônica) e H⁺ (catiônica) e equilibradas em água.

A verificação do nível de regeneração dos sítios ativos da resina aniônica à forma R-OH⁻, realizada através da titulação de

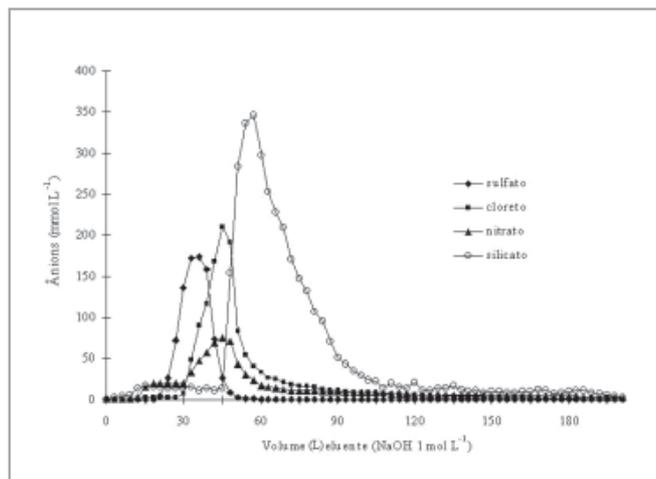


Figura 4. Principais íons identificados na etapa de regeneração da resina aniônica empregando como solução eluente NaOH 1 mol L^{-1}

amostras coletadas a cada 3 litros de solução eluída, mostrou que, a partir da 11ª amostra coletada (referente a 33L de solução eluída), aumentou acentuadamente a eluição de íons OH⁻ (Figura 3). Entretanto, embora reduzida a relação de troca iônica, continuou-se a regeneração até a retirada da 50ª amostra (150L de solução eluída). A eluição dos ânions utilizando solução de NaOH 1 mol L^{-1} é boa, pois consegue-se eluir os ânions com 150L dessa solução em 35,8L de resina, o que significa 4,1VL (volume leito), representando um bom resultado na troca iônica.

Foram então analisadas as concentrações de SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- e SiO_4^{4-} nessas amostras, onde foi possível observar os picos das eluições desses ânions entre 30 e 90L de solução eluída (Figura 4). Tentou-se analisar BO_3^- , mas as baixas concentrações desse ânion impediram a aquisição de resultados confiáveis. Pode-se verificar que o procedimento adotado (volume e concentração da solução regenerante) permitiu a completa regeneração dos sítios ativos da resina à forma hidroxila (R-OH⁻).

Na regeneração dos sítios da resina catiônica à forma H⁺ (R-H⁺) foi inicialmente empregada como solução eluente HCl 1 mol L^{-1} . Entretanto, como pode ser visto na Figura 5, após utilizados 150L dessa solução como regenerante, ainda continuavam sendo detectadas elevadas concentrações de cálcio nos últimos volumes amostrados do eluído. Essa observação permitiu concluir que se fazia necessário aumentar a concentração ou o volume do ácido empregado para obter a completa regeneração do sistema. Assim sendo, noutro teste realizado empregou-se como solução eluente HCl 2 mol L^{-1} . Como pode ser visto na Figura 6, os resultados obtidos permitem avaliar que nessa nova condição a regeneração foi realizada com êxito (VL = 4,2).

Os custos com reagentes (HCl e NaOH) para a completa regeneração das resinas, tendo como base o sistema 2, foram em torno de R\$ 120,00, o que representa R\$ 15,00 m^{-3} de água produzida.

É importante frisar que os resíduos gerados durante a regeneração das resinas são devidamente neutralizados, antes de serem descartados na rede pública de coleta de esgoto.

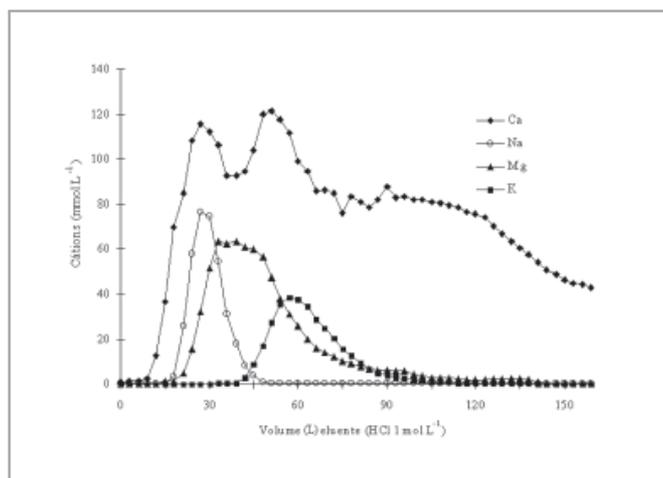


Figura 5. Principais íons identificados na etapa de regeneração da resina catiônica empregando como solução eluente HCl 1 mol L⁻¹

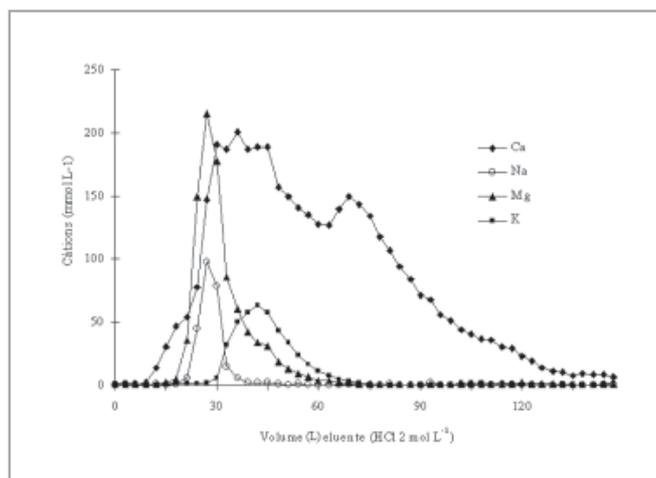


Figura 6. Principais íons identificados na etapa de regeneração da resina catiônica empregando como solução eluente HCl 2 mol L⁻¹

Conclusões

A interpretação dos resultados permite concluir que, através do emprego de colunas preenchidas com resinas de troca-iônica, é possível a obtenção de água de excelente qualidade (química e microbiológica), em larga escala de produção, para uso em laboratórios. Considerando-se os três sistemas em plena capacidade de operação, pode-se produzir 5m³ dia⁻¹ de água desmineralizada. Apenas como ilustração, vale ressaltar que em um único destilador (56.000 watts), que atendia à demanda da Casa de Vegetação do CENA/USP, operava em condições que permitiam a produção de 640mL min⁻¹ de água e consumia 21.000L min⁻¹ de água de refrigeração (relação 1:33). Por outro lado, a recuperação de água é superior a 90% no novo sistema

implementado. A substituição completa dos destiladores da Instituição deve gerar economia da ordem de R\$ 140.000,00. Na atualidade, a economia de água e energia já atinge R\$ 75.000,00 anualmente.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio à pesquisa (INFRA V) e bolsa modalidade Treinamento Técnico fornecida ao estudante Gleison de Souza, e à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa-auxílio concedida ao doutorando Glauco Arnold Tavares.

Referências

- Larsen TA, Gujer W. *The concept of sustainable urban water management*. **Water Science Technology**, v.35, n.9, p.3-10, 1997.
- Terspra PMJ. *Sustainable water usage systems: models for the sustainable utilization of domestic water in urban areas*. **Water Science Technology**, v.39, n.5, p.65-72, 1999
- Christen K. *Global freshwater scarcity: is privatization a solution?* **Environmental Science & Technology**, v.34, n.4, p.23A-28A, 2000.
- Novaes W. *Os conflitos pela água*. **O Estado de São Paulo**, 23/03/01, p.3
- <http://www.unesco.org.br>, acessada em Fevereiro de 2004.
- Neves CA., Gutz IGR, Lago CL. *Automatização de um destilador de água*. **Química Nova**, v.21, n.5, p.657-658, 1998.
- <http://www.bommer.com.br/Portugues/Osmose.htm>, acessada em Outubro de 2003.
- Nakicenovic N, Grubler A, Mcdonald A. *Global energy perspectives*. **Energy**, v.25, p.97-100, 2000.
- Martinot E. *Renewable energy investment by the World bank*. **Energy Policy**, v.29, p.689-699, 2000.
- Martinot E. *World bank energy projects in China: influences on environmental protection*. **Energy Policy**, v.29, p.581-594, 2001.
- Abrão A. *Operações de troca iônica*. IAG: São Paulo, 1972.
- Bendassolli JA, Trivellin PCO, Carneiro Jr. F. *Sistema desmineralizador de água de alta eficiência e baixo custo, utilizando resinas trocadoras de íons*. **Química Nova**, v.19, n.2, p.195-199, 1996.
- Gine Rosias MFG. *Análise por injeção em fluxo em espectrometria de plasma*. Piracicaba, 1995. 60p. Tese (Livre Docência) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- Zagatto EAG, Jacintho AO, Reis BF, Krug FJ, Bergamin Filho H., Pessenda LCR, Mortatti J, Gine MF. *Manual de análises de plantas e águas empregando sistemas de injeção em fluxo*. Piracicaba: CENA/USP, 1981. 45p.
- Cetesb. *Análises bacteriológicas da água*. São Paulo: Cetesb, 1988. 113p.
- Fadini PS, Jardim WF. *Storage of natural waters sample for total and reactive mercury analysis in PET bottles*. **Analyst**, v.125, p.549-551, 2000.