

USO DE ANÁLISE MULTIVARIADA NA CLASSIFICAÇÃO DAS FONTES HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO SALITRE¹

LUIZA T. DE L. BRITO², ADERALDO DE S. SILVA³, VAJAPÉYAM S. SRINIVASAN⁴,
CARLOS DE O. GALVÃO⁴, HANS R. GHEYI⁵

RESUMO: Este estudo teve por objetivo identificar as variáveis responsáveis pela maior variabilidade da qualidade das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Rio Salitre - BA, e detectar as fontes que apresentam características semelhantes, visando a subsidiar medidas de monitoramento e gestão da qualidade das águas da bacia. Para isso, foram utilizadas técnicas de análise multivariada referente à análise fatorial em componentes principais e de agrupamento. A análise fatorial permitiu agrupar as variáveis em três fatores principais que explicaram 86,99%; 72,08% e 68,33% da variância total acumulada em 1984 e 2001, nos períodos de chuvas e sem chuvas, respectivamente. As variáveis priorizadas estão relacionadas com a salinidade das águas. Assim, medidas de melhoria da qualidade das águas nessa bacia devem necessariamente priorizar a salinidade das águas, a qual está associada à sua geologia. As fontes hídricas foram classificadas em três classes, de forma que C1 agrupou as fontes de melhor qualidade das águas, totalizando 25,0%; 74,3% e 61,7% das fontes hídricas, cujos valores médios dos sólidos dissolvidos totais variaram de 199,00 mg L⁻¹, em 1984, para 724,86 e 650,34 mg L⁻¹, em 2001, respectivamente. A maioria das fontes enquadradas como C1, em 1984, permaneceu em 2001, decorridos 16 anos.

PALAVRAS-CHAVE: impactos ambientais, análise fatorial, *cluster*.

MULTIVARIATE ANALYSIS FOR INTERPRETATION OF UNDERGROUND WATER QUALITY FROM SALITRE WATERSHED

ABSTRACT: This study had the objective of identifying the variables responsible for the variability of underground water quality from the Salitre river watershed in the state of Bahia, Brazil, as well as knowing sources which show similar characteristics, aiming at contributing to monitoring measures and management of water quality of the watershed. For that, multivariate analysis techniques were used such as factorial analysis by main components and grouping. The factorial analysis allowed grouping the variables into three main factors which explained 86.99%; 72.08% and 68.33% of the total variance in the following periods: 1984 and 2001, in raining season and drought season, respectively. The prioritized variables are related to water salinity. So, improving measurement of water quality in this watershed must necessarily prioritize water salinity, which is associated with its geology. The water sources were classified into three classes and C1 grouped the best quality sources, totalizing 25.0%; 74.3% and 61.7% of the water sources which mean values of total dissolved solids varying from 199.0 mg L⁻¹, in 1984, to 724.86 and 650.34 mg L⁻¹, in the two seasons of 2001, respectively. Most of the sources classified in 1984 as C1 remained like that in 2001.

KEYWORDS: environmental impacts, factorial analysis, cluster.

¹ Parte da tese de doutorado do primeiro autor.

² Eng^a Agrícola, Pesquisadora da Embrapa Semi-Árido, Fone: (0XX87) 3862.1711, Petrolina - PE, luizatl@cpatsa.embrapa.br

³ Eng^a Agrônomo, Doutor, Pesquisador da Embrapa Semi-Árido, Petrolina - PE.

⁴ Eng^o Civil, Prof. Dr., Departamento de Engenharia Civil, UFCG, Campina Grande - PB

⁵ Eng^o Químico, Prof. Dr., Departamento de Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande - PB

Recebido pelo Conselho Editorial em: 20-9-2004

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 16-11-2005

INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico e o desenvolvimento socioeconômico ocorridos nas últimas décadas têm ocasionado impactos diversos nos recursos naturais, principalmente nos recursos hídricos, que, associados ao aumento nos índices de poluição de fontes pontuais, como os resíduos domésticos ou industriais, e não-pontuais, como a agricultura, contribuem para reduzir a disponibilidade hídrica global, com a deterioração dos ecossistemas.

No caso da atividade agrícola, os impactos estão principalmente relacionados ao desmatamento das áreas; revolvimento da camada arável do solo, favorecendo os processos erosivos, sedimentação e turbidez; uso inadequado da água, tendo como consequência, elevadas perdas de água; escoamento superficial de nutrientes, favorecendo a eutrofização das águas de superfície e a lixiviação de nutrientes para as águas subterrâneas, como nitrato e outros sais; contaminação por pesticidas; salinização das águas e dos solos (ONGLEY, 2001). Essa salinidade representa as concentrações de íons principais, a qual define a condutividade elétrica da água e da solução do solo.

Solos salinizados apresentam restrições de uso para a maioria das culturas com potencial econômico, restrições essas que podem ser manifestadas no início do processo produtivo pela perda do estande, redução da taxa de crescimento das plantas, redução ou perda total da produtividade. A salinidade limita a retirada de água pelas plantas devido à redução do potencial osmótico e, assim, do potencial total de água no solo, reduzindo sua permeabilidade; além disso, certos elementos como cloreto, sódio, boro e nitrato podem tornar-se tóxicos ou causar desequilíbrios nutricionais, se presentes em concentrações não toleradas pelas plantas. Esses efeitos ocorrem de forma similar para todas as plantas, porém as mais tolerantes podem extrair água do solo com mais facilidade (RHOADES & LOVEDAY, 1990; AYERS & WESTCOT, 1991). Segundo esses autores, para evitar tais problemas, não basta apenas conhecer o teor de sais; é necessário analisar também sua natureza, uma vez que nem todas as soluções salinas produzem os mesmos efeitos. Por outro lado, além da composição química, devem-se considerar fatores relacionados com a cultura, o solo, o sistema de irrigação, a drenagem e o clima, como discutido por MEDEIROS & GHEYI (1997) e SANTOS & HERNANDEZ (1997).

Para um efetivo monitoramento da qualidade das águas, a ANEEL analisa parâmetros relacionados com cor, sólidos dissolvidos totais, alcalinidade, dureza, nitrogênio, fósforo, matéria orgânica e metais pesados. Além desses, são realizados testes bacteriológicos referentes aos coliformes fecais e totais (ARAÚJO et al., 1999). De modo geral, essas variáveis estão correlacionadas e dificultam o entendimento de suas inter-relações e a tomada de decisão de medidas a serem implementadas. Com a utilização de técnicas estatísticas de análise fatorial em componentes principais, é possível reduzir o número de variáveis, definir suas relações, identificar as variáveis que são responsáveis pela dispersão das observações e evidenciar possíveis agrupamentos, utilizando análise de agrupamento ou “cluster”, de acordo com seu grau de similaridade ou dissimilaridade (ANDRADE, 1989; BOUROCHE & SAPORTA, 1980).

Essas técnicas de análise multivariada têm sido empregadas em diferentes áreas do conhecimento. Em recursos hídricos, CEBALLOS (1995); SILVA (1997); AGUILERA et al., (2001), BRITO (2003), entre outros, utilizaram-nas para avaliar impactos ambientais e/ou identificar variáveis de maior significância no conjunto das variáveis que definem a qualidade das águas.

A análise fatorial em componentes principais é um procedimento estatístico, cujo principal objetivo é ordenar e reduzir o número de variáveis em subgrupos menores, correlacionadas entre si, denominados de fatores ou componentes principais, de forma a explicar a maior variabilidade possível do conjunto de dados (ANDRADE, 1989). Por meio dos fatores principais, é possível selecionar

aquelas variáveis de maior participação em cada fator e definir as que deverão ser monitoradas, reduzindo-se, assim, os custos com análises de variáveis de menor importância na qualidade das águas.

Assim, este estudo teve por objetivo identificar as variáveis responsáveis pela maior variabilidade da qualidade das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Rio Salitre - BA, e detectar as fontes que apresentam características semelhantes, visando a subsidiar medidas de monitoramento e gestão da qualidade das águas da bacia.

MATERIAL E MÉTODOS

A bacia hidrográfica do Rio Salitre é uma sub-bacia do Rio São Francisco. Inicia-se na Chapada Diamantina, em Morro do Chapéu - BA, e deságua ao norte, a 20 km a montante de Juazeiro - BA. Está compreendida entre as latitudes 09°27' e 17°14' e as longitudes 40°22' e 41°30', ocupando área de 13.199,7 km², e comprimento do curso principal de 270 km, aproximadamente (CEI, 1986).

Variáveis de qualidade das águas analisadas

Para a caracterização das águas subterrâneas da bacia, foram coletadas amostras de água em poços tubulares em março e dezembro de 2001, caracterizando os períodos de chuvas (PC) e sem chuvas (PV), respectivamente. As análises foram realizadas em tempo real, utilizando-se de sondas-multiparâmetros para as variáveis: temperatura (T), pH, condutividade elétrica (CE), sólidos dissolvidos totais (SDT), oxigênio dissolvido (OD), amônio (N-NH₄⁺), nitrato (N-NO₃⁻). Também foram coletadas amostras de águas nessas fontes para a caracterização da composição química em laboratório, analisando-se as principais concentrações iônicas, como cálcio (Ca⁺⁺), magnésio (Mg⁺⁺), sódio (Na⁺), potássio (K⁺), carbonato (CO₃⁻), bicarbonato (HCO₃⁻), cloreto (Cl⁻), sulfato (SO₄⁻) e ferro (Fe⁺⁺), as quais foram realizadas no Laboratório de Solos, Água e Plantas, da Embrapa Semi-Árido, em Petrolina - PE. A partir das variáveis como cálcio, magnésio e sódio, foram determinadas a relação de adsorção de sódio (RAS) e a dureza total (DT).

Esses resultados foram comparados com os disponíveis em CEI (1986), permitindo, assim, avaliar a qualidade das águas das mesmas fontes hídricas, decorridos 16 anos, embora em número menor de fontes, apenas 12 poços; os demais, por motivos diversos, não estavam em funcionamento.

Análises multivariada

Para a aplicação dos métodos estatísticos, inicialmente foram construídas matrizes contendo, na primeira coluna, os diferentes pontos de coleta das águas subterrâneas, e nas linhas, as respectivas variáveis, analisadas nos períodos de chuvas (PC) e sem chuvas (PV).

As fontes hídricas subterrâneas foram classificadas utilizando-se de procedimentos de análise multivariada, envolvendo análise fatorial em componentes principais e de agrupamento, em função dos períodos analisados, visando a auxiliar na definição de medidas de gestão dos recursos hídricos. Em todas as análises, foi utilizado o pacote Statistic Analysis System (SAS). Os fatores ou componentes principais (F_i) são independentes, ou seja, ortogonais, determinados a partir de uma transformação linear das variáveis iniciais X_i, de acordo com o seguinte modelo matemático (ANDRADE, 1989):

$$X_i = a_{i1} F_1 + a_{i2} F_2 + a_{i3} F_3 + \dots + a_{ik} F_k + e_i \quad (1)$$

Cada uma das "k" variáveis observadas é descrita linearmente em termos das "k" componentes não-correlacionadas (F_i); "a_{ik}" são os pesos ou cargas fatoriais que compõem a combinação linear, e "e_i" corresponde ao erro. As cargas fatoriais "a_{ik}" expressam os coeficientes de correlação entre cada uma das variáveis e seus respectivos fatores. Em cada fator, as variáveis mais representativas são aquelas cujas cargas fatoriais são maiores (a_{ik} > 0,30); quando a carga fatorial apresenta sinal negativo, significa influência negativa dessa variável no fator (BOUROCHE & SAPORTA, 1980; ANDRADE, 1989).

A análise de agrupamento compreende técnicas e algoritmos iterativos, cujo objetivo é classificar “objetos” em grupos de acordo com o seu grau de similaridade ou de dissimilaridade. Neste estudo, os “objetos” estão representados pelas fontes hídricas subterrâneas, e os pontos monitorados na parte baixa do Rio Salitre.

Normalmente, para medir o grau de dissimilaridade entre “objetos”, utilizam-se medidas de distância. A distância euclidiana (d_{ab}) é a mais utilizada em estudos de agrupamento, sendo X_a e X_b as variáveis; “p” corresponde ao número de coordenadas envolvidas, neste caso, as fontes hídricas. A distância (d_{ab}), segundo BUSSAB et al. (1990), é representada pela expressão:

$$d_{(a,b)} = \left[\sum_{j=1}^p \frac{(X_{i(a)} - X_{i(b)})^2}{p} \right]^{1/2} \quad (2)$$

Na análise de agrupamento, foi utilizado o método Ward para maximizar a inércia entre os diferentes grupos (ANDRADE, 1989; BUSSAB et al., 1990). Esse método de agregação consiste em considerar, inicialmente, cada observação como sendo uma “classe”. Para decidir se duas classes irão formar uma classe maior, examina-se a maior inércia entre as classes.

Como as variáveis de qualidade das águas possuem grandezas não comparáveis, para utilização dos procedimentos estatísticos, foi necessária a padronização das variáveis, gerando, assim, novas matrizes (z_i), cujas variáveis têm variância unitária (BOUROCHE & SAPORTA, 1980; ANDRADE, 1989), obtida pela equação:

$$Z_i = (x_i - x_{im}) / s_i \quad (3)$$

em que,

x_i - valor da variável i;

x_{im} - valor médio da variável i, e

s_i - erro-padrão da variável i.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram aplicadas técnicas de análise fatorial em componentes principais e de agrupamento, ao conjunto de 15 e 17 variáveis de qualidade das águas da bacia hidrográfica do Salitre, correspondendo às fontes subterrâneas analisadas em 1984 e nos períodos de chuvas e sem chuvas de 2001, respectivamente. A partir da análise de correlação aplicada às variáveis de qualidade das águas, observou-se que a maioria dessas estão fortemente correlacionadas, com alta significância ($P \leq 0,0001$).

Nessas análises, foram considerados três fatores para não se obterem variáveis fatoriais com percentuais de explicação da variância total muito baixo; porém, as variâncias totais e acumuladas obtidas em cada período foram elevadas.

A análise fatorial em componentes principais aplicada aos dados de qualidade das águas subterrâneas obtidos em 1984 condensou as variáveis analisadas em três fatores ordenados, explicando 86,99% da variância total, sendo o Fator 1 (F1) responsável por 61,73% dessa variância. As variáveis com maiores cargas fatoriais, nesse fator, foram Cl (0,994), CE (0,955) e Na (0,937), embora as demais variáveis também apresentem forte relação com esse fator, dados os elevados valores das cargas fatoriais e das comunalidades finais, sendo que essas representam o quanto da variância da variável é reproduzida pelos fatores comuns (Tabela 1).

Por sua vez, o Fator 2 (F2) respondeu por 15,20% da variância total e incluiu variáveis com altos valores de comunalidades finais, como bicarbonato (91,09%), nitrato (75,99%) e pH (50,39%); enquanto o Fator 3 (F3) esteve influenciado pela presença de íons de ferro e cálcio, com 74,79% e

83,96% de comunalidades finais, respectivamente, elementos esses relacionados aos nutrientes presentes nas águas.

A partir dos resultados obtidos nos períodos de chuvas e sem chuvas de 2001, observa-se que os três fatores respondem conjuntamente por 72,08% e 68,33% da variância total acumulada. O Fator 1 respondeu por 48,92% e 45,19% dessa variância, nos respectivos períodos, potencializado pelas variáveis Cl, SDT, CE, DT, Na, Ca, Mg e SO₄ fortemente relacionadas com a salinidade das águas, cujas cargas fatoriais são superiores a 0,852, exceto para o SO₄, que apresentou, no período das chuvas, carga fatorial de 0,662; mesmo assim, é uma variável significativa. De acordo com ANDRADE (1989), são representativas aquelas variáveis cujas cargas fatoriais são as mais elevadas e devem sempre ser superiores a 0,30 (Tabela 1).

O Fator 2 respondeu por 12,30% e 14,02% da variância total e foi definido a partir das variáveis HCO₃ e pH, respondendo por 75,42%; 57,68% e 63,80%; 68,71% da variação de cada variável reproduzida pelos fatores principais, ou seja, comunalidades finais, respectivamente nos períodos de chuvas e sem chuvas. Embora a variável OD participe desse fator no período das chuvas, contém baixos valores de carga fatorial (0,523) e de comunalidade final (27,39%), e não é uma variável representativa no contexto de qualidade das águas subterrâneas.

O Fator 3 era formado, em 1984, pelas variáveis Fe e Ca, com elevadas cargas fatoriais; porém, em 2001, está mais bem representado pelas variáveis K e NH₄ com 89,52% e 77,38%; 64,54% e 52,04% das comunalidades finais, para os respectivos períodos de chuvas e sem chuvas (Tabela 1).

TABELA 1. Cargas fatoriais, em ordem decrescente, para as variáveis de qualidade das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Rio Salitre, analisadas nos períodos sem chuvas de 1984 (PV84), de chuvas (PC01) e sem chuvas de 2001 (PV01)

PV84					PC01					PV01				
Variáveis	F1	F2	F3	CF*(%)	Variáveis	F1	F2	F3	CF*(%)	Variáveis	F1	F2	F3	CF*(%)
Cl	0,994	0,009	0,100	99,78	Cl	0,978	0,013	0,072	96,22	SDT	0,989	0,057	0,041	98,26
CE	0,955	0,263	0,010	99,08	SDT	0,977	0,158	0,068	97,91	CE	0,988	-0,060	0,025	98,52
Na	0,937	0,271	0,149	97,49	CE	0,972	0,158	0,068	97,46	Cl	0,988	-0,061	0,025	98,07
K	0,893	-0,295	-0,234	94,07	DT	0,967	0,096	-0,052	94,75	DT	0,959	0,007	-0,032	92,06
DT	0,885	0,389	0,191	97,20	Mg	0,867	0,325	0,145	87,93	Na	0,896	0,115	0,027	81,69
Mg	0,884	0,385	-0,126	94,69	Na	0,862	0,364	0,23	92,95	Ca	0,848	-0,239	-0,009	77,81
SDT	0,882	0,327	0,060	88,90	Ca	0,856	-0,129	-0,217	79,70	Mg	0,845	0,278	-0,051	79,41
RAS	0,852	0,302	0,130	83,50	SO ₄	0,662	0,453	0,233	69,85	SO ₄	0,816	0,322	-0,177	80,07
SO ₄	0,724	0,578	0,098	86,86	HCO ₃	0,363	0,762	-0,203	75,42	RAS	0,508	0,126	0,062	27,76
HCO ₃	0,177	0,917	0,197	91,09	pH	-0,084	0,698	0,287	57,68	pH	0,224	0,793	-0,092	68,71
NO ₃	0,074	0,774	-0,394	75,99	RAS	0,470	0,531	0,361	63,51	HCO ₃	0,163	0,782	0,003	63,80
pH	0,269	0,644	-0,128	50,39	OD	-0,009	0,523	-0,011	27,39	CO ₃	-0,219	0,697	-0,061	53,81
Fe	-0,09	-0,308	0,802	74,79	T	0,262	0,407	-0,339	35,40	NH ₄	0,106	0,146	0,698	52,04
Ca	0,480	0,219	0,749	83,96	K	0,495	-0,108	0,799	89,52	K	0,464	0,188	0,628	64,54
-	-	-	-	-	NH ₄	0,549	-0,051	0,685	77,38	Fe	0,004	-0,115	0,191	40,97
-	-	-	-	-	CO ₃	-0,073	0,164	0,555	34,09	OD	0,309	0,482	-0,524	60,31
-	-	-	-	-	Fe	0,492	0,014	-0,493	48,52	T	0,204	0,206	-0,716	59,77
ϑ (%)**	61,73	15,20	10,06		ϑ (%)	48,92	12,30	10,86		ϑ (%)	45,19	14,02	9,12	
ϑ _A (%)***	61,73	76,93	86,99		ϑ _A (%)	48,92	61,22	72,08		ϑ _A (%)	45,19	59,21	68,33	

*CF = Comunalidade Final; **ϑ=Variância; ***ϑ_A=Variância Total Acumulada.

Em função das maiores cargas fatoriais das variáveis que compõem os três fatores nos períodos, as 17 variáveis de qualidade das águas podem ser representadas por: Fator 1 - componente de salinidade; Fator 2 - componente de alcalinidade, e Fator 3 - componente nutricional, nessa ordem de prioridade. Essas variáveis são determinantes na caracterização da qualidade das águas subterrâneas,

potencializadas no primeiro fator aquelas que definem salinidade, ou seja, CE, Cl, SDT, DT, Na, Ca, Mg e SO₄.

A análise de agrupamento aplicada aos dados de qualidade das águas subterrâneas referentes aos períodos de 1984 (PV84) e de chuvas (PC01) e sem chuvas de 2001 (PV01) permitiu classificar as fontes hídricas em três grupos distintos, obtendo-se valores médios das variáveis para cada grupo. Em função desses valores e tendo-se como base a concentração de sais na água, representada pela condutividade elétrica (CE), os grupos foram hierarquizados, em ordem crescente do valor médio de cada variável, e redefinidos em classes de qualidade das águas: Classe 1, Classe 2 e Classe 3, para padronizar a classificação e facilitar o seu entendimento.

A classe C1, considerada de melhor qualidade das águas, foi formada por 3; 35 e 29 fontes hídricas, compreendendo, nos períodos de chuvas e sem chuvas de 2001, a mais de 74,47% e 61,70% das fontes, respectivamente. Nesses períodos, os valores médios dos sólidos dissolvidos totais foram elevados para essa classe (SDT = 724,86 e 650,34 mg L⁻¹), sendo que, em 1984, apresentou menor valor (SDT = 199,00 mg L⁻¹). A classe C2 foi formada por 7; 10 e 16 fontes hídricas, observando-se a predominância dos dados de 1984, com 58,33% das fontes. Nessa classe, os valores médios dos sólidos dissolvidos totais também foram elevados (SDT = 968,86; 2.089,0; 1.891,37 mg L⁻¹), respectivamente. Na seqüência, a classe C3 concentra o menor número de fontes hídricas (2; 2; 2), porém com mais elevados valores de salinidade nos respectivos períodos analisados (SDT = 1.893,50; 4.900,00 e 5.243,50 mg L⁻¹) (Tabelas 2 e 3).

Observa-se, nas Tabelas 2 e 3, que a maioria das fontes hídricas enquadradas como C1 em 1984 (SUB84) permaneceram com esse padrão em 2001; em outras fontes ocorreu melhoria da qualidade da água, passando da classe C2 para C1 e de C3 para C2. Da mesma forma, nos períodos de chuvas e sem chuvas de 2001, 88% das fontes permaneceram como C1; para algumas variáveis ocorreram reduções nos valores médios das variáveis analisadas. Essa melhoria na qualidade das águas pode estar associada à maior demanda de água que ocorre no período sem chuvas, permitindo a renovação das águas subterrâneas por meio da ligação entre aquíferos.

Embora não tenham sido verificadas grandes variações nas classes, os valores médios de algumas variáveis entre os períodos de 1984 e 2001 sofreram significativos aumentos, como, entre outras, para as variáveis CE (308,33%), Ca (526,32%), Cl (344,44%), DT (220,02%), decorridos 16 anos; porém, entre os períodos de chuvas e sem chuvas de 2001, esses aumentos não foram significativos, o que pode estar associado às condições naturais da bacia do Salitre. Variações nos valores médios acima de 50% entre os períodos foram caracterizados como “impactos” na qualidade das águas, de acordo com SILVA (1997).

Comparando os valores médios dos SDT obtidos nas classes 1; 2 e 3 com os valores apresentados pelo BRASIL (1986), quanto ao aspecto da salinidade, concluiu-se que a maioria das fontes de água subterrâneas da bacia do Salitre são consideradas salobras (SDT > 500 mg L⁻¹), apresentando, assim, limitações de uso; porém, na ausência de outras fontes, a comunidade deve procurar medidas que visem à melhoria da qualidade dessas águas para o consumo humano, uma vez que essas constituem a principal fonte de abastecimento. Entre essas medidas, pode-se citar a dessalinização por osmose inversa, prática já empregada em muitas comunidades do Semi-Árido brasileiro.

TABELA 2. Classificação das fontes hídricas subterrâneas nos diferentes períodos de coleta sem chuvas de 1984 (PV84), de chuvas (PC01) e sem chuvas (PV01) de 2001, utilizando análise de agrupamento.

Município	Código	Localização		Classes		
		Latitude	Longitude	PV84	PC01	PV01
Morro Chapéu	TAMB2	11° 13' 52"	41° 06' 12	C2	C1	C1
Morro Chapéu	SMONIC	11° 18' 38"	40° 57' 37	C1	C1	C1
Morro Chapéu	MAX1	11° 17' 56"	40° 57' 01	-	C1	C1
Morro Chapéu	VGRAND	11° 18' 21"	41° 02' 29	-	C1	C1
Morro Chapéu	ICO2	11° 16' 19"	41° 01' 16	-	C1	C1
Morro Chapéu	BREJ2	11° 17' 45"	41° 04' 19	C1	C1	C1
Morro Chapéu	OLHOF	10° 55' 42"	41° 16' 30	C2	C1	C1
Várzea Nova	VNOVA1	11° 15' 54"	40° 56' 26	C2	C1	C1
Várzea Nova	SANT2	11° 13' 47"	40° 48' 43	C2	C1	C1
Várzea Nova	GILO3	11° 13' 46"	40° 49' 19	-	C1	C1
Várzea Nova	GILO2	11° 14' 45"	40° 50' 29	-	C1	C1
Miguel Calmon	CURT1	11° 17' 03"	40° 54' 27	-	C2	C2
Jacobina	CHOROR	11° 07' 58"	40° 48' 48	C3	C2	C2
Jacobina	LBAT1	11° 04' 28"	40° 42' 29	-	C1	C1
Jacobina	OLHODAG	10° 59' 05"	40° 42' 08	-	C1	C1
Jacobina	FBAR1	11° 01' 28"	40° 45' 23	-	C1	C1
Jacobina	PCOLH1	11° 02' 43"	40° 55' 47	-	C2	C2
Jacobina	PCOLH2	11° 03' 48"	40° 54' 50	-	C2	C2
Jacobina	PCOLH3	11° 05' 40"	40° 54' 53	-	C2	C2
Jacobina	PCOLH4	11° 03' 14"	40° 53' 40	-	C1	C2
Jacobina	FBAR2	11° 01' 04"	40° 45' 42	-	C1	C1
Jacobina	FSUMI	10° 54' 43"	40° 48' 04	-	C2	C2
Ourolândia	PBARR	10° 56' 55"	41° 03' 53	-	C1	C1
Ourolândia	GITIRANA	10° 54' 10"	41° 14' 34	-	C1	C1
Ourolândia	FQUEIM	10° 54' 15"	41° 18' 39	C2	C1	C1
Mirangaba	TAQUA6	10° 52' 45"	40° 44' 07	-	C1	C1
Mirangaba	TAQUA3	10° 54' 26"	40° 41' 07	-	C1	C1
Campo Formoso	TIQUA1	10° 27' 55"	40° 32' 16	-	C1	C1
Campo Formoso	TIQUA2	10° 27' 52"	40° 32' 52	-	C2	C2
Campo Formoso	TIQUA3	10° 27' 33"	40° 34' 34	-	C1	C1
Campo Formoso	TIQUA4	10° 27' 33"	40° 34' 35	-	C1	C1
Campo Formoso	BARRET1	10° 26' 16"	40° 39' 59	-	C3	C3
Campo Formoso	BARRET	10° 26' 22"	40° 39' 36	-	C1	C2
Campo Formoso	BCAAT	10° 26' 50"	40° 50' 45	C1	C1	C1
Campo Formoso	BALDU	10° 24' 19"	40° 37' 54	C2	C1	C2
Campo Formoso	LPORCO	10° 20' 11"	40° 37' 08	-	C1	C2
Campo Formoso	TIRIRICA	10° 16' 09"	40° 36' 23	-	C1	C1
Campo Formoso	CURRALI	10° 12' 24"	40° 37' 02	-	C1	C1
Campo Formoso	CAITITU	10° 10' 44"	40° 35' 08	-	C1	C1
Campo Formoso	FBPRET	10° 08' 30"	40° 35' 56	C2	C1	C1
Campo Formoso	FNOVA	10° 23' 03"	40° 32' 48	-	C1	C2
Juazeiro	HORTOS	09° 33' 44"	40° 38' 55	C3	C2	C2
Juazeiro	STEREZ1	09° 34' 11"	40° 39' 18	-	C1	C1
Juazeiro	STEREZ2	09° 34' 11"	40° 39' 18	-	2	C2
Juazeiro	STEREZ3	09° 34' 11"	40° 39' 18	-	C3	C3
Juazeiro	BARAUNA	09° 38' 12"	40° 38' 24	-	C2	C2
Juazeiro	ALDEIA	09° 41' 23"	40° 36' 16	-	C1	C2
		C1	3 (25,0%)	35 (74,3%)	29 (61,7%)	
Número de fontes e frequência por Classe		C2	7 (58,3%)	10 (21,3%)	16 (34,0%)	
		C3	2 (16,7%)	2 (4,3%)	2 (4,3%)	

TABELA 3. Valores médios das principais características das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Salitre nos períodos sem chuvas de 1984 (PV84), de chuvas (PC01) e sem chuvas (PV01) de 2001, obtidos através da análise de agrupamento.

PV84														
Classes	CE (dS m ⁻¹)	SDT (mg L ⁻¹)	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	Fe (mg L ⁻¹)	N-NO ₃ (mg L ⁻¹)	RAS (mmol L ^{-1/2})	DT ^a (mg L ⁻¹)
1	0,24	199,00	6,36	0,60	1,00	1,34	0,11	1,38	0,11	1,17	0,16	3,59	1,39	79,96
2	1,29	968,86	7,36	1,14	6,86	4,34	0,17	5,05	1,86	5,61	0,05	20,77	2,04	413,47
3	3,25	1.893,50	7,47	5,80	12,50	11,80	0,94	4,65	2,89	23,12	0,15	5,28	3,89	914,62
PC01														
Classes	CE (dS m ⁻¹)	SDT (mg L ⁻¹)	pH	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	Fe (mg L ⁻¹)	N-NH ₄ (mg L ⁻¹)	RAS (mmol L ^{-1/2})	DT (mg L ⁻¹)
1	1,09	724,86	7,24	1,47	5,42	4,12	0,16	4,27	1,65	5,07	0,07	0,53	2,13	344,90
2	3,26	2.089,00	7,35	7,69	13,01	9,82	0,44	5,09	3,17	22,70	0,14	2,19	3,11	1.034,50
3	7,03	4.900,00	7,02	29,45	22,75	16,26	0,48	6,53	3,95	57,90	0,26	2,07	3,20	2.608,20
PV01														
1	0,98	650,34	7,27	2,36	3,44	3,53	0,18	3,75	0,24	5,20	0,01	0,47	2,21	290,34
2	2,80	1.891,37	7,62	7,14	9,58	11,55	0,35	4,47	0,86	22,25	0,14	0,80	4,02	836,22
3	7,40	5.243,50	7,65	31,40	27,15	19,10	0,55	4,50	1,44	67,70	0,30	1,27	3,53	2.926,90

^aDT - dureza total.

A partir dos resultados obtidos com as técnicas de análise fatorial e de agrupamento, pode-se observar que, na maioria das fontes hídricas, não ocorreram significativas variações na sua classificação entre os períodos de 1984 e 2001, decorridos 16 anos, e entre os períodos de chuvas e sem chuvas de 2001, concluindo-se que as características das águas subterrâneas estão fortemente relacionadas com a formação geológica da bacia em estudo. Esses resultados sugerem medidas de monitoramento dos recursos hídricos que podem ser realizadas com baixa frequência e nos poços mais representativos do ponto de vista de uso pela comunidade, considerando-se as diferentes unidades geológicas e as variáveis relacionadas com a salinidade, identificadas pela análise fatorial em componentes principais, e, assim, auxiliar na definição de medidas eficazes de usos, aumentando a disponibilidade e melhorando a qualidade das águas em toda a bacia hidrográfica do Salitre.

CONCLUSÕES

A análise fatorial permitiu classificar as variáveis de maior significância na qualidade das águas, priorizando aquelas relacionadas com a salinidade, associada às características geológicas da bacia.

A análise de agrupamento classificou as fontes hídricas de acordo com a qualidade das águas, em três classes; porém, de modo geral, não ocorreram variações significativas nas classes de qualidade das águas nos períodos analisados, indicando que o monitoramento de qualidade das águas pode ser de baixa frequência.

REFERÊNCIAS

- AGUILERA, P.A.; CASTRO, H.; RESCIA, A.; SCHMITZ, M.F. Methodological development of an index of coastal water quality: application in a tourist area. *Environmental Management*, New York, v.27, n.2, p.295-301, 2001.
- ANDRADE, T.A. Métodos estatísticos e econométricos aplicados à análise regional. In: HADDAD, P.R.; FERREIRA, C.M. de C.; BOISIER, S.; ANDRADE, T.A. (Ed.). *Economia regional: teorias e métodos de análise*. Fortaleza: BNB-ETENE, 1989. p.427-507.
- ARAÚJO, I. de C.P.; FREITAS, M.A.V. de; RIBEIRO, E.S.; SABBAG, S.K. Monitoramento da qualidade das águas no Brasil. In: FREITAS, M.A.V. (Ed.). *O estado das águas no Brasil: perspectivas de gestão e informações de recursos hídricos*. Brasília: ANEEL/MME/MMA-SRH/OMM, 1999. p.175-83.

- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. *A qualidade da água na agricultura*. Tradução de H.R.Gheyi; J.F. Medeiros; F.A.V. Damaceno, Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p. (FAO, Irrigação e Drenagem, 29).
- BOUROCHE, J.M.; SAPORTA, G. *Análise de dados*. Tradução de: M. Penchel. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1980. 116 p.
- BRASIL. *Resolução CONAMA nº 20, 18 de junho de 1986*. Brasília: SEMA, 92 p. 1986.
- BRITO, L.T. de L. *Avaliação de impactos das atividades antrópicas sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Salitre-Bahia e classificação das fontes hídricas*. 2003. 184 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.
- BUSSAB, W. de O.; MIAZAKI, E.S.; ANDRADE, D.F. de. Introdução à análise de agrupamentos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 9., 1990, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABE, 1990. 106 p.
- CEBALLOS, B.S.O. *Utilização de indicadores microbiológicos na tipologia de ecossistemas aquáticos do Trópico Semi-Árido*. 1995. 192 f. Tese (Doutorado em Microbiologia Ambiental) - Instituto de Ciências Biomédicas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- CENTRO DE ESTATÍSTICA E INFORMAÇÃO (CEI). *Avaliação dos recursos hídricos em bacias hidrográficas do Estado da Bahia: Bacia do Rio Salitre*. Salvador, 1986. 2v.
- MEDEIROS, J.F. de; GHEYI, H.R. Manejo do sistema solo-água-planta em solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. (Ed.). *Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada*. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. p.239-87.
- ONGLEY, E.D. *Controle da poluição da água pelas atividades agrícolas*. Tradução de: H.R.Gheyi; F.A.V.Damaceno; L.T.L. Brito. Campina Grande: UFPB, 2001. 92 p. (FAO, Irrigação e Drenagem, 55).
- RHOADES, J.D.; LOVEDAY, J. Salinity in irrigated agriculture. In: STEWART, D.R.; NIELSON, D.R. (Ed.). *Irrigation of agricultural crops*. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1990. p.1089-1142.
- SANTOS, R.V. dos; HERNANDEZ, F.F.F. Recuperação de solos afetados por sais. In: GHEYI, H.R.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. *Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada*. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. p.319-61.
- SILVA, A. de S. *Impacto ambiental del uso de los recursos suelo y agua en áreas agrícolas bajo riego: estudio aplicado a zonas áridas brasileñas y españolas*. 1997. 217 f. Tese (Doutorado em Impacto Ambiental) - Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 1997.