

Ana Célia Maia Meireles, Horst Frischkorn, Eunice Maia De Andrade  
Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, bacia do Acaraú, no Semi-Árido cearense  
Revista Ciência Agronômica, vol. 38, núm. 1, 2007, pp. 25-31,  
Universidade Federal do Ceará  
Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195317477004>



*Revista Ciência Agronômica*,  
ISSN (Versão impressa): 0045-6888  
ccarev@ufc.br  
Universidade Federal do Ceará  
Brasil

Como citar este artigo

Fascículo completo

Mais informações do artigo

Site da revista

## Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, bacia do Acaraú, no Semi-Árido cearense<sup>1</sup>

Seasonal quality changes in waters from Edson Queiroz dam, Acaraú basin, in the  
semiarid of Ceará

Ana Célia Maia Meireles<sup>2</sup>, Horst Frischkorn<sup>3</sup> e Eunice Maia de Andrade<sup>4</sup>

**Resumo** - O açude Edson Queiroz (com 251 hm<sup>3</sup>) está localizado na bacia do rio Acaraú, Norte do estado do Ceará, no semi-árido do Nordeste brasileiro. Durante dezembro de 2002 e dezembro de 2003 foram coletadas amostras mensais das águas liberadas para irrigação, capturadas no fundo do reservatório (válvula de liberação), para análise de  $\delta^{18}\text{O}$ , CE e Cl. Na estação chuvosa foi observada uma forte estratificação no reservatório causada pela submersão das águas de recarga mais frias do que aquelas estocadas. A estratificação persistiu em torno de 5 meses devido aos fracos ventos e a redução da amplitude térmica diária durante a estação chuvosa. Embora o açude tenha apresentado uma baixa salinidade (CE máxima de 460  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) para o padrão regional, o fenômeno da estratificação gerou uma grande variação sazonal na qualidade da água utilizada para a irrigação.

**Termos para indexação:** estratificação, oxigênio-18, açude Edson Queiroz

**Abstract** - The Edson Queiroz Dam (251 hm<sup>3</sup>) is located in the Acaraú river basin of Ceará State, in the semi-arid Northeast of Brazil. During December 2002 to December 2003 monthly samples were taken for analyses of  $\delta^{18}\text{O}$ , CE and Cl in the water released for irrigation, captured at the bottom of the reservoir. After the rainfall period, a strong stratification has been observed caused by submerging recharge waters that are colder than those stored. Stratification persisted for about five months due to weak winds and reduced daily thermal amplitude during this season. Even though salinity (with maximum EC observed of 460  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) is low by regional standards, the phenomenon imposes a large amplitude on seasonal water quality changes for irrigation.

**Index terms:** stratification, oxygen-18, Edson Queiroz dam

---

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 02/05/2006; aprovado em 21/09/2006.

Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor – CT/DEHA/UFC, pesquisa financiada pelo PRODETAB

<sup>2</sup> Eng. Agrônoma, aluna de Doutorado em Eng. Civil/Recursos Hídricos, CT/UFC, CE, e-mail: [ameireles2003@yahoo.com.br](mailto:ameireles2003@yahoo.com.br), Av. dos Expedicionários 4774, apto 201, Benfica. CEP:60.410-410, Fortaleza-Ce

<sup>3</sup> Físico, D.Sc, Prof. Adjunto do Dep. de Eng. Hidráulica e Ambiental, CT/UFC, e-mail: [cariri@ufc.br](mailto:cariri@ufc.br)

<sup>4</sup> Eng. Agrônoma, Ph.D., Prof. Adjunta do Dep. de Eng. Agrícola, CCA/UFC, CE, e-mail: [eandrade@ufc.br](mailto:eandrade@ufc.br)

## Introdução

Marcado pelas condições de semi-aridez, o estado do Ceará foi o pioneiro no Nordeste brasileiro na instalação da política de açudagem. Os reservatórios de fundamental importância sócio-econômica para a região, tinham inicialmente como principal função o armazenamento das águas para o consumo humano e animal. Nas últimas décadas, reservatórios de médio e grande porte instalados no Estado são utilizados para os mais diferentes objetivos e finalidades, tais como o desenvolvimento da piscicultura, para o aumento da produção de proteína na região e, principalmente, a regularização da vazão de importantes cursos d'água que possibilitam o desenvolvimento de grandes empreendimentos nos pólos agrícolas distribuídos por todo o estado (Teixeira, 2004; Melo, 2005).

A água estocada em reservatórios superficiais sofre alterações na sua qualidade causadas por processos físicos (principalmente, por evaporação, que consome em torno de 40% da água dos reservatórios do Nordeste), químicos (reações, dissolução e precipitação) e biológicos (crescimento, morte e decomposição). Neste contexto, a estratificação tem um papel importante. A água pode acumular e dissipar calor de modo lento e gradativo. Em decorrência da estação do ano, o perfil vertical da temperatura nos reservatórios sofre mudanças que afetam a densidade da água, a capacidade de mistura e, por isso, a estratificação do corpo d'água. Fatores como localização geográfica, ação dos ventos, vazões de entrada e saída e geometria do reservatório também podem influenciar na retenção de calor (Nogueira, 1991).

Em geral, os reservatórios abertos (lagos, açudes e represas) ganham calor nos períodos quentes (sejam eles diário ou anual) e o perdem nos períodos mais frios. Quando há aquecimento, forma-se na coluna d'água camadas com temperaturas diferentes (estratificação térmica): uma camada mais superficial (epilímnio) na qual a temperatura é mais elevada devido à radiação solar, que torna a densidade de massa menor; uma camada de transição (metalímnio) e uma outra camada mais profunda (hipolímnio), onde a temperatura é menor e a densidade maior. No período mais frio, a perda de calor para a atmosfera desfaz essas camadas e provoca mistura das águas (circulação) que, praticamente, uniformiza a temperatura em todas as profundidades (Tundisi et al., 1984; Nogueira, 1991; Cleto Filho, 2006).

Dependendo do grau de trofia formado no reservatório, poderá haver ausência completa de oxigênio dissolvido no hipolímnio, predominância de compostos reduzi-

dos e tendência de maior concentração de cátions e ânions nesta camada. A mudança na temperatura e o completo revolvimento das águas causado pela inversão térmica no processo de desestratificação podem provocar, durante a homogeneização destes elementos em toda a massa d'água, uma deterioração na qualidade d'água no restante do reservatório. Em alguns casos, a redução da concentração de oxigênio dissolvido, bem como a ressuspensão da camada anaeróbia do fundo afeta diretamente muitos organismos aquáticos, podendo até mesmo, causar a mortalidade de peixes (Bollmann et al., 2005; Von Sperling, 2006).

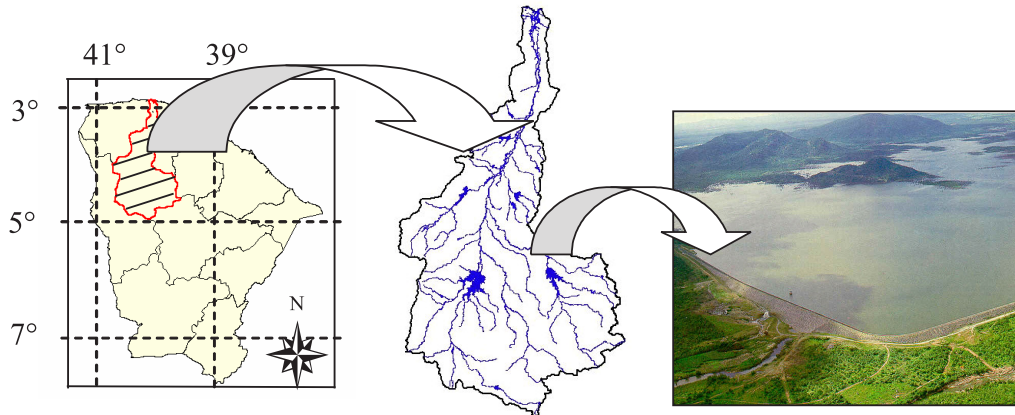
Nos últimos anos, a hidrologia isotópica tem se utilizado dos isótopos ambientais como ferramentas para avaliar problemas ligados ao ciclo hidrológico. O isótopo mais utilizado é o oxigênio-18, que naturalmente constitui a molécula da água. O isótopo apresenta sensibilidade aos processos físico-químicos como evaporação, condensação, diluição e mistura das águas, colaborando na identificação dos principais mecanismos atuantes no funcionamento dos reservatórios (Clark & Fritz, 1997).

A composição do oxigênio e a sua abundância natural ( $^{16}\text{O}$  com 99,7%,  $^{17}\text{O}$  com 0,037% e  $^{18}\text{O}$  com 0,2%) variam levemente. O grau de enriquecimento ou empobrecimento em  $^{18}\text{O}$  é quantificado através do “ $\delta$  per mil” ( $\delta^{18}\text{O} \text{‰}$ ), definido pela razão  $[(R_a - R_p)/R_p] \times 10^3$ , onde  $R_a$  é a razão  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  na amostra e  $R_p$ , na água padrão VSMOW - Vienna Standard Mean Ocean Water (IAEA, 2005). Nesta nomenclatura, a água do Mar tem valor de  $\delta$  aproximadamente “zero”, as águas pluviais têm valores negativos e as águas sob evaporação, que são objeto do nosso estudo, sofrem enriquecimento em  $^{18}\text{O}$  e apresentam valores de  $\delta$  maiores que nas águas pluviais. Desta maneira, através do  $^{18}\text{O}$  distingue-se entre as águas do açude (expostas à evaporação) e as águas da renovação.

Nesta pesquisa avaliou-se a dinâmica da água do açude Edson Queiroz, reservatório de grande importância para a perenização do rio Acaraú, através da composição isotópica ( $^{18}\text{O}$ ) de suas águas, em conjunto com a condutividade elétrica e a concentração do cloreto, com relação ao ciclo anual da salinidade, da estratificação e da desestratificação.

## Material e Métodos

Na pesquisa estudou-se a água do açude Edson Queiroz, localizado no município de Santa Quitéria, bacia do Acaraú, na região Norte do estado do Ceará, a cerca de 250 km de Fortaleza (DNOCS, 2004). A barragem, construída sobre o rio Groaíras, está inserida em uma bacia



**Figura 1** – Localização do açude Edson Queiroz (Foto Fonte: DNOCS, 2004)

hidrográfica de 1.765 km<sup>2</sup>. Sua bacia hidráulica possui 26,6 km<sup>2</sup>, correspondendo a um volume de 251 hm<sup>3</sup> de água represada (Figura 1).

A Tabela 1 apresenta parâmetros geométricos do açude Edson Queiroz e, para comparação, do açude Cedro (fortemente salinizado), que são de importância na avaliação da qualidade da água, especificamente, com relação ao problema de salinização. As razões entre as áreas da bacia hidráulica (a) e da bacia contribuinte (A) e entre o volume acumulado (V) e a bacia contribuinte (A) do reservatório estão relacionadas com a capacidade de renovação de suas águas. Quanto maior estas razões, menor a capacidade de renovação das águas e maior o perigo de salinização. A razão entre o volume acumulado (V) e a área da bacia hidráulica (a) está ligada à profundidade média do reservatório e, conseqüentemente, a sua tendência em concentrar sais por evaporação. Em geral, quanto maior seu valor, menor é a concentração salina do reservatório.

O açude Edson Queiroz tem como finalidade complementar às disponibilidades hídricas de uma rede de irrigação instalada na bacia do Acaraú (Sistema Araras), permitindo a implantação de até 30.000 ha de área irrigada; o controle de enchentes do rio Acaraú; o abastecimento doméstico e do complexo minero-industrial de urânio, a

ser implantado no município vizinho, Itaitaia, e a perenização do rio Acaraú.

O reservatório está inserido na zona mais árida da bacia do Acaraú apresentando, na classificação de Köppen, clima do tipo BSw'h' (clima quente e semi-árido), com precipitação média anual inferior a 800 mm. De acordo com as Normas Climatológicas (BRASIL, 1992) para a estação de Sobral, a região apresenta na estação seca (julho a janeiro) uma temperatura média de 26,8°C, com máxima média de 34,7°C e mínima média de 22,1°C e, ainda, evaporação potencial média mensal de 197 mm. Na estação chuvosa (fevereiro a junho), a temperatura média é de 26,4°C, com máxima média de 31,4°C e mínima média de 22,0°C e, ainda, evaporação potencial média mensal de 108 mm. Os ventos durante a estação seca predominam de direção SE, com valores variando de 2,6-3,7 m.s<sup>-1</sup>. Na estação chuvosa predominam de direção NE, variando de 1,7-2,5 m.s<sup>-1</sup> (SRH, 1992).

As amostras de água foram coletas no período de dezembro de 2002 a dezembro de 2003, na válvula de liberação da água do açude, para representar a qualidade da água que é usada para a irrigação e perenização do rio Acaraú.

Os parâmetros analisados foram: condutividade elétrica (CE), concentração de cloreto (Cl<sup>-</sup>) e oxigênio-18 (δ<sup>18</sup>O). As análises de CE e Cl<sup>-</sup> foram realizadas no Laboratório de Solo e Água da EMBRAPA-Agroindústria Tropical, em Fortaleza, segundo a metodologia de Richards (1954), enquanto, as análises de <sup>18</sup>O foram realizadas no Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA/USP, em Piracicaba, utilizando espectrometria de massa para δ<sup>18</sup>O, com erro de ≈ 0,1‰. Para ver detalhes do método pode ser consultada literatura especializada, e.g., Clark & Fritz (1997) e IAEA (2005).

**Tabela 1** – Parâmetros geométricos definidos através da área da bacia hidráulica (a), da área da bacia contribuinte (A) e do volume do reservatório (V) para os açudes Edson Queiroz e Cedro

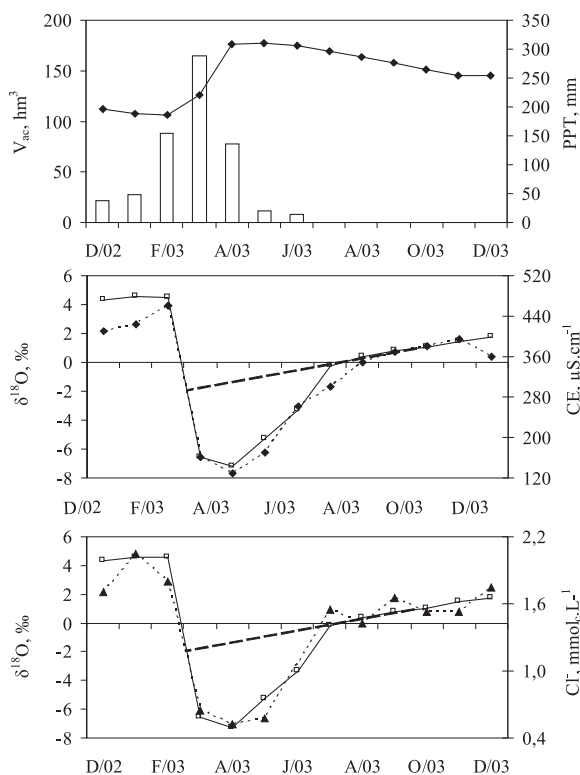
Parâmetros Geométricos	Açudes	
	Edson Queiroz	Cedro
a / A (%)	1,5	9,6
V/A (mm)	142,0	556,0
V/a (m)	9,4	6,0

## Resultados e Discussões

### Oxigênio-18

Na Figura 2 observa-se a evolução temporal do volume de água acumulado ( $V_{ac}$ ), da precipitação (PPT), da condutividade elétrica (CE), dos cloretos ( $Cl^-$ ) e do oxigênio-18 ( $\delta^{18}O$ ) para o açude Edson Queiroz.

Os parâmetros observados exibem uma sazonalidade muito forte. Na estação chuvosa de 2003, o volume do reservatório aumentou de 106,7 (42,5% da capacidade) para 175,97  $hm^3$  (70,1%) com uma imediata redução de CE, baixando de 460 para 170  $\mu S.cm^{-1}$ , atingindo em abril/2003 o seu valor mínimo de 130  $\mu S.cm^{-1}$ .



**Figura 2** – Açude Edson Queiroz: Variação temporal da precipitação (PPT), volume acumulado ( $V_{ac}$ ), oxigênio-18 ( $\delta^{18}O$ ), condutividade elétrica (CE) e do cloreto ( $Cl^-$ )

Simultaneamente, com a chegada das chuvas, empobrecidas em  $^{18}O$  em relação à água acumulada, o  $\delta^{18}O$  das águas liberadas pelo reservatório caiu bruscamente de aproximadamente +4,5‰ para -7,2‰ (abril/2003), valor este surpreendentemente baixo, considerando que o valor médio ponderado de  $\delta^{18}O$  na região é de -2 a -4‰ (IAEA, 1981), mesmo levando em conta chuvas de alta intensidade (“efeito de quantidade”) na estação chuvosa.

Segue de abril a julho, um aumento acentuado tanto para  $\delta^{18}O$  como para CE e  $Cl^-$ . A partir daí, até o final da época seca, registra-se um aumento lento e contínuo dos parâmetros observados. É notável que o crescimento das concentrações dos sais, medida pela CE, e do  $Cl^-$ , corresponde à redução do volume (enquanto as fortes mudanças entre abril e julho não se espelham na curva do volume acumulado em função do tempo).

Santiago (1984), estudando, em tanque “Classe A” exposto à evaporação durante a estação seca na bacia do Curu (região climaticamente semelhante à deste trabalho), a correlação de  $\delta^{18}O$  com a fração  $f$  de água remanescente ( $f = V/V_0$ , onde  $V$  é o volume atual e  $V_0$ , volume inicial), observou um crescimento praticamente linear de  $\delta^{18}O$  para valores de  $f$  entre 100% e 50%, encontrando a relação de  $\Delta\delta^{18}O/\Delta f = 1,3‰/10\%$ . Por ter sido realizado em outra bacia hidrográfica e em outro momento, a validade desta equação para a presente pesquisa é limitada, mas possibilita uma avaliação aproximada do estado evaporimétrico do açude estudado na bacia do Acaraú, do papel da evaporação na redução do volume estocado e do aumento da concentração salina.

Calculando-se o gradiente  $\Delta\delta^{18}O/\Delta f$  para o açude Edson Queiroz, verificou-se que na estação seca (de julho a dezembro) a variação de  $\delta^{18}O$  foi de 2‰ e a variação relativa de volume ( $\Delta f$ ) de  $\approx 15\%$ , equivalente a um gradiente  $\Delta\delta/\Delta f \approx 1,3‰/10\%$ . Este valor está de acordo com o resultado encontrado por Santiago em tanque, onde as perdas ocorrem exclusivamente por evaporação. Este comportamento pode ser observado em outros açudes do semi-árido nesta mesma época do ano, pois, neles, a evaporação é a principal causa de salinização (Queiroz, 2000; Suassuna, 2004). Identifica-se, então, esta parte da curva (Jul-Dez) como a resposta “normal” à evaporação em um reservatório homogêneo.

O rebaixamento drástico ocorrido entre fevereiro e abril e, o aumento rápido dos parâmetros  $\delta^{18}O$ , CE e  $Cl^-$  entre abril e julho, é considerado como indicativo de uma forte estratificação do reservatório nestes meses. Para testar esta hipótese foi realizado, sob pressuposto de um reservatório bem misturado, o cálculo de mistura ponderada das águas e determinado os valores de CE,  $Cl^-$  e  $\delta^{18}O$  para a água de recarga. Os valores determinados a partir das curvas encontradas (Figura 2) foram de -378  $\mu S.cm^{-1}$ , -1,43  $mg.L^{-1}$  e -25,35‰, respectivamente. Os valores negativos observados nos cálculos de mistura para CE e  $Cl^-$  não existem e o valor negativo de  $\delta^{18}O$ , nesta dimensão, é impossível de ocorrer na região. Conclui-se, portanto, que o pressuposto de um reservatório homogêneo é falso e que o corpo d’água

estudado apresenta-se altamente estratificado. Por outro lado, extrapolando a reta do “comportamento normal” (do reservatório bem misturado) para o mês de abril (mês com os menores valores de  $\delta^{18}\text{O}$ , CE e  $\text{Cl}^-$ ), como indicado nas figuras pela reta pontilhada, pode-se obter as propriedades aproximadas das águas de recarga, usando os valores de  $\text{CE} \approx 300 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ,  $\text{Cl}^- \approx 1,30 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  e  $\delta^{18}\text{O} \approx -1,2 \text{ ‰}$ . Refazendo o cálculo de mistura com estes valores, obteve-se para a água da renovação,  $\text{CE} \approx 54 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ,  $\text{Cl}^- \approx 0,53 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $18,7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) e  $\delta^{18}\text{O} \approx -9,98 \text{ ‰}$ . Neste caso, os valores são bastante razoáveis (embora  $\delta^{18}\text{O}$  tão baixa chama atenção, sendo possível somente para chuvas fortes e/ou massas úmidas que já perderam água em eventos precedentes; ver abaixo).

Estes resultados mostram que entre março e julho o reservatório encontra-se estratificado, com os valores mínimos medidos (nas águas coletadas do fundo do açude através da válvula) próximos aos valores das águas de recarga. Durante os três meses de abril a julho, segue uma fase de desestratificação. A partir daí, as mudanças dos parâmetros observados são dominadas pela evaporação.

Os valores altamente negativos de  $\delta^{18}\text{O}$  encontrados para as águas coletadas na saída do reservatório durante o período de maior precipitação (Figura 2) mostram que, nos meses de março e abril as massas úmidas que entram na bacia no sentido NE, atingem inicialmente elevações, como a Serra de Uruburetama (Figura 3), perdendo umidade por precipitação. Como na condensação as moléculas pesadas têm uma leve preferência, o vapor d'água que segue para regiões mais interiores do Estado, forma chuvas cada vez mais empobrecidas em  $^{18}\text{O}$  (“efeito continental”) como as ocorridas no açude Edson Queiroz.

### Estratificação

Segundo Esteves (1998), Diniz (2004) e Melo (2005), em climas tropicais os reservatórios são submetidos à estratificação e desestratificação diária. Durante o dia, a estratificação ocorre pelo aquecimento da camada superficial e, à noite, acontece a desestratificação pela ação combinada dos ventos e do resfriamento da camada superior, provocando mistura total a cada 24 horas.

No semi-árido do Nordeste, durante a época seca, um processo semelhante leva igualmente à mistura total diária. Pela forte insolação sobre o solo seco e o espelho d'água dos açudes forma-se, nas horas da tarde, antes do pôr do sol, uma forte convecção térmica, provocando rajadas de ventos, diariamente na mesma direção, que causam forte movimento ondulatório da superfície, promovendo a mistura completa diária.



**Figura 3** - Imagem de satélite do relevo da bacia do Acaraú (EMBRAPA, 2004) mostrando as serras que delimitam a bacia (1. Uruburetama, 2. Machado, 3. Matas, 4. Ibiapaba e 5. Meruoca) e a direção predominante do vento

Na estação chuvosa, porém, iniciando com o advento da zona de convergência intertropical – ZCIT, o movimento horizontal do ar é mínimo. Ao mesmo tempo, pela insolação reduzida e a cobertura vegetal do solo renovada, os ventos de convecção térmica sobre os açudes cessam. Assim, a formação de uma estratificação estável de longa duração é favorecida.

Tundisi et al. (1984) mostram que, em reservatórios tropicais as diferenças térmicas mais acentuadas entre as camadas da superfície e as do fundo podem chegar até  $10^\circ\text{C}$ , mas em geral não excedem de  $5^\circ$  a  $7^\circ\text{C}$ . De fato, encontrou-se uma diferença de  $4^\circ\text{C}$  entre as águas a 30 cm da superfície e a liberada pela válvula do reservatório Edson Queiroz na época da renovação. Martins e Porto (2006) listam, para barragens de grande porte, em várias partes do Brasil, diferenças entre  $2^\circ\text{C}$  e  $7^\circ\text{C}$ .

Como mostraram os cálculos de mistura anteriormente descritos, a água do fundo do açude é a mesma da renovação e nesta água nova a concentração de sais é menor que no açude, indicando que o parâmetro responsável pela estratificação não é a salinidade, mas a temperatura.

Desta maneira, supõe-se que as águas que chegam ao reservatório, mais frias que as estocadas em torno de  $4^\circ\text{C}$ , mergulham rapidamente para o fundo sem mistura (a temperatura média medida no reservatório foi de  $28^\circ\text{C}$ , enquanto nas chuvas o valor médio foi de  $\approx 24^\circ\text{C}$ ). A estratificação assim gerada se mantém (em concorrência com a salinidade) devido à grande diferença na densidade causada pela temperatura.

Uma variação de temperatura de  $25^\circ\text{C}$  para  $30^\circ\text{C}$  causa uma variação na densidade de massa da água ( $\rho$ )

de 1,4 g.L<sup>-1</sup> (Simetric, 2006), ou seja, aplicando interpolação linear, a variação de 1°C na temperatura causa uma diferença de densidade de aproximadamente 0,3 g.L<sup>-1</sup>. Verifica-se que a diferença de temperatura de 4°C, medida entre a superfície e o fundo do açude Edson Queiroz, resulta em uma variação da densidade de 1,12 g.L<sup>-1</sup>. Para compensar a baixa temperatura das águas de recarga e evitar sua submersão no reservatório, este teria que apresentar uma salinidade maior que 1,12 g.L<sup>-1</sup>, ou seja, aplicando um fator de transformação de 0,64 (Rhoades et al., 1992), uma condutividade elétrica maior que 1.750 µS.cm<sup>-1</sup>; valor este muito acima do encontrado (≈130 µS.cm<sup>-1</sup>).

Com o final das chuvas em abril tem início, na ausência de ventos fortes e com a amplitude térmica reduzida (de 12,6 para 9,4°C), um processo lento de estratificação de 3 meses de duração, durante a qual a água captada na válvula mostra os parâmetros analisados crescendo por mistura. Somente a partir de julho até o final da época seca, o açude Edson Queiroz comportou-se (em resolução temporal de mês) como um reservatório homogêneo, tendo as mudanças de δ<sup>18</sup>O, CE e Cl<sup>-</sup> controladas pela evaporação.

Desta forma verificou-se que o fenômeno da estratificação ocorrida causou uma forte sazonalidade na qualidade da água liberada do açude Edson Queiroz para irrigação. Verifica-se, no gráfico central da Figura 2, que se o reservatório fosse bem misturado (curva de extrapolação), a variação anual da CE seria de 290 para 390 µS.cm<sup>-1</sup>. No entanto, no reservatório com estratificação após a recarga, o valor de CE observado variou por um fator de 3.

## Conclusões

1. Os parâmetros geométricos do reservatório Edson Queiroz favorecem a renovação de suas águas, garantindo uma boa qualidade da água para irrigação.
2. As condições climáticas (não as meteorológicas) predominantes na região favorecem que as águas da recarga, mais frias que as estocadas, rapidamente cheguem ao fundo do reservatório, levando a uma forte estratificação.
3. O fato das águas de recarga, quimicamente mais leves, terem apresentando densidade de massa maior que as das águas estocadas, indica que o parâmetro responsável pela estratificação não é a salinidade, mas a temperatura.
4. Diferente de outras áreas tropicais, a estratificação aqui observada é de longa duração (sazonal). A

homogeneização das águas no reservatório estudado é um processo lento, levando cerca de 3 meses.

5. Os parâmetros monitorados, de julho até o final da estação seca, seguiram em boa aproximação o desenvolvimento de um tanque de evaporação, mostrando que este processo é dominante na redução do volume e na salinização das águas neste açude.
6. O fenômeno da estratificação gerou uma grande variação sazonal na qualidade da água utilizada para a irrigação, embora o açude Edson Queiroz tenha apresentado uma salinidade baixa (CE máxima de 460 µS.cm<sup>-1</sup>), em relação ao padrão regional.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Banco Mundial/PRODETAB 016-03/01 pelo apoio financeiro, sem o qual esta pesquisa não poderia ser realizada, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado que mantém o primeiro autor.

## Referências Bibliográficas

- BOLLMANN, H. A.; CARNEIRO, C.; PEGORINI, E. S. Qualidade da água e dinâmica de nutrientes. In: ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. **Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados**. Curitiba: Sanepar, 2005. p.215-269.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normas Climatológicas de 1961-1990**. Brasília: Secretaria Nacional de Irrigação/ Departamento Nacional de Meteorologia, 1992. 84p.
- CLARK, L.; FRITZ, P. **Environmental isotopes in hydrogeology**. New York: CRC Press, 1997.328p.
- CLETO FILHO, S. E. N. O clima e a vida no ambiente aquático. **Revista Ciência Hoje**, v.38, n.224, p.62-65, 2006.
- DINIZ, C. R.; CEBALLOS, B. S. O.; BARBOSA, J. E. L.; KONIG, A.; PEDROZA, A. S. Diurnal rhythms and vertical of variable limnologicals, in a dry and rain season at the Epitácio Pessoa reservoir of Paraíba, Brazil. In: SIMPOSIO INTERNAZIONALE DI ENGENHARIA SANITARIA AMBIENTALE 2004, Taormina – Itália. **Anais...**Taormina – Itália: ANDIS, 2004. CD-ROM.
- DNOCS. **Barragens e perímetros irrigados**. Disponível em: <<http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais>>. Acesso em: 9 set. 2004.
- EMBRAPA: **Relevo do Brasil**. Disponível em <<http://www.relevobr.cpm.embrapa.br/ce/index.htm>>. Acesso em: 15 set. 2004.

- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 2ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998, 609p.
- FUNCEME. **Monitoramento**. Disponível em: <<http://www.funceme.br>>. Acesso em: 12 set. 2004.
- IAEA (International Atomic Energy Agency). **Environmental isotopes in the hydrological cycle principles and applications**. Disponível em: <<http://www.iaea.org/programmes/ripc/ih/volumes/volume2.htm>>. Acesso em: 15 ago. 2005.
- IAEA (International Atomic Energy Agency). **Statistical treatment of environmental isotope data in precipitation**. Vienna: IAEA. 1981. 253p. (Technical Reports Series, 206)
- MARTINS, R.; PORTO, M. **Decaimento e mistura de poluentes no meio ambiente**. Disponível em: <<http://www.fcth.br/phd/phd2460/Aulas/PHD%202460%20Aula%2011.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2006.
- MELO, A. D. **Operação de reservatórios no semi-árido considerando critérios de qualidade de água**. 2005. 89 f. Dissertação (Mestrado em Eng<sup>a</sup>. Civil e Ambiental) Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- NOGUEIRA, V. P. Q. Qualidade da água em lagos e reservatórios. In: PORTO, R.L.L. **Hidrologia Ambiental**. São Paulo: Editora do Estado de São Paulo, 1991. cap.2, p.165-210. (Coleção ABRH de recursos hídricos, 3)
- QUEIROZ, G. H. **Salinização em açudes no município de Tauá - Ce**. 2000. 118 f. Dissertação (Mestrado em Eng<sup>a</sup>. Civil - Recursos Hídricos) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHAL, A. M. **The use of saline water for crop production**. Rome: FAO, 1992. 133p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 48)
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soil**. Washington DC: US Department of Agriculture, 1954. 160p. (USDA Agriculture Handbook, 60).
- SANTIAGO, M. M. F. **Mecanismos de salinização em regiões áridas. Estudo dos açudes Pereira de Miranda e Caxitoré**. 1984. 176 f. Tese (Doutorado - Instituto de Geociências) Universidade de São Paulo, São Paulo.
- SRH (Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará). **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Fortaleza, 1992. 4v.
- SIMETRIC. **Water density**. Disponível em: <[http://www.simetric.co.uk/si\\_water.htm](http://www.simetric.co.uk/si_water.htm)>. Acesso em: 19 abr. 2006.
- SUASSUNA, J. **A pequena e média açudagem no semi-árido nordestino: uso da água na produção de alimentos**. Disponível em: <<http://www.fundaj.gov.br/docs/text/textrop.html>> Acesso em: 10 abr. 2004.
- TEIXEIRA, F. J. C. **Modelos de gerenciamento de recursos hídricos: análises e propostas de aperfeiçoamento do sistema do Ceará**. Brasília: Banco Mundial e Ministério da Integração Nacional. 2004. 84p. (Série Águas do Brasil, 6).
- TUNDISI, J. G. et al.. Limnologia studies at quaternary lakes in eastern Brazil. I. Primary production of phytoplankton and ecological factors at lake D. Helvecio. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 4, p.5-14, 1981.
- VON SPELING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Disponível em: <<http://etg.ufmg.br/tim1/eutrofiz.doc>>. Acesso em: 15 mar. 2006.