

## Seleção dos indicadores da qualidade de água no Rio Jaibas pelo emprego da análise da componente principal<sup>1</sup>

### Water quality assessment of the Jaibas River, Ceará, Brazil using principal component analysis

Enio Giuliano Girão<sup>2</sup>, Eunice Maia de Andrade<sup>3</sup>, Morsyleide de Freitas Rosa<sup>4</sup>, Lúcia de Fátima Pereira de Araújo<sup>5</sup> e Ana Célia Maia Meireles<sup>6</sup>

**Resumo:** A técnica de estatística multivariada (Análise Fatorial/Análise de Componentes Principais – AF/ACP) foi aplicada para identificar os fatores e as variáveis de maior significância na qualidade das águas do trecho perenizado do rio Jaibas, Ceará. Foram realizadas 24 campanhas de coletas de água, no período de abril/2002 a junho/2005, em dois pontos ao longo do rio (na saída da galeria do açude Ayres de Souza e no encontro com o rio Acaraú). As variáveis consideradas foram: pH, condutividade elétrica (CE), cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), amônia ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e Relação de Adsorção de Sódio (RAS). Observou-se por meio da AF/ACP que no início do trecho perenizado, a qualidade da água relaciona-se com três fatores, explicando 80% da variância total. O primeiro fator expressa uma componente mineral. Importância secundária teve a poluição orgânica, seguida pela presença de detergentes e esgotos domésticos. Na confluência do rio Jaibas com o rio Acaraú, dois fatores explicaram 81% da variância total dos dados. Neste ponto, a qualidade da água recebe uma maior influência da ação antrópica (dejetos dos balneários, fertilizantes nitrogenados e esgotos domésticos). A Análise Fatorial/Análise da Componente Principal permitiu verificar o efeito dos parâmetros químicos na variação espacial da qualidade das águas superficiais no trecho perenizado do rio Jaibas.

**Termos para indexação:** água superficial, análise multivariada, poluição das águas

**Abstract:** Multivariate statistical techniques, Factor Analysis/Principal Component Analysis – FA/PCA, was applied to the data set on water quality of the Jaibas River, Ceará, Brazil to identify the most significant pollution sources/factors. The data set was generated during three years (Apr/2002 to Jun/2005) monitoring at two sites (P1 - Ayres de Souza water gate and P2 - the outlet of the Jaibas River). It was analyzed the following variables: pH, EC,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and Sodium Absorption Ratio (SAR). At the P1, three principal components were extracted, explaining 80% of the data variance. The first factor was mainly assigned to mineralization, while the others factors were built from variables indicative of pollution. At the P2, FA/PCA showed the existence of two factors which account to 81% of the total variance, and water quality were mainly influenced by nitrate, fertilizers and waste (human actions). The FA/PCA reflected the physicochemical and pollution characteristics of the water quality in the Jaibas River.

**Index terms:** surface water, factor analysis, multivariate analysis, water pollution

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 20/02/2006; aprovado em 08/12/2006.

Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor apresentada ao Dep. de Eng. Agrícola, CCA/UFC, CE

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, M.Sc., Analista da Embrapa Agroindústria Tropical, e-mail: enio@cnpat.embrapa.br, fone: (085) 3299.1890

<sup>3</sup> Eng. Agrônoma, Ph.D., Profa. do Dep. de Eng. Agrícola, CCA/UFC, Pesquisadora do CNPq, e-mail: eandrade@ufc.br

<sup>4</sup> Eng. Química, Ph.D., Pesquisadora da Embrapa Agroindústria Tropical, e-mail: morsy@cnpat.embrapa.br

<sup>5</sup> Eng. Química, M.Sc. em Saneamento Ambiental, UFC, e-mail: lucifat@secrel.com.br

<sup>6</sup> Eng. Agrônoma, M.Sc., Doutoranda em Recursos Hídricos, UFC, CE

## Introdução

Um dos problemas mais sérios para a humanidade é a garantia de fontes de água adequada ao consumo humano e produção de alimentos. Devido ao crescimento da população mundial, às altas taxas de consumo de água, ao modelo de desenvolvimento adotado e à contaminação dos recursos hídricos pela ação antrópica, a disponibilidade hídrica torna-se cada vez mais escassa (Gangbazo et al., 1995; Vega et al., 1998). Por outro lado, a água é um recurso preponderante para a condição de vida do ser humano, sendo esta limitação mais evidente nas regiões áridas e semi-áridas do globo, como decorrência natural da escassez hídrica da região (Leprun, 1983; Francelino et al., 2002).

Os componentes que alteram o grau de pureza da água podem ser definidos por suas características físicas, químicas e biológicas, traduzidas na forma de parâmetros de qualidade de água (Von Sperling, 1995; Esteves, 1998). A necessidade de um controle mais eficiente da qualidade das águas impulsionou a criação de agências e órgãos reguladores, e o monitoramento da qualidade das águas, cujas ações têm produzido matrizes de proporções inadequadas à interpretação, devido ao grande número de parâmetros analisados (Jonnalagadda e Mhere, 2001).

Uma das primeiras decisões do pesquisador é definir as variáveis mais significativas para retratar o problema. Assim, torna-se necessário o emprego de técnicas que possam resumir, sistematicamente, a correlação significativa existente entre as muitas variáveis (Dillon e Goldstein, 1989; Hair JR. et al., 2005). A técnica de estatística multivariada, denominada Análise da Componente Principal, minimiza tais dificuldades, sendo empregada em diversas áreas, como por exemplo, para estudar os fenômenos hidrológicos, hidrometeorológicos e hidroquímicos (Helena et al., 2000; Almeida e Schwarzbald, 2003; Andrade et al., 2003; Elmi et al., 2004; Palácio, 2004).

O Estado do Ceará se caracteriza pelo grande número de reservatórios que perenizam trechos dos cursos principais. O açude Ayres de Souza, localizado no município de Sobral, pereniza o rio Jaibaras e atende aos usos múltiplos: consumo humano, irrigação e pecuária, piscicultura artesanal e em tanques-redes, lazer e dessedentação de animais (Ceará, 2004). No presente trabalho, empregou-se a técnica da Análise da Componente Principal com o objetivo de identificar os parâmetros físicos e químicos mais importantes na variabilidade da qualidade da água no trecho perenizado do rio Jaibaras, tomado entre a saída do açude Ayres de Souza (galeria) e a foz (encontro com o rio Acaraú).

## Material e Métodos

A sub-bacia do rio Jaibaras abrange 1101,87 km<sup>2</sup> e está inserida na bacia hidrográfica do rio Acaraú (Figura 1), situada na região norte do estado, sendo a segunda em importância no Ceará, com 12.540 km<sup>2</sup> (Dnocs, 1981).

Segundo a classificação de Köeppen, o clima é do tipo BSw'h', semi-árido quente, com chuvas de outono e temperatura média mensal superior a 18°C. A pluviosidade média anual é de 821,6 mm, caracterizada por uma alta variabilidade no tempo e no espaço, com 89,4% das chuvas concentrando-se no período de janeiro a maio, cuja distribuição é unimodal, comum em regiões semi-áridas.

Os solos da bacia do Jaibaras são do tipo lóxico eutrófico e distrófico (árido), fortemente limitados pela deficiência de água, pedregosidade, rochosidade, concreções, pouca profundidade, grande susceptibilidade à erosão, além de relevo acidentado. A vegetação predominante é a caatinga arbustiva aberta (Ceará, 1997).

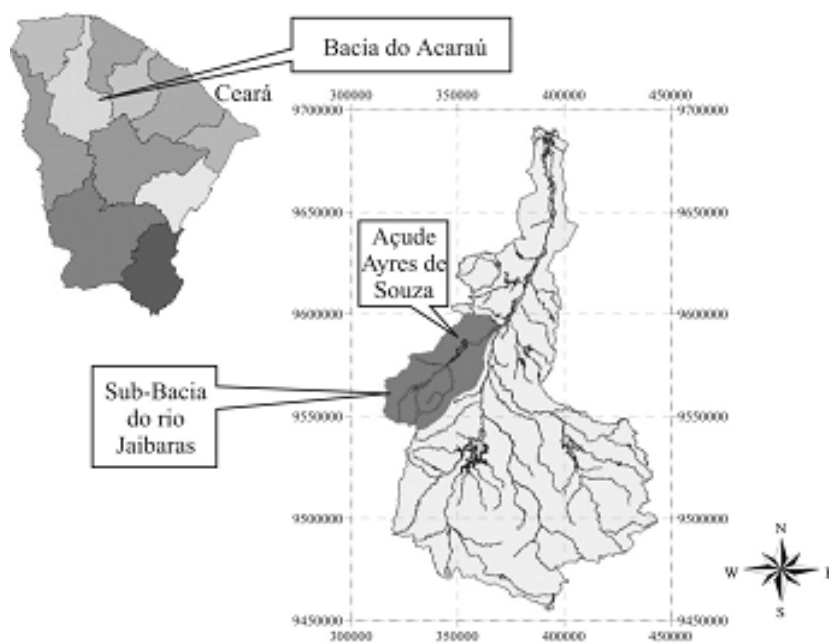
O rio Jaibaras nasce na serra da Ibiapaba e segue cruzando os municípios de Graça, Pacujá, Mucambo e Cariré, até chegar ao distrito de Jaibaras, município de Sobral, onde é represado pelo Açude Ayres de Souza, perenizando o rio e atendendo as necessidades do Perímetro Irrigado Ayres de Souza, situado na parte final da sub-bacia do Jaibaras, e a irrigação de diversas culturas, destacando-se a pimenta tabasco. O açude vem se tornando, ainda, um dos pólos da piscicultura continental da região Norte do Estado do Ceará (Ripardo, 2004).

Nas duas margens do trecho perenizado, o Jaibaras recebe pequenos afluentes que descem das colinas cristalinas, como os riachos Seco e Bragança, ambos na margem direita. Seus leitos são freqüentemente mal definidos e as águas, carregadas do produto da alteração das rochas cristalinas, favorecem os processos de salinização (DNOCS, 1972a).

A disponibilidade de solos irrigáveis do Perímetro Ayres de Souza é formada pelas planícies aluviais do rio Jaibaras e o riacho Papucu, seu principal afluente da margem direita. As planícies são limitadas pelo cristalino, composto essencialmente de gnaiss, e os solos são diversificados, com textura que varia de muito grossa a muito fina (DNOCS, 1972b).

A água para perenização do rio é liberada por uma galeria localizada na parede do açude, sob o controle COGERH, de acordo com as necessidades do Perímetro Irrigado Ayres de Souza.

Para se monitorar a qualidade de água liberada pelo açude Ayres de Souza e o padrão de água que chega ao rio



**Figura 1** - Bacia hidrográfica do rio Acaraú e sub-bacia do rio Jaibaras

Acaraú, foram estabelecidas estações amostrais ao longo do trecho perenizado do rio Jaibaras, numeradas de Ponto 1 (P1), situado na galeria do açude Ayres de Souza, ponto inicial da perenização do rio (333.690 S e 9.582.218 W); e Ponto 2 (P2), localizado na confluência do rio Jaibaras com o rio Acaraú (348.619 S e 9.590.320 W).

As coletas foram realizadas durante o período de abril de 2002 a junho de 2005, no total de 24 campanhas. As amostras foram efetuadas à profundidade de 0-20 cm da superfície, no centro do curso de água, em garrafas plásticas de 1000 mL, após a tríplice lavagem.

Os parâmetros estudados foram: pH, condutividade elétrica (CE), cálcio ( $Ca^{2+}$ ), magnésio ( $Mg^{2+}$ ), sódio ( $Na^+$ ), potássio ( $K^+$ ), bicarbonato ( $HCO_3^-$ ), fosfato ( $PO_4^{3-}$ ), cloreto ( $Cl^-$ ), amônia ( $NH_4^+$ ), nitrato ( $NO_3^-$ ), sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) e Relação de Adsorção de Sódio (RAS). As análises físico-químicas foram realizadas no laboratório de Água e Solos da EMBRAPA Agroindústria Tropical, segundo metodologia de Richards (1954).

A identificação dos agentes determinantes da variabilidade da qualidade das águas no trecho perenizado do rio Jaibaras fundamentou-se na aplicação do modelo de estatística multivariada – Análise Fatorial/Análise das Componentes Principais (AF/ACP).

O primeiro passo no desenvolvimento da AF/ACP foi a elaboração das matrizes de correlação dos parâmetros avaliados, no ponto de derivação da água no reservatório

(P1) e na confluência do rio Jaibaras com o rio Acaraú (P2).

Foram elaboradas as matrizes de correlação  $R1_{(p \times p)}$ , para o ponto P1, e  $R2_{(p \times p)}$ , para o ponto P2, sendo  $p = 13$  o número de parâmetros analisados, seguindo Dillon e Goldstein (1989). As matrizes de correlação R1 e R2, definidas pela equação a seguir, representam a base para transformação das variáveis ortogonais em fatores.

$$R = \frac{1}{n-1} \left( D^{-\frac{1}{2}} S D^{-\frac{1}{2}} \right)$$

Para  $D^{-1/2}$ : matriz diagonal (13 x 13);

$$S = X'X$$

Em que,

S: matriz dos quadrados das médias;

$X'$ : matriz transposta de X;

X: matriz padronizada dos dados.

A consistência dos dados pode ser aferida pelo método Kayser-Meyer-Olkin (KMO), comparando-se a magnitude dos coeficientes de correlação observados com os coeficientes de correlação parcial, produzindo um índice KMO (Monteiro e Pinheiro, 2004), obtido pela seguinte equação:

$$KMO = \frac{\sum_{k \neq j} \sum r_{kj}^2}{\sum_{k \neq j} \sum r_{kj}^2 + \sum_{k \neq j} \sum a_{kj}^2}$$

onde,

$r_{kj}$ : coeficiente de correlação simples entre as variáveis  $k$  e  $j$ ;

$a_{kj}$ : coeficiente de correlação parcial entre as variáveis  $k$  e  $j$ .

Valores de KMO < 0,5 indicam que o modelo não se aplica aos dados em estudo (Hair Junior et al., 2005). O número de fatores extraídos foi definido pelo critério da raiz latente, que considera somente componentes com autovalor superior a um, ou seja, que qualquer fator individual deve explicar uma variância superior àquela apresentada por uma simples variável. O primeiro fator (CP1) é a combinação de todas as variáveis e explica a maior variância nos dados. Extraído-se CP1, o segundo fator explica a

segunda maior variância, sem estar correlacionada com a primeira. Componentes sucessivas explicam porções progressivamente menores da variância total dos dados (Dillon e Goldstein, 1989).

Segundo Hair Junior et al. (2005), a análise fatorial é uma técnica de interdependência onde todas as variáveis são consideradas simultaneamente, cada uma relacionada com todas as outras, empregando-se, assim, o conceito da variável estatística. Esta característica a diferencia das técnicas de dependências, como regressão múltipla, análise discriminante, correlação canônica, onde uma ou mais variáveis são consideradas por variáveis dependentes, e todas as outras são variáveis independentes.

O modelo assume que os erros estatísticos não têm correlação com os fatores comuns. Os fatores são deduzidos das variáveis observadas e podem ser calculados como combinações lineares. É possível que todas as variáveis contribuam para o fator de qualidade da água, no entanto, espera-se que um único subconjunto de variáveis caracterize a qualidade da água, como o indicado pelos grandes coeficientes. A expressão geral para a estimativa do fator  $k$ -ésimo  $f_k$  é:

$$f_k = \sum_{i=1}^p W_{ki} X_i = W_{k1} X_1 + W_{k2} X_2 + \dots + W_{kp} X_p$$

onde:

$W_{ki}$ : coeficiente de contagem de cada fator;

$p$ : número de variáveis.

A relação entre os fatores e as variáveis individuais é definida pela matriz das componentes obtidas na fase de extração, decorrente dos valores atribuídos ao fator. Em geral, os fatores que compõem a matriz apresentam valores de difícil interpretação. Esta limitação foi superada pelo procedimento de transformação ortogonal (rotação da matriz dos pesos fatoriais), gerando uma nova matriz, de mais fácil interpretação.

O processo maximiza a variância entre os fatores, alterando a raiz característica sem afetar a proporção da variância total explicada pelo conjunto (Hair Junior et al., 2005). Após a rotação, as variáveis passam a apresentar pesos próximos a um ou a zero, eliminando valores intermediários que dificultam a interpretação dos fatores. O modelo de rotação ortogonal *Varimax* foi adotado devido sua facilidade de interpretação e emprego freqüente em estudos de qualidade de água e processos hidrológicos (Vega et al., 1998; Helena et al., 2000; Andrade et al., 2003; Palácio, 2004).

## Resultados e Discussão

A primeira análise realizada foi de interdependência entre as variáveis, para verificar a adequabilidade do conjunto de variáveis ao procedimento estatístico. Foi realizada observando-se o comportamento dos elementos da matriz de correlação fora da diagonal principal, o teste de adequabilidade ( $KMO > 0,5$ ) e a explicação das variâncias acumuladas (superiores a 80%), conforme orientam Palácio (2004) e Hair Junior et al. (2005). Com esta análise, foi possível selecionar os parâmetros que mais se adequavam para explicar a variabilidade dos dados.

O teste de adequabilidade aplicado ao modelo, Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), apresentou um índice igual a 0,596, para o ponto P1, e 0,690 para o ponto P2, demonstrando que o modelo pode ser aplicado sem restrições, cujas limitações ocorrem quando  $KMO < 0,5$ , e o teste passa a ser considerado inadequado.

As matrizes de correlação para os pontos P1 e P2, utilizando os parâmetros selecionados no estudo, estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2. Helena et al. (2000) e Palácio (2004) consideram como variáveis significativas aquelas com coeficiente de correlação superior a 0,5, que foi adotado nesta pesquisa. Os pares de variáveis que apresentaram maiores correlações para o ponto P1, início da perenização, foram:  $Na^+$  - RAS;  $CE - Cl^-$ ;  $pH - HCO_3^-$ ;  $Ca^{2+}$  - RAS;  $Ca^{2+} - Na^+$ .

No ponto P1, as associações podem ser explicadas pela geologia da sub-bacia e características químicas dos parâmetros estudados. Em geral, os minerais encontrados nas águas estão associados ao processo de solução dos elementos predominantes nos solos da bacia hidrográfica. A alta correlação positiva entre o sódio e RAS ( $r = 0,946$ ) é lógica, pois a RAS é o indicativo do risco de sodicidade da água (Palácio, 2004). As águas das nascentes recebem maior influência da parte sedimentar da bacia, de baixa salinidade, aumentando os níveis de bicarbonato e cálcio (Leprun, 1983).

Nas águas que contêm concentrações elevadas de carbonatos, há tendência para a precipitação do cálcio e do magnésio, sob a forma de carbonatos, aumentando, assim, a concentração de sódio, devido sua maior solubilidade em relação aos carbonatos de cálcio e magnésio (Porto et al., 1991; Holanda e Amorim, 1997, citados por Francelino et al., 2002). Em condições áridas e semi-áridas, o cálcio é em grande parte substituído pelo sódio, que determina o aparecimento de condições alcalinas (Mello et al., 1989), o que explica a correlação negativa entre o cálcio e o sódio ( $r = -0,630$ ) e do cálcio com a RAS ( $r = -0,825$ ). A alta correlação



**Tabela 1** - Matriz de correlação das variáveis de maior expressão no ponto P1

Parâmetros	RAS	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	CE	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PH	Ca <sup>2+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
RAS	1,000								
Na <sup>+</sup>	<b>0,946</b>	1,000							
Cl <sup>-</sup>	0,050	-0,042	1,000						
CE	0,280	0,237	<b>0,776</b>	1,000					
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,472	-0,393	0,332	0,489	1,000				
PH	-0,465	-0,398	0,322	0,474	<b>0,822</b>	1,000			
Ca <sup>2+</sup>	<b>-0,825</b>	<b>-0,630</b>	-0,162	-0,311	0,449	0,411	1,000		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,087	-0,046	-0,104	-0,371	-0,349	-0,360	0,145	1,000	
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,156	0,209	0,417	0,358	0,085	0,106	0,074	-0,163	1,000

**Tabela 2** - Matriz de correlação das variáveis selecionadas no ponto P2

Parâmetros	RAS	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CE
RAS	1,000				
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0,269	1,000			
Na <sup>+</sup>	<b>0,611</b>	-0,375	1,000		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>-0,523</b>	<b>0,582</b>	<b>-0,716</b>	1,000	
CE	0,474	0,101	<b>0,666</b>	-0,326	1,000

entre pH e bicarbonato ( $r = 0,822$ ) pode ser justificada pelo índice de Larson, ou seja, águas com valores de pH entre 6,5 e 9 favorecem a dissolução de carbonato de cálcio.

A correlação entre o Cl<sup>-</sup> e a CE ( $r = 0,776$ ) era esperada, uma vez que a CE expressa os sais presentes na água, e durante a estação seca ocorre o aumento do cloreto nas águas dos açudes, devido à alta taxa de evaporação no semi-árido cearense. Acredita-se que as concentrações destes elementos também sejam decorrentes de ações antrópicas, como resíduos de esgotos domésticos (Palácio, 2004). A análise preliminar para o ponto P1 mostrou que as variáveis de maior expressão são as relacionadas com os sais dissolvidos na água.

Os pares de variáveis que apresentaram maiores correlações para o ponto P2, saída da galeria, foram: Na<sup>+</sup> - RAS, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - RAS, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - Na<sup>+</sup>, CE - Na<sup>+</sup>.

Na análise do ponto P2, Tabela 2, observa-se que o nitrato apresentou correlação superior a 0,5 com os demais parâmetros, decorrente em parte do uso de fertilizantes no Perímetro de Irrigação Ayres de Souza, localizado entre o P1 e o P2. A contaminação por nitrato em águas superficiais e lençóis freáticos relaciona-se com o uso intensivo de fertilizantes nitrogenados nas áreas cultivadas. Em numerosas pesquisas foi observado que há uma conexão entre o uso de fertilizante nitrogenado e concentrações de nitrato na água (Gangbazo et al., 1995; Jonnalagadda e Mhere,

2001; Elmi et al., 2004). Além disto, descarga de nitrogênio em águas superficiais via sistema de drenagem pode levar ao crescimento excessivo de algas e à eutrofização de ecossistemas aquáticos.

A correlação positiva entre amônia e nitrato ( $r = 0,582$ ) pode ser resultante da decomposição da matéria orgânica em condições anaeróbias. A denitrificação é um importante mecanismo para redução do nitrato carregado para a zona saturada do perfil do solo (Yeomans et al., 1992, citados por Elmi et al., 2004). A amônia e os nitratos são indicativos do grau de poluição do corpo d'água pelo lançamento de efluentes domésticos e industriais, e lixiviação de solos onde foram aplicados fertilizantes nitrogenados.

Em ambientes aquáticos de regiões tropicais, a condutividade elétrica relaciona-se mais à composição geoquímica e às condições de seca e chuva do que com o estado trófico (Esteves, 1998), o que pode explicar a correlação positiva entre a CE e o sódio ( $r = 0,666$ ). A condutividade elétrica expressa a concentração dos sais na água, daí sua baixa correlação com os demais parâmetros selecionados. Resultados semelhantes foram encontrados por Palácio (2004), estudando a qualidade da água do rio Trussu, Ceará, Brasil.

A alta correlação negativa entre nitrato e sódio ( $r = -0,716$ ) indica a formação de compostos nitrogenados entre os íons, como o nitrato de sódio (NaNO<sub>3</sub>), que reduz a disponibilidade do sódio, o que pode explicar a correlação negativa entre o nitrato e a RAS ( $r = -0,523$ ). A análise preliminar para o ponto P2 mostrou que as variáveis mais expressivas estão ligadas à poluição decorrente dos nutrientes (amônia e nitrato), além dos sais dissolvidos na água.

As medidas descritivas obtidas pela Análise Fatorial/ Análise da Componente Principal (AF/ACP) para os dados dos parâmetros indicadores da qualidade das águas na adutora do açude (P1) e na foz do rio Jaibaras (P2) estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** – Medidas descritivas do modelo empregado na extração de fatores para os pontos P1 e P2

Medida descritiva	Componentes				
	Ponto P1			Ponto P2	
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2
Autovalor (variância)	3,381	2,779	1,057	2,864	1,203
Variância	37,57%	30,87%	11,75%	57,28%	24,05%
Variância acumulada	37,57%	68,44%	80,19%	57,275	81,33%
KMO		0,596		0,690	

Pela análise da Tabela 3, verifica-se que a primeira (CP1), a segunda (CP2) e a terceira (CP3) componentes principais para o ponto P1 (saída da galeria) explicaram, respectivamente, 37,57%, 30,87% e 11,75% da variância total dos dados, concentrando em três dimensões 80,19% das informações.

A primeira (CP1) e a segunda (CP2) componentes principais para o ponto P2 explicaram, respectivamente, 57,28% e 24,05% da variância total dos dados, concentrando em duas dimensões 81,33% das informações. Os valores se assemelham aos encontrados por Palácio (2004), que analisou a qualidade das águas do rio Trussu.

Na Tabela 4 são apresentados os pesos dos fatores das matrizes transformadas, que expressam a relação entre fatores e variáveis (parâmetros) para as duas regiões da sub-bacia, representadas pelos pontos P1 e P2. Dillon e Goldstein (1989) mostraram que, embora a matriz do peso dos fatores indique a inter-relação entre cada fator, muitas vezes apresenta dificuldades na identificação das variáveis mais significativas, em decorrência de valores muito próximos entre si. Para superar esta limitação extraiu-se a

**Tabela 4** – Peso dos fatores para os pontos P1 e P2, transformados pela rotação *Varimax*

Variáveis	Peso dos fatores <i>Varimax</i>				
	Ponto P1			Ponto P2	
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2
RAS	<b>0,973</b>	-0,057	0,117	<b>0,721</b>	-0,330
Ca <sup>2+</sup>	<b>-0,895</b>	-0,065	-0,024	-	-
Na <sup>+</sup>	<b>0,885</b>	-0,076	0,118	<b>0,825</b>	-0,422
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,187	<b>-0,808</b>	0,048	-0,515	<b>0,742</b>
PH	-0,509	<b>0,710</b>	0,263	-	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0,522	<b>0,705</b>	0,268	-	-
Cl <sup>-</sup>	0,007	0,226	<b>0,854</b>	-	-
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	0,053	-0,088	<b>0,768</b>	-	-
CE	0,245	0,586	<b>0,704</b>	<b>0,918</b>	0,179
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-	-	-	0,022	<b>0,942</b>

matriz transformada por meio da rotação ortogonal *Varimax* (Vega et al., 1998; Andrade et al., 2003; Palácio, 2004).

Os valores elevados dos pesos fatoriais, em módulo, indicam as variáveis mais significativas em cada fator. Para o ponto P1 (águas liberadas pelo Ayres de Souza), o modelo mostrou que as variáveis mais significativas na qualidade das águas foram: RAS, Ca<sup>2+</sup> e Na<sup>+</sup>, expressando uma componente mineral. A mineralização das águas, como a componente principal determinante da sua qualidade, em áreas de menor influência da ação antrópica, foi observada por pesquisadores como Vega et al. (1998), Helena et al. (2000), e Palácio (2004).

Para a segunda componente (CP2), as variáveis NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, pH e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> foram as mais significativas. Estes parâmetros expressam os riscos da poluição orgânica. No terceiro fator (CP3), as variáveis de maior peso foram o Cl<sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> e CE, devido à presença de detergentes usados na lavagem e aos esgotos do Distrito de Jaibaras. A influência dos detergentes na qualidade das águas também foi observada por pesquisadores como Jonnalagadda e Mhere (2001) e Mendiguchía et al. (2004).

Para o Ponto P2 (confluência com o rio Acaraú), as variáveis de maior peso na primeira componente (CP1) foram a CE, o Na<sup>+</sup> e a RAS, enquanto que na segunda (CP2), as variáveis de destaque foram o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. O modelo aplicado mostrou que, para (CP1), a condutividade elétrica foi mais importante na determinação da qualidade da água, e está relacionada aos sais não naturais dissolvidos na água, oriundos dos dejetos de balneários e esgotos domésticos, ao longo do trecho perenizado, concordando com os resultados encontrados por Almeida e Schwarzbald (2003).

Na segunda componente (CP2), os parâmetros mais significativos foram o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e o NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, relacionados à poluição do corpo d'água pelo lançamento de efluentes domésticos, terras cultivadas e lixiviação de solos, correspondentes aos resíduos de fertilizantes nitrogenados do Perímetro Irrigado Ayres de Souza. Os dados estão de acordo com Elmi et al. (2004), que estudaram o manejo de água

e fertilizantes nitrogenados para minimizar a poluição em solo cultivado no sudeste de Quebec, Canadá. Borges et al. (2003) encontraram resultados semelhantes no estudo de monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do Córrego Jaboticabal, São Paulo, Brasil.

## Conclusão

A qualidade da água que sai pela galeria do açude Ayres de Souza foi definida em primeiro plano pelas características químicas da área sedimentar da bacia, expressando uma componente mineral. Importância secundária teve a poluição orgânica, seguida pela presença de detergentes e esgotos domésticos. A qualidade da água que chega ao rio Acaraú foi definida com maior importância pela ação antrópica (dejetos dos balneários, fertilizantes nitrogenados e esgotos domésticos) ao longo do trecho perenizado.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal do Ceará, pelo suporte acadêmico; à EMBRAPA Agroindústria Tropical, pelo suporte nas atividades de pesquisa (Projeto PRODETAB 001-02/99); a COGERH e aos integrantes do Comitê das Bacias do Acaraú e Coreau, pela colaboração durante os trabalhos de campo.

## Referências Bibliográficas

ALMEIDA, M. A. B.; SCHWARZBOLD, A. Avaliação sazonal da qualidade das águas do arroio do Cria Montenegro, RS, com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.1, p.81-97, 2003.

ANDRADE, E. M.; SILVEIRA, S. S.; AZEVEDO, B. M. Investigação da estrutura multivariada da evapotranspiração na região centro sul do Ceará pela análise de componentes principais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.1, p.39-44, 2003.

BORGES, M. J.; GALBIATTI, J. A.; BELLINGIERI, P. A. Qualidade hídrica do córrego Jaboticabal sob a ação de interceptores de esgoto, em diferentes épocas do ano. **Revista Engenharia Agrícola**, v.23, n.3, p.521-531, 2003.

CEARÁ. Secretaria de Planejamento e Coordenação – SEPLAN. **Atlas do Ceará** 1997. Fortaleza: IPLANCE, 1997.

CEARÁ. Secretaria de Recursos Hídricos. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Relatório técnico de inspeção nº 005/2004**. Sobral: Gerência das Bacias do Acaraú, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS. **Açude público Ayres de Souza. Projeto de irrigação**. Tomo I. Dossiê Geral. B – Relatório Geral. Fortaleza, set/1972 (a).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS. **Açude público Ayres de Souza. Projeto de irrigação**. Tomo II. Anexos (D-3) – Pedologia - Relatório. Fortaleza, set/1972 (b).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS. **Projeto de recuperação dos solos do setor II do Perímetro Irrigado Ayres de Souza, Sobral, Ceará**. Convênio DNOCS-IRYDA, v.1, Fortaleza, 1981.

DILLON, W. R.; GOLDSTEIN, M. **Multivariate analysis**. New York: John Wiley e Sons, 1989. 587p.

ELMI, A. A.; MADRAMOTO, C.; MOHAMUD, E.; HAMEL, C. Water and fertilizer nitrogen management to minimize nitrate pollution from a cropped soil in southwestern Quebec, Canada. **Water, Air and Soil Pollution**, v.151, p.117-134, 2004.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência: FINEP, 1998. 602p.

FRANCELINO, M. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; RESENDE, M. Terra e água na reforma agrária do semi-árido norterio-grandense. **Agriambi**, v.6, n.1, p.183-187, 2002.

GANGBAZO, G.; PESANT, A. R.; BARNETT, G. M.; CHARUEST, J. P.; CLUIS, D. Water contamination by ammonium nitrogen following the spreading of manure and mineral fertilizers. **Journal Environment Quality**, v.24, p.420-425, 1995.

HAIR JUNIOR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. Tradução de Adonai Schlup Sant'Anna e Anselmo Chaves Neto, 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593p.

HELENA, B.; PARDO, R.; VEGA, M.; BARRADO, E.; FERNANDEZ J. M.; FERNANDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis. **Water Research**, v.34, n.3, p.807-816, 2000.

JONNALAGADDA, S. B.; MHERE, G. Water quality of the Odzi river in the eastern highlands of Zimbabwe. **Water Research**, v.35, n.10, p.2371-2376, 2001.

LEPRUN, J. C. **Primeira avaliação das águas superficiais do Nordeste**. Relatório de fim de convênio de manejo e conservação do solo do Nordeste brasileiro. Recife: SUDENE, 1983, p.91-141.

MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETTO, A.; KIEHL, J. C. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1989. 399p.

MENDIGUCHÍA, C.; MORENO, C.; GALINDO-RIANO, M. D.; GARCÍA-VARGAS, M. Using chemometric tools to assess antropogenic effects in river water a case study: Guadalquivir river (Spain). **Analytica Chimica Acta**, v.515, n.1, p.143-149, 2004.

MONTEIRO, V. P.; PINHEIRO, J. C. V. Critério para implantação de tecnologias de suprimentos de água potável em municípios cearenses afetados pelo alto teor de sal. **Revista Economia Rural**, v.42, n.2, p.365-387, 2004.

PALÁCIO, H. A. Q. **Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará.** 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

PORTO, M. F. A.; BRANCO, S. M.; LUCA, S. J. Caracterização da qualidade da água. In: PORTO, R. L. L.; BRANCO, S. M.; CLEARY, R. W.; COIMBRA, R. M.; EIGER, S.; LUCA, S. J.; NOGUEIRA, V. P. Q.; PORTO, M. F. A. **Hidrologia Ambiental.** São Paulo: Editora da Universidade: ABRH, 1991, p.27-65.

RICHARDS, L. A. (Ed.) **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington DC, U. S: Department of Agriculture, 1954. 160p. (USDA Agricultural Handbook 60).

RIPARDO, M. J. C. **Avaliação preliminar da influência da piscicultura intensiva na qualidade da água da represa Ayres de Souza, Sobral, Ceará.** 2004. Monografia (Curso de Superior de Recursos Hídricos/Saneamento Ambiental) – Instituto Centro de Ensino Tecnológico, Sobral, 2004.

VEGA, M.; PARDO, R.; BARRADO, E.; DEBAN, L. Assesment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. **Water Research**, v.32, n.12, p.3581-3592, 1998.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 1995, 240p.