

## AVALIAÇÃO DA SALINIZAÇÃO DE AÇUDES NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO POR ICP-AES

José Soares dos Santos

Departamento de Ciências Naturais - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB - Estrada do Bem Querer km 4 - 45100-000 - Vitória da Conquista - BA

Elisabeth de Oliveira e Sérgio Massaro

Instituto de Química - Universidade de São Paulo - CP 26077 - 05513 - 970 - São Paulo - SP

Recebido em 22/3/99; aceito em 2/2/00

**EVALUATION OF THE SALT ACCUMULATION PROCESS IN WATER RESOURCES IN THE BRAZILIAN SEMI - ARID AREA BY ICP- AES. The salt accumulation process in some reservoirs of regular and irregular use (from 10 to 50 years of construction), located in the Southeast of Bahia State was evaluated. Inductively coupled plasma atomic emission spectrometry was used to evaluate the concentrations of Na, K, Ca and Mg in water samples from inside and upstream of the reservoirs. The results showed that for reservoirs of irregular use, the salt accumulation, indicated by the tracer Na, increases with the age of the reservoirs, however for the reservoirs of regular use the hydraulic retention time is the main parameter.**

**Keywords: salt accumulation; water resource; inductively coupled plasma atomic emission spectrometry.**

## INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos, em seu estado natural, possuem peculiaridades que a nível regional não permitem seu uso imediato pela sociedade. Sua variabilidade, quantitativa e qualitativa, exige a intervenção do homem, para transformação desses recursos, de modo a satisfazerem as demandas<sup>1,2</sup>.

O Nordeste brasileiro dispõe de recursos d'água irregularmente distribuídos no tempo e no espaço, em decorrência de fatores meteorológicos e geomorfológicos desfavoráveis, sendo necessárias medidas especiais para uso de suas potencialidades.

Nos cursos de água da região em estudo, Sudoeste do Estado da Bahia, tem sido praticado ao longo dos tempos a *açudagem*, que são pequenos, médios e grandes represamentos para estocar os recursos hídricos da época chuvosa (novembro - abril), propiciando seu aproveitamento na época seca (junho - outubro).

Os pequenos sistemas de acumulação, utilizados inicialmente apenas para suprimentos de água limitados, deram hoje lugar a imensos, complexos e sofisticados empreendimentos com objetivos e finalidades tão diversas como a geração de energia, a irrigação em grande escala, o lazer, a piscicultura, o abastecimento de água de centros urbanos de porte, controle de cheias, perenização de rios e outras. Infelizmente, essa interferência tem trazido consigo alguns impactos ambientais negativos e, em alguns casos em proporções desfavoráveis aos benefícios colhidos<sup>3</sup>. Muitas vezes, sem um planejamento global adequado, tais represamentos causam o desperdício e a degradação da qualidade da água, em virtude do aumento da concentração de espécies químicas dissolvidas. Este fenômeno, conhecido por salinização, é provocado pela evaporação favorecida através da diminuição do escoamento, aliado à formação de grandes espelhos d'água.

A Bacia do Rio de Contas, com área<sup>1,4</sup> de 55.335 km<sup>2</sup> a mais importante do Sudoeste da Bahia, é quase toda formada por terrenos cristalinos, onde os recursos de água subterrâneos são escassos. O aumento da disponibilidade hídrica tem sido efetivado pela ativação dos recursos de superfície, sendo que atualmente existem mais de duas dezenas de açudes de grande e médio porte, com uma capacidade disponível total de armazenamento de mais de dois bilhões de metros cúbicos de água,

da qual um volume significativo encontra-se com a qualidade deteriorada devido ao processo de salinização<sup>1,2</sup>.

A proposta deste trabalho é avaliar parâmetros indicativos do processo de salinização destes sistemas aquáticos visando fornecer dados para subsidiar medidas controladoras da dinâmica desse processo, através de um manejo adequado dos reservatórios.

Para estudar este fenômeno, foram escolhidos dois reservatórios artificiais (açudes) na Região de Vitória da Conquista, no Sudoeste do Estado da Bahia. Estes açudes, construídos sobre cursos de água da vertente oceânica, cujos fluxos são muito variáveis conforme a estação do ano: o *Anajé*, construído no final dos anos 80, visando regularizar o Rio Gavião e, o *Tremedal* construído na década de 1960, situado ao sul do anteriormente citado.

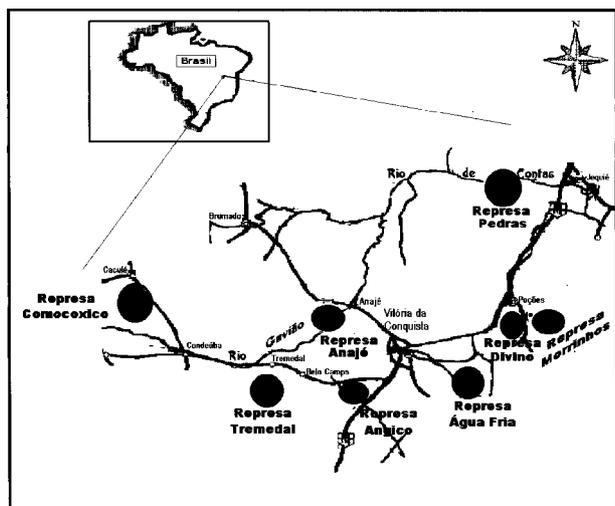
Foram realizadas determinações de Na, K, Ca e Mg em amostras de água coletadas nos reservatórios e seus afluentes, por espectrometria de emissão atômica acoplada com plasma de argônio induzido **ICP-AES**. Esta técnica tem ampla aplicação na determinação de metais em água, com a vantagem de detectar diversos elementos em quantidades maiores e menores, sem mudança nos parâmetros experimentais<sup>5-7</sup>.

Como estudo complementar para identificar a tendência da salinização a longo prazo em função da demanda das águas represadas, foram catalogadas as variações das concentrações de Na, Ca e Mg das águas de dois grupos de represas construídas a partir da década de 1940. As represas Comocoxico, Morrinhos, Pedras e Água Fria constituem um grupo de demanda regular e as represas Angico, Divino, Tremedal e Anajé constituem um grupo de demanda irregular, as quais foram construídas quase que exclusivamente para estocar água. Nestes dois grupos de represas foram avaliadas a importância dos parâmetros: tempo retenção hidráulica e idade das represas no processo de concentração das espécies químicas dissolvidas nos reservatórios.

## METODOLOGIA

### Localização

As represas Anajé, Comocoxico, Divino, Morrinhos, Pedras e Tremedal estão situadas na Bacia do Rio de Contas e as represas Água Fria e Angico na Bacia do Rio Pardo, (Figura 1).



**Figura 1.** Localização das represas: Represa em estudo: Anajé (avaliados 2 pontos a montante 3 pontos no corpo principal e 1 ponto a jusante); Represa Tremedal (avaliados 1 ponto a montante e 2 pontos no corpo principal). Represas catalogadas: Comocoxico, Divino, Morrinhos, Pedras e Água Fria (foram avaliados dados do corpo principal das represas).

### Coleta

As coletas das amostras de água das represas Tremedal, Anajé e seus afluentes, foram realizadas em datas de acordo com a distribuição anual de chuvas da região. Foram realizadas quatro coletas: duas no início da estação chuvosa 03/12/95 e 15/01/96, uma no final do período chuvoso 31/03/96, e a última no apogeu da estação seca 10/07/96.

A coleta foi realizada a uma distância de 2 m da margem mergulhando-se frascos plásticos de água mineral previamente enxaguados com a água do recurso hídrico em estudo, até a profundidade de 50 cm, de acordo com recomendações da Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB)<sup>8</sup>. Posteriormente, as amostras foram armazenadas a baixa temperatura, até a efetivação da análise<sup>1</sup>.

Na Represa Tremedal, foram avaliados dois pontos no principal corpo d'água e um ponto a montante no Rio Ressaca, seu principal formador. Durante o período da realização deste trabalho, a represa ficou com sua descarga fechada devido aos baixos índices de armazenamento de água, de modo que não foi feita a avaliação à jusante. Na Represa Anajé a avaliação à montante foi feita no Rio Gavião seu principal formador e no Rio Riachão afluente secundário. Nesta represa, foram avaliados três pontos no corpo principal e um ponto do efluente a jusante da mesma.

**Tabela 1.** Concentrações de sódio, potássio, cálcio e magnésio em mM e condutividade elétrica (CE) em  $\mu\text{S}/\text{cm}$  das água das represas de demanda irregular Angico, Divino, Tremedal e Anajé e das represas de demanda regular Comocoxico, Morrinhos, Pedras e Água Fria.

Represa	Angico	Divino	Tremedal	Anajé	Comocoxico	Morrinhos	Pedras	Água Fria
Conclusão	1952	1957	1967	1986	1948	1957	1970	1982
C.E.	1400	1200	800	370	180	240	380	100
Na	6,78	6,08	$2,43 \pm 0,01$	$1,39 \pm 0,01$	0,48	0,91	1,26	0,17
K	—	—	$0,39 \pm 0,01$	$0,16 \pm 0,01$	0,30	0,15	0,45	0,08
Ca	1,20	1,40	$0,8 \pm 0,01$	$0,55 \pm 0,01$	0,29	0,25	0,49	0,04
Mg	2,20	1,19	$1,28 \pm 0,01$	$0,70 \pm 0,01$	—	—	—	—

(—) Não foram realizadas as determinações.

As concentrações de Na, K, Ca e Mg das água dos reservatórios Anajé e Tremedal, foram obtidas a partir de três determinações. Os valores das concentrações destes elementos nas águas dos demais reservatórios foram catalogados a partir da referência (2), onde não constam informações sobre a precisão do método utilizado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação da dinâmica do processo de salinização nos reservatórios hídricos do sudoeste da Bahia foi feita através do estudo da variação das concentrações de Na, K, Ca e Mg dissolvidos nas águas dos reservatórios, comparada às concentrações destas mesmas espécies nas águas dos seus formadores.

A partir dos resultados da coleta de dezembro de 1995, observou-se que as águas de montante das duas represas apresentaram medidas de condutividade aproximadamente iguais ( $379$  e  $369 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) consideradas águas de salinidade média e valores de pH ao redor de 8 (7,8 e 8,2), além de teores muito similares de sódio ( $8,0$  a  $9,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ ), potássio ( $2,0$  a  $3,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ ), cálcio e magnésio (cada um ao redor de  $6,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ ).

Os altos valores de pH medidos no Reservatório Tremedal provavelmente estão associados à elevada dureza da água que apresenta valores em torno de  $206 \text{ mg L}^{-1}$ . Estes elevados valores também foram observados nas medidas realizadas pela Empresa de Saneamento do Estado da Bahia - EMBASA no ano de 1990 (março 7,4; junho 8,5 e julho 7,4) e nas medidas realizadas no ano de 1997 (janeiro 8,5; julho 8,5 e dezembro 9,1). Os elevados valores históricos de pH medidos nos recursos hídricos em estudo, estão compreendidos dentro da faixa de valores apresentados pela literatura, que apresentam valores de pH (7,0 a 9,0), em águas de rios e reservatórios de dureza elevada<sup>9</sup>.

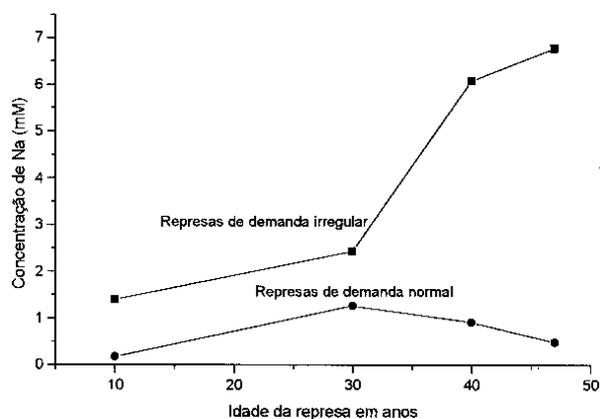
No corpo principal de ambas as represas (Tabela 1) os teores de sódio, potássio, cálcio e magnésio avaliados em pontos distintos, apresentaram-se concordantes, embora apreciavelmente diferentes em um e outro caso. Em Tremedal, a mais antiga, o processo de salinização é indicado pelo fato dos teores de sódio, potássio e magnésio serem cerca de 100% maiores que em Anajé. Devem-se observar que em Anajé, os teores destas espécies não diferem significativamente dos respectivos teores medidos nas águas dos afluentes de montante, não havendo nítidos indícios do processo de salinização.

Com relação a cálcio, deve-se observar que o teor desse elemento é apenas cerca de 25% maior em Tremedal do que em Anajé. Em Anajé o cálcio tem comportamento similar ao sódio, potássio e magnésio, não mostrando enriquecimento em confronto com os afluentes de montante.

No processo de interação entre a atmosfera e um reservatório de água superficial, o  $\text{CO}_2$  presente na atmosfera entra em equilíbrio com o  $\text{CO}_2$  na fase aquosa e após a dissolução em água ocorre a reação  $\text{CO}_{2(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$ , a seguir o ácido carbônico formado dissocia-se em duas etapas  $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$  e  $\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$ . A concentração do  $\text{CO}_3^{2-}$  livre depende do pH do meio, em consequência o teor de  $\text{Ca}^{2+}$  livre ou precipitado sob a forma de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), torna-se uma função explícita do pH<sup>10-14</sup>. No pH medido na represa Tremedal ao redor de 8,5, fato observado em águas superficiais de elevada dureza, deve ocorrer em alguma extensão o fenômeno de retirada de íons  $\text{Ca}^{2+}$  da água para o sedimento sob a forma de  $\text{CaCO}_3$ <sup>9,14</sup>.

A tendência da salinização em função da demanda das águas represadas, foi avaliada com auxílio da dinâmica das concentrações do Na, Ca e Mg em dois grupos de represas. Os reservatórios Comocoxico, Morrinhos, Pedras e Água Fria apresentam uma demanda regular em sua água represada, e os reservatórios Angico, Divino, Tremedal e Anajé apresentam uma demanda irregular. Os resultados obtidos estão representados na Tabela 1.

Avaliando os dados apresentados na Tabela 1, observa-se que nas represas construídas sem um planejamento adequado, onde a demanda da água tornou-se insignificante em relação ao estoque, o processo de salinização está sendo favorecido como mostra a Figura 2 onde, a curva que representa as represas de demanda irregular apresenta uma tendência do aumento da concentração do sódio nas águas dos reservatórios, relacionada com o tempo de represamento da água. Entretanto, no grupo de represas de demanda normal, este fato não foi observado.



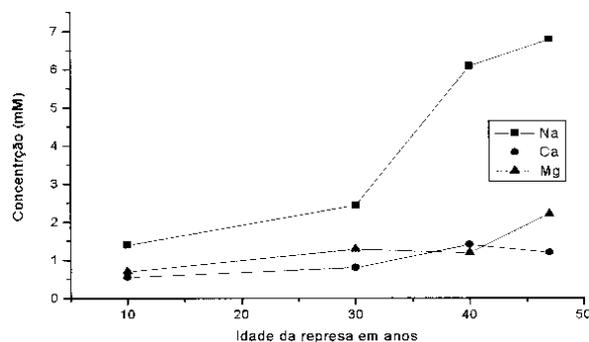
**Figura 2.** Variação da concentração de sódio em dois grupos de represas, construídas em diferentes épocas, sendo um grupo (Comocoxico, Morrinhos, Pedras e Água Fria) de demanda normal e outro grupo (Angico, Divino, Tremedal e Anajé) de demanda irregular da água represada.

O avanço do processo de salinização em represas de demanda irregular, fica evidente ao se comparar os dados dos reservatórios Divino e Morrinhos, que foram construídos no mesmo ano 1957, suas localizações são próximas, conforme mostra a Figura 1, entretanto, as águas de seus reservatórios possuem características bem diferentes. A água da represa Morrinhos por ser utilizada para abastecimento da cidade de Poções, possui uma demanda normal de seu reservatório, esta água apresenta condutividade elétrica em torno de  $240 \mu\text{S cm}^{-1}$  e teores de Na, Ca e Mg de  $0,90 \text{ mM}$ ,  $0,15 \text{ mM}$  e  $0,25 \text{ mM}$ , respectivamente. No entanto, a represa Divino por possuir uma demanda irregular as suas águas apresentam condutividade elétrica de  $1200 \mu\text{S cm}^{-1}$  e teores de Na, Ca e Mg  $6,08 \text{ mM}$ ,  $1,40 \text{ mM}$  e  $1,19 \text{ mM}$ , respectivamente. Observa-se assim, um aumento de aproximadamente seis vezes nas medidas da condutividade elétrica e nos teores de sódio em Divino quando comparado com Morrinhos, indicando um drástico avanço do processo de salinização na represa Divino, uma vez que CE de  $1500 \mu\text{S cm}^{-1}$  corresponde a aproximadamente uma concentração de  $1 \text{ g L}^{-1}$  de sais dissolvidos<sup>19</sup>.

A possibilidade de uso das águas para irrigação, necessita da avaliação das classes de risco de salinização do solo, como recomendado pelo laboratório Riverside quais sejam: Classe C1: risco baixo: CE inferior a  $250 \mu\text{S cm}^{-1}$ ; Classe C2: risco moderado: CE de  $250$  a  $750 \mu\text{S cm}^{-1}$ ; Classe C3: risco médio: CE de  $750$  a  $2250 \mu\text{S cm}^{-1}$ ; Classe C4: risco alto: CE de  $2250$  a  $5000 \mu\text{S cm}^{-1}$ ; Classe C5: não apropriadas para o uso em irrigação: CE superior a  $5000 \mu\text{S cm}^{-1}$ <sup>2,16-19</sup>. Devido ao processo de salinização, a deterioração

da qualidade das águas dos reservatórios Angico, Divino e Tremedal de demanda irregular sendo classificadas pelo índice Riverside como C3 para irrigação. Fica evidente que estas águas não apresentam boas qualidades para o uso em irrigação, devido ao perigo de salinização do solo. Entretanto, das águas dos reservatórios de demanda regular, somente as do reservatório Pedras apresentam um risco moderado (C2) na salinização do solo, as águas dos reservatórios (Comocoxico, Morrinhos e Água Fria) apresentam boas qualidades para o uso em irrigação (C1).

A Figura 3 mostra que os teores de cálcio e magnésio não evoluíram na mesma proporção do sódio com relação ao tempo de represamento das águas, provavelmente, devido ao fenômeno de remoção desses elementos da solução como observado na represa Tremedal. Ficando assim evidente que cálcio e magnésio não se constituem parâmetros ideais para a medida de salinidade em reservatórios hídricos artificiais.



**Figura 3.** Variação da concentração de sódio, cálcio e magnésio em represas (Angico, Divino, Tremedal e Anajé) de demanda irregular construídas em épocas diferentes.

A Tabela 2 apresenta o tempo de retenção hidráulica, parâmetro importante na informação do período de residência de espécies, tais como o sódio em reservatórios hídricos de demanda regular.

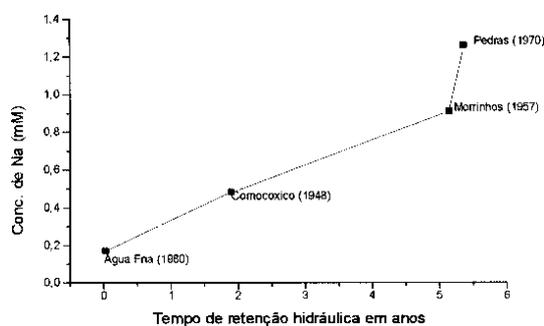
**Tabela 2.** Tempo de retenção hidráulica em anos das represas Comocoxico, Morrinhos, Pedras e Água Fria (Demanda Regular)

Represa	Ano de Conclusão	Capacidade $\text{m}^3$	vazão $\text{m}^3/\text{s}$	Tempo de Retenção Anos
Comocoxico	1948	1.500.000	0,025	1,9
Morrinhos	1957	3.110.400	0,0185	5,14
Pedras	1970	1.690.000.000	10	5,36
Água Fria	1980	3.000.000	0,35	0,05

A Figura 4 mostra que nas represas de demanda regulares, o parâmetro que governa o processo de salinização, aqui indicado pelo aumento da concentração do sódio nas águas é a relação capacidade do reservatório/ vazão, pois quanto maior o valor desta relação maior o tempo de retenção da solução no reservatório, favorecendo assim o processo de concentração por evaporação dos elementos presentes.

## CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo mostraram que as represas construídas sem um planejamento adequado, com a finalidade de somente estocar água, estão se constituindo em objetos de deterioração dos recursos hídricos, devido a concentração por evaporação dos elementos presentes em solução.



**Figura 4.** Variação da concentração do sódio em relação ao tempo de retenção das represas (Comocoxico, Morrinhos, Pedras e Água Fria) de demanda regulares.

Nas represas de demanda regular, observa-se que o parâmetro que governa a variação da concentração das espécies químicas dissolvidas não é a idade das represas como ocorrem nos reservatórios de demanda irregular, mas o tempo de retenção hidráulica.

Nas represas de demanda irregular a salinização, indicada pelo aumento de concentração de sódio, cresce de acordo com a idade dos reservatórios, sendo por isso adequada como indicador do processo de salinização nos reservatórios hídricos superficiais.

As relações entre sazonalidade, pH e concentração dos elementos, de forma geral, demonstra a influencia do valor do pH nas concentrações da Ca e Mg, nas águas dos reservatórios, principalmente quando as concentrações estão próximas dos limites de saturação

Sugere-se desta forma a possibilidade de recuperar as represas salinizadas, através do controle da vazão defluente, tendo em vista que as saídas dos reservatórios se fazem através das infiltrações, das retiradas de água para qualquer forma de uso e da evaporação. Destas três saídas, as duas primeiras exportam conjuntamente água e sais na concentração de momento, enquanto a evaporação retira somente água e concentra a solução restante, assim de acordo com as proporções das três saídas, a evolução salina poderá ser muito diferente<sup>16-22</sup>.

## REFERÊNCIAS

- Santos, J. S. dos; *Dissertação de Mestrato*, Instituto de Química USP, São Paulo, 1997.
- Centro de Estatística e Informações (Bahia); *Açudes Públicos da Bahia; Disponibilidade hídrica em Resevatórios de Grande e Médio Porte*, CEI, Salvador, 1984.

- Branco, S. M., Porto, R. L. L., Cleary, R. W., Coimbra, R. M., Eiger, S., Luca, S. J., Nogueira, V. P. Q., e Porto, M. F. A.; *Hidrologia Ambiental*, Edusp, São Paulo, 1991. p165 – 208.
- Maksoud, H.; *Hidrologia e Possibilidades Hidroenergéticas da Bacia do Rio de Contas*, na Bahia, IBGE, Rio de Janeiro, 1964.
- Moore, G. L.; *Introduction to Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry*, Analytical Spectroscopy Library, Elsevier, New York, 1989. vol 3; p 340.
- Yabe, M. J. S.; *Tese de Doutorado*, Instituto de Química USP, São Paulo, 1995.
- Boumans, P. W. J. M.; *Inductively Coupled Plasma Emission Spectroscopy*. John Wiley, New York, 1987; p 486.
- Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água da Cetesb, Cetesb, São Paulo, 1987.
- Raiswell, R. W., Brimblecombe, P., Dent, D. L. and Liss, P. S.; *Environmental Chemistry*, Ediciones Omega, Barcelona, 1983, p 208.
- Boiley, R. A., Clark, H. M., Ferris, J. P., Krause, S. and Strang, R. L.; *Chemistry of the Environment*, New York, 1978; p 383 - 384.
- Nishihara, L.; *Dissertação de Mestrado*, São Paulo, Universidade de São Paulo, 1981.
- Westall, J and Stumm, W.; *The Natural Environment and the Biogeochemical Cycles. The Hydrosphere*, New York, 1984. P 19-48.
- Guenther, W. B.; *Quantitative Chemistry Measurements and Equilibria*, Addison Wesley, London, 1968; p 400.
- Morel, F. M. M. and Hering, J. G.; *Principles and Applications of Aquatic Chemistry*, John Wiley, New York, 1993; p 588.
- Robbins, C. W. and Meyer, W. S.; *J.Sail-Res* **1990**, 28, 1001.
- Suassuna, J.; *C. Hoje* **1994**, 18, 38.
- Laraque, A.; *Estudo e previsão da qualidade química da água dos açudes do Nordeste semi-árido Brasileiro*. SUDENE, Recife, 1989; p 95.
- Manahan, S. E.; *Fundamentals of Environmental Chemistry*, Lewis Publishers, London, 1993; p 844.
- Audry, P. e Suassuna, J.; *A Salinidade das Águas Disponíveis para a Pequena Irrigação no Sertão Nordestina*, CNPq, Recife, 1995.
- Moreli, I., Gimény, E. and Esteller, M. V.; *Sci. Total Environ.* **1996**, 177, 167.
- Org.,C. G., Tonji, K. K., Dohlgren, R. A., Smith, G.R. and Quek, A. F.; *J. Agric. Food Chem.* **1995**, 43, 1941.
- Stumm, W. and Morgan, J. J.; *Aquatic Chemistry: an Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters.*, Wiley Interscience, New York, 1979; p 429.