

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS NO AÇUDE AYRES DE SOUZA PELO EMPREGO DA ESTATÍSTICA MULTIVARIADA¹

Eunice Maia de Andrade², Enio Giuliano Girão³, Morsyleide de Freitas Rosa⁴, Luís Carlos Guerreiro Chaves⁵, Marcos Amauri Bezerra Mendonça⁶ & Ana Célia Maia Meireles⁷

RESUMO --- Técnicas de estatística multivariada (Análises de Agrupamento Hierárquico – AAH e Análise Fatorial/Análise da Componente Principal – AF/ACP) foram empregadas para se identificar os fatores e as variáveis de maior significância, bem como a variabilidade temporal na qualidade das águas do açude Ayres de Souza, Ceará, Brasil. Os parâmetros avaliados, um total de 28 variáveis, foram determinados em 4 pontos distintos na bacia hidráulica, no período de set/2004 a mai/2005. A técnica da AAH identificou que a similaridade na qualidade da água foi definida pela sazonalidade climática, independente do ponto de amostragem. Observou-se por meio da AF/ACP que a qualidade da água relaciona-se com dois fatores, explicando 82% da variância total. O primeiro fator explica 58% da variância total, estando relacionada a ação antrópica, sendo K^+ , PO_4^{3-} , Ca^{2+} e DBO, os elementos de maior peso nesse fator. O segundo fator (24% da variância), de menor importância, relaciona-se aos processos de mineralização natural das águas pelos solos, provenientes das áreas à montante da bacia hidráulica ou dos aerossóis, sendo o Na^+ o elemento de maior peso.

ABSTRACT --- Factor Analysis/Principal Component Analysis (FA/PCA) and Cluster Analysis (CA) were applied to the data set on water quality from Ayres de Souza dam sited in Jaibaras River, Ceará, Brazil to identify factors and the most significant variables on water. The physical, chemical and biological parameters, in a total of 28 variables, were measured at four sample sites in four campaigns from sept/2004 to mai/2005. Multivariate statistical techniques, (FA/PCA and CA), allowed the identification climatic influence on water quality as well as the variables that explain the major percent of total variance. Two factors were identified as responsible for the data structure, explaining 82% of the total variance of the data set. Model showed that the first factor (58% of variance) was highly loaded with K^+ , PO_4^{3-} , Ca^{2+} e DBO, which is mainly related to anthropogenic activities. The second one (24% of variance) was related to mineralization (natural process) where Na^+ was the most important variables.

Palavras-chave: água superficial, análise de agrupamento, poluição orgânica.

¹ Parte da dissertação de mestrado do segundo autor apresentada ao Dep. de Eng. Agrícola, CCA/UFC

² Eng^a. Agrônoma, Ph. D., Profa. do Dep. de Eng. Agrícola, CCA/UFC, bolsista do CNPq, eandrade@ufc.br.

³ Eng. Agrônomo, M.Sc., Pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, enio@cnpq.embrapa.br.

⁴ Eng^a. Química, D. Sc., Pesquisadora da Embrapa Agroindústria Tropical, morsy@cnpq.embrapa.br.

⁵ Tec. em Recursos Hídricos/Irrigação, M. Sc. Irrigação e drenagem, bolsista do CNPq, luiscarlosguerreiro@yahoo.com.br

⁶ Estudante de Agronomia, bolsista do CNPq, Depto. de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza, CE., amauri_bm@hotmail.com

⁷ Eng^a Agrônoma, D.Sc., bolsista DCR CNPq/Funcap, IFCE – Campus Iguatu, Iguatu-CE., ameireles2003@yahoo.com.br

1 – INTRODUÇÃO

A qualidade da água pode ser influenciada por diversos fatores, dentre eles, o clima, a cobertura vegetal, a topografia, a geologia, o tipo, o uso e o manejo do solo da bacia hidrográfica (Andrade *et al.*, 2006; Meireles, 2007). Os vários processos que controlam a qualidade da água de determinado manancial compõem o ecossistema, motivo pelo qual alterações de ordem física, química ou climática na bacia hidrográfica podem modificar a sua qualidade (Porto *et al.*, 2004; Mesquita *et al.*, 2004)

O crescimento demográfico resulta no aumento do uso dos corpos hídricos e, conseqüentemente, a sua degradação pela poluição e contaminação. Os problemas decorrentes destes fatores só poderão ser solucionados ou minimizados mediante o conhecimento científico do ecossistema, obtido através de um monitoramento constante dos corpos hídricos naturais ou artificiais (Puerari, 2002; Almeida; Schwarzbald, 2003). Para se conhecer a real qualidade da água de um corpo hídrico é necessária a realização de um monitoramento que, em geral, envolve muitas variáveis e gera um grande número de dados, tornando-se de difícil interpretação. Para interpretar este grande conjunto de dados, técnicas de estatística multivariada como Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH) e Análise Fatorial/Análise da Componente Principal (ACP) vêm sendo largamente utilizadas. Este tipo de análise promove a redução dos dados e permite a interpretação de diversos constituintes individualmente, uma vez que indica associações entre amostras e/ou variáveis e, ainda, possibilita identificar os possíveis fatores/fontes que influenciam o sistema de água (Simeonov *et al.*, 2003; Palácio, 2004).

A AAH é utilizada quando se deseja explorar as similaridades entre as variáveis, interligando as amostras por suas associações, e produzindo um dendrograma de amostras semelhantes, agrupadas entre si segundo as variáveis escolhidas. Quanto menor a distância entre os pontos, maior a semelhança entre as amostras. Porto *et al.* (2004) utilizaram a análise de agrupamento para identificar os diferentes grupos de sub-bacias hidrográficas do Estado do Ceará. A AF/ACP é uma ferramenta utilizada para explicar a variância de um grande conjunto de dados de variáveis interligadas com um pequeno conjunto de variáveis independentes (Fatores). As n variáveis originais geram, através de suas combinações lineares, n fatores, que são obtidos em ordem decrescente de máxima variância (Helena *et al.*, 2000; Palácio, 2004).

Tomando-se como base a análise de agrupamento e ACP, este trabalho teve como objetivo identificar a influência do clima na variabilidade temporal e os fatores determinantes da qualidade das águas do açude público Ayres de Souza, barramento do Rio Jaibas, em Jaibas-Ceará.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

A sub-bacia do rio Jaibaras abrange 1101,87 km² 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 km². 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 (Figura 1).

O reservatório em estudo é responsável pelo abastecimento da cidade de Sobral (134.508 hab.) e do Distrito de Jaibaras (7.960 hab.), sendo que 800 a 1.000 famílias residem no entorno do Açude (Ceará, 2004). Outra função do açude Ayres de Souza é a liberação de água para a irrigação de diversas culturas, destacando-se a pimenta tabasco, no perímetro irrigado de São Vicente. O reservatório atende ainda à piscicultura artesanal e em gaiolas (cerca de 70 unidades, com a despesca de 15 ton mês⁻¹); à pecuária, à agricultura, ao lazer (balneários); e dessedentação de animais (Ripardo, 2004).

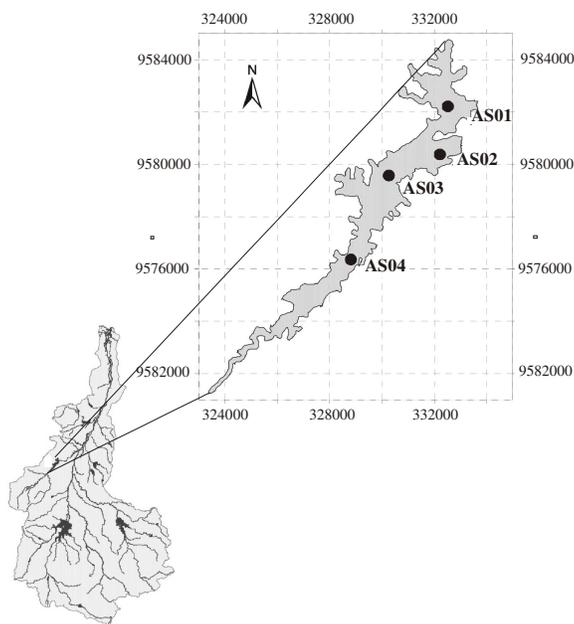


FIGURA 1 - Localização do Açude Ayres de Souza, com os pontos de coleta de água

Segundo a classificação de Köppen, 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 são do tipo litólico 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).

As campanhas de amostras de água ocorreram nos meses de setembro e novembro de 2004, correspondendo a uma estação seca (julho a dezembro); e março e maio de 2005, período correspondente à estação chuvosa (janeiro a junho). As coletas das águas foram realizadas em quatro pontos distribuídos ao longo do reservatório (Figura 1) e os parâmetros analisados estão contidos na Tabela 1. As análises de água foram realizadas pela SEMACE, de acordo com a metodologia apresentada por Apha (1998).

TABELA 1: Parâmetros analisados

Parâmetros	Unidades
Ca ²⁺	mmol _c L ⁻¹
Na ⁺	mmol _c L ⁻¹
RAS	-
K ⁺	mmol _c L ⁻¹
PO ₄ ⁻³	mmol _c L ⁻¹
DBO	mg L ⁻¹

Para se identificar o efeito do clima e os fatores determinantes da variabilidade temporal da qualidade das águas aplicaram-se técnicas de estatística multivariada - Análise de Agrupamento Hierárquico (AAH) e Análise Fatorial/Análise da Componente Principal (ACP) – aos resultados dos parâmetros analisados. A matriz de dados foi composta por 448 valores (28 variáveis amostradas em 4 pontos, com 4 repetições, de setembro de 2004 a maio de 2005). Os valores perdidos foram completados pela média dos dados vizinhos, conforme trabalhos de Simeonov *et al.* (2003) e Meireles (2007). A AAH foi aplicada para detectar a similaridade dos grupos entre os locais amostrados quanto à sazonalidade (AS-01, AS-02, AS-03 e AS-04). Os dados foram normalizados (*Z-scores*) e tratados pelo método de ligação de Ward, com o quadrado da distância Euclidiana como medida de similaridade (Moita Neto; Moita, 1997). A técnica de agrupamento hierárquico associa as amostras entre si, produzindo um dendrograma onde as amostras semelhantes são agrupadas segundo as variáveis escolhidas. Na sua interpretação, quanto menor a distância entre os pontos maior a semelhança entre as amostras. A maneira mais simples de procurar agrupamentos no espaço n-dimensional consiste em agrupar os pares de pontos que estão mais próximos, usando a

distância euclidiana, e substituí-los por um novo ponto localizado na metade da distância entre eles. Este procedimento é repetido até que todos os pontos sejam agrupados em um só ponto, construindo o dendrograma, onde, no eixo horizontal são colocadas as amostras e, no eixo vertical, o índice de similaridade, S_{ij} , calculado segundo a seguinte expressão:

$$S_{ij} = 1 - \frac{d_{ij}}{d_{máx}} \quad (1)$$

onde d_{ij} é a distância entre os pontos i e j e $d_{máx}$ é a distância máxima entre qualquer par de pontos, (Moita Neto; Moita, 1997).

Na aplicação da técnica da Análise Fatorial/Análise da Componente Principal (AF/ACP), a primeira etapa é transformar a matriz de dados originais em uma matriz de correlação [R] ($p \times p$), para p igual aos 28 parâmetros de qualidade de água analisados neste estudo. A principal razão para se usar a matriz de correlação é se eliminar o problema de escalas e unidades diferenciadas em que as variáveis são medidas. Após a definição da matriz de correlação, realizou-se uma inspeção entre os parâmetros com o objetivo de identificar as variáveis mais específicas, visto que a finalidade da ACP é obter componentes que ajudem a explicar estas correlações. A consistência geral dos dados foi aferida pelo método Kayser Mayer Olkim (KMO) que compara a magnitude dos coeficientes de correlação observados com os coeficientes de correlação parcial, produzindo um índice KMO (Norusis, 1990; Silveira; Andrade, 2002).

A primeira componente principal extraída é a combinação linear com variância máxima existente na amostra; a segunda, a combinação linear com a máxima variância remanescente; e assim sucessivamente. Segundo (Norusis, 1990), o modelo matemático para análise de fator apresenta semelhança com uma equação de regressão múltipla; sendo cada variável expressa como uma combinação linear de fatores que não são observados de fato. O modelo para a i -ésima variável normalizada é escrito através da regressão linear múltipla entre fatores:

$$X_{si} = A_{i1}F_1 + A_{i2}F_2 + \dots + A_{ik}F_k \dots + A_{iL}F_L + \xi \quad (2)$$

sendo F : fatores comuns, isto é, uma nova variável; A_i : constantes de ajuste do modelo ($i = 1, \dots, L$); ξ : erro experimental; L : total de fatores.

O modelo assume que os erros experimentais não têm correlação com os fatores comuns (Palácio, 2004). Os fatores são deduzidos das variáveis observadas e podem ser calculados como combinações lineares dessas variáveis. 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, indicado pelos maiores coeficientes. A expressão geral para a estimativa do k -ésimo fator F_k é:

$$f_k = \sum_{i=1}^p W_{ki} X_i = W_{k1} X_1 + W_{k2} X_2 + \dots + W_{kp} X_p \quad (3)$$

onde W_{ki} : peso da i -ésima variável no k -ésimo fator; X_i : escore atribuído a cada variável; p : número de variáveis.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de agrupamento hierárquico (AAH) classificou a qualidade das águas em dois grupos distintos, compostos por pontos de amostragem, independentes da sua posição geográfica. A Figura 2 mostra o dendrograma de similaridade das amostras representativas da qualidade das águas do açude Ayres de Souza. Observa-se uma não similaridade entre os meses secos e chuvosos, indicando que a qualidade da água do corpo hídrico estudado recebe uma maior influência da sazonalidade climática do que da variabilidade espacial.

No grupo I predominaram os meses correspondentes ao período seco da região, onde as concentrações iônicas aumentam, expressando o efeito da sazonalidade climática na qualidade das águas nestes locais. O reservatório, no período seco, perdeu água tanto por evaporação (concentrando os sais), como para o Perímetro Irrigado Ayres de Sousa (perdendo sais em quantidade), mas não apresentou diminuição considerável em seu volume (Meireles, 2007). Durante a estação seca de 2004, representada pelo período de setembro de 2004 a janeiro de 2005, o autor supracitado observou uma redução de 19% (96.600.000 m³ para 78.500.000) no volume armazenado do reservatório acompanhada com um aumento de 20% na concentração dos sais (0,16 dS m⁻¹).

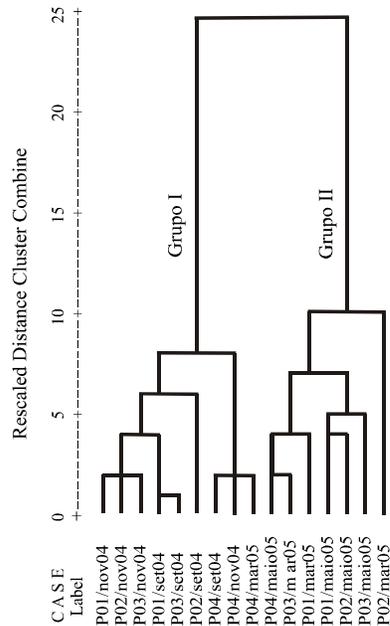


FIGURA 2 – Similaridade das águas do açude Ayres de Sousa

No grupo II predominaram as águas da estação chuvosa. O açude Ayres de Sousa está localizado na margem esquerda do rio Acaraú, possuindo suas recargas provenientes de áreas sedimentares. A presença de importantes maciços residuais da Serra da Ibiapaba favorece a ocorrência de abundantes chuvas orográficas na região, possibilitando que os cursos d'água tenham sua vazão assegurada durante quase todo o ano. Em julho de 2002 o reservatório ainda sangrava. Em fevereiro de 2003, chegava a 70% da sua capacidade (73.117.504 m³), sendo que de abril a julho, período chuvoso, manteve seu volume máximo - 104.403.000 m³. As águas oriundas dessa região são águas com baixa concentração de sais totais (CE = 0,13 dS m⁻¹), como foi apresentado por Andrade *et al.* (2006).

TABELA 2: Matriz de correlação das variáveis selecionadas

	Ca ²⁺	Na ⁺	RAS	K ⁺	PO ₄ ⁻³	DBO
Ca ²⁺	1,000					
Na ⁺	0,209	1,000				
RAS	-0,493	0,277	1,000			
K ⁺	-0,686	-0,464	0,318	1,000		
PO ₄ ⁻³	-0,716	-0,318	0,495	0,661	1,000	
DBO	-0,568	-0,518	0,245	0,881	0,653	1,000

Para a escolha dos parâmetros mais significativos no reservatório, foi realizada análise de sensibilidade pelo método da AF/ACP, considerando-se, somente, os parâmetros que conjuntamente apresentavam um teste de adequacidade ($KMO > 0,5$), e uma explicação das variâncias acumuladas acima de 80%, como orienta Palácio (2004). Embora tenham sido analisadas 28 variáveis, o modelo da AF/ACP mostrou-se adequado para uma matriz de correlação composta por 6 delas; uma vez que as 22 restantes não se mostraram significativas na explicação da variância total (Tabela 2). Pelo teste de adequacidade aplicado, Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), o modelo apresentou um índice igual a 0,736 (bom); demonstrando que o modelo promoverá significativa redução na dimensão dos dados originais. De acordo com a matriz de correlação 73,3% das variáveis selecionadas apresentaram valores de inter-relação superiores a 0,3, que é o recomendado por Norusis (1990).

O modelo de melhor ajuste foi composto por duas componentes, como pode ser visto na Tabela 3. Verifica-se que a primeira e a segunda componentes principais explicaram, respectivamente, 58,44% e 23,25% da variância total dos dados, concentrando em duas dimensões 82% das informações antes observadas em seis dimensões. Os dados se comparam aos encontrados por Meireles *et al.* (2007), no estudo da salinidade das águas do rio Acaraú, Ceará, em que a primeira e a segunda componentes principais explicaram, respectivamente, 61,95% e 20,05% da variância total dos dados, concentrando também em duas dimensões 82% das informações antes diluídas em 5 dimensões.

TABELA 3 - Valores das comunalidades e fatores das componentes das matrizes na extração

Variáveis	Comum.	Componentes	
		C1	C2
K ⁺	0,856	0,914	-0,144
PO ₄ ⁻³	0,770	0,880	-0,245
Ca ²⁺	0,772	0,863	0,156
DBO	0,835	-0,831	-0,247
Na ⁺	0,840	0,483	0,785
RAS	0,850	-0,476	0,783
Autovalor		3,506	1,395
% variância explicada		58,440	23,250
% variância acumulada		58,440	81,690

Comum. – Comunalidades

As comunalidades permitem avaliar como o modelo AF/ACP descreve as variáveis originais. Verifica-se que os quatro parâmetros explicados pela primeira componente (C1) apresentaram valores de comunalidade superiores 0,75, e os parâmetros representados pela segunda componente (C2) comunalidade superior a 0,84, demonstrando que o modelo apresenta uma boa descrição dos dados originais. Pela tabela supracitada observa-se, também, os pesos fatoriais das componentes um e dois (C1; C2), que expressam a relação entre fatores e variáveis (parâmetros) que determinam a qualidade das águas armazenadas no açude Ayres de Sousa.

Os valores elevados dos pesos fatoriais, em módulo, indicam as variáveis mais significativas em cada fator e permitem a identificação das variáveis que apresentam maiores inter-relações com cada componente. Segundo Helena *et al.* (2000), o valor absoluto do peso é um indicador da participação da variável na componente principal. Observa-se que na primeira componente (C1), K^+ , PO_4^{-3} , Ca^{2+} e DBO foram os parâmetros mais significativos na definição da qualidade da água em estudo. Na segunda componente (C2), RAS e Na^+ constituem os parâmetros mais significativos.

O fósforo presente em ecossistemas aquáticos continentais tem origem de fontes naturais e artificiais. Entre as fontes naturais, as rochas da bacia de drenagem constituem a fonte básica de PO_4^{-3} para os ecossistemas aquáticos continentais, em outras palavras, significa dizer que a quantidade de PO_4^{-3} presente nos minerais primários provém das rochas da bacia de drenagem. Entre estas, a mais importante é a apatita (Esteves, 1998). Ainda de acordo com o autor supracitado, as fontes artificiais de fosfato mais importantes são: esgotos domésticos e industriais, material particulado de origem industrial contido na atmosfera. Os fertilizantes agrícolas também representam fontes de fósforo para os sistemas aquáticos.

Em decorrência dos solos predominantes na bacia, litólico eutrófico e distrófico, acredita-se que a participação dos fosfatos na primeira componente principal indica a contaminação por material orgânico originário de áreas agrícolas e de fontes urbanas. O aumento da carga de fósforo pode também estar relacionado à presença de detergentes e aos esgotos domésticos no reservatório, como observado por Almeida e Schwarzbald (2003), no estudo das águas do arroio da Cria Montenegro, Rio Grande do Sul, Brasil.

Outra fonte de fósforo no açude Jaibaras é a criação de peixes em gaiola. Nos quatro primeiros meses de 2004, a produção de pescado já era de 366 t, com uma carga de fósforo estimada em $9,7 \text{ kg dia}^{-1}$, superior em 23% ao permitido pela ANA ($7,87 \text{ kg dia}^{-1}$). Os dados confirmam a informações do Ministério do Meio Ambiente (1997), de que a elevação dos níveis de fósforo pode estar ligada ao processo de eutrofização dos ambientes de cultivo, provenientes de restos de alimentos, dos adubos adicionados e fezes de peixes cultivados no reservatório.

A alta carga atribuída ao DBO na componente um (C1) é um indicativo de um maior aporte de matéria orgânica carregada pelas chuvas na região, fazendo com que ocorra fertilização da água, com proliferação de organismos aeróbios, que consomem também o oxigênio dissolvido. Estes resultados confirmam aqueles observados por Puerari *et al.* (2002), no monitoramento das águas do açude Chile, em Morada Nova, Ceará, Brasil; Borges *et al.* (2003), que estudaram a qualidade das águas do córrego Jaboticabal, São Paulo, Brasil e Ripardo (2004), que avaliou a influência da piscicultura na qualidade da água da Açude Ayres de Souza.

As cargas atribuídas ao potássio na C1 podem estar ligadas à formação rochosa da área, cujas rochas gnáissicas possibilitam a formação com teores mais elevados de potássio sódio, porém com teores bem menores que os solos aluviais (DNOCS, 1977). Mesquita *et al.* (2004) demonstraram que as águas das nascentes do rio Acaraú recebem maior influência da parte sedimentar da bacia, aumentando os níveis de bicarbonato e cálcio. Isto pode explicar a maior carga atribuída ao cálcio.

Na segunda componente (C2), os parâmetros de maior carga foram o sódio e a RAS, indicando uma componente definida pela mineralização. Este comportamento parece ser decorrente dos solos predominantes na bacia, os quais são classificados como Luvisolos, tendo suas origens em rochas gnáissicas com predominância de sódio e potássio. A carga atribuída a RAS fundamenta-se na elevação da percentagem de sódio trocável do solo em função da baixa concentração de sais totais. Águas com CE inferior a $0,5 \text{ dS.m}^{-1}$ e, particularmente, abaixo de $0,2 \text{ dS.m}^{-1}$, os sais e minerais solúveis, incluindo os de cálcio, tendem a lixiviar, reduzindo sua influência sobre a estabilidade dos agregados e estrutura do solo promovendo uma maior atividade do sódio.

Outra fonte de aporte de sódio para as águas do açude Jaibaras são os aerossóis transportados pela chuva. Meireles (2007) identificou a ação dos aerossóis nas águas do açude Acaraú-Mirim, localizado na bacia em estudo e distando de 40 km do açude Jaibaras. O modelo aplicado mostrou que para a primeira componente (C1), as variáveis significativas estão relacionadas ao aporte antropogênico, enquanto que a segunda (C2) apresentou uma maior relação com sódio, podendo ser identificada como uma componente mineral.

4 – CONCLUSÕES

A análise de agrupamento permitiu a identificação de dois grupos distintos, formados pelos períodos seco e chuvoso, indicando que a qualidade da água na bacia hidráulica sofre influência da sazonalidade e independe da sua posição geográfica.

A análise da componente principal indicou que as águas da camada superior do reservatório Ayres de Sousa sofre maior influência dos efeitos antrópicos, ligados à poluição ambiental, que dos processos de mineralização natural das águas pelos solos.

AGRADECIMENTOS

Ao Mestrado em Irrigação e Drenagem da Universidade Federal do Ceará, pelo suporte acadêmico; à EMBRAPA Agroindústria Tropical, pelo suporte nas atividades de pesquisa; ao Banco Mundial, pelo financiamento, através do PRODETAB 001-02/99; à Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH) e aos integrantes do Comitê das Bacias do Acaraú e Coreaú, pela colaboração durante os trabalhos de campo.

BIBLIOGRAFIA

- 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, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 81-97, 2003.
- ANDRADE, et al. *Mapa de vulnerabilidade da bacia do Acaraú, Ceará, à qualidade das águas de irrigação, pelo emprego do GIS*. Revista Ciência Agronômica, v.37, n.3, p. 280-287, 2006.
- APHA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th ed., American Public Health Association, Washington, DC, 1998.
- BORGES, M. J. et al. *Qualidade hídrica do córrego Jaboticabal sob a ação de interceptores de esgoto, em diferentes épocas do ano*. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 521-531, set/dez, 2003.
- CEARÁ. *Secretaria de Planejamento e Coordenação – SEPLAN*. Atlas do Ceará 1997. Fortaleza: Ed. IPLANCE, 1997;
- CEARÁ. *Secretaria de Recursos Hídricos*. Relatório técnico de inspeção nº 005/2004.
- DNOCS. Plano diretor: Vale do Acaraú – pedologia. Fortaleza, 1977, v. 3, 96 p.
- ESTEVES, F. A. *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602p.
- HELENA, B. et al. *Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga river, Spain) by principal component analysis*. Water Research, Amsterdam, v. 34, n. 3, p. 807-816, 2000
- MEIRELES, A.C.M. *Dinâmica qualitativa das águas superficiais da bacia do Acaraú e uma proposta de classificação para fins de irrigação*. 2007. 180f. Tese (Doutorado em Eng^a Civil – Recursos Hídricos). Universidade Federal do Ceará.

MESQUITA, T. B. et al. *Classificação das águas na bacia do Acaraú* In anais do VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, São Luís, nov/dez, 2004, CD-rom.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Diretrizes ambientais para o setor pesqueiro: diagnóstico e diretrizes para a aquíicultura*. Brasília: 1997. 60 p.

MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. *Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados*. *Química Nova*, v. 24, n. 4, p. 467-469, 1997.

NORUSIS, M. J. *SPSS Base System User's Guide*. Chicago: SPSS Inc., 1990. 520 p.

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

PORTO, M. M. et al. *Identificação de bacias hidrográficas com características físicas similares no Estado do Ceará, Brasil*. *Revista Ciência Agrônômica*, v. 35, n 1, p. 17-25, jan-jun., 2004.

PUERARI, E. et al. *Monitoramento dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos na água do Açude Chile e do reservatório subterrâneo adjacente*. Reunião Final da Rede Cooperativa de Pesquisa em Engenharia e Gestão de Recursos Hídricos (REHIDRO/RECOPE/FINEP), Caderno de Resumo dos Trabalhos Técnicos, v. 1, 39 p. Vitória, 2002.

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

SILVEIRA, S. S., ANDRADE, E. M. de. *Análise de componentes principais da estrutura multivariada da evapotranspiração*. *Revista Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 171-177, 2002.

SIMEONOV, V. et al. *Assessment of the surface water quality in Northern Greece*. *Water Research*, n. 37, pp. 4119-4124, 2003.