

Similaridade da composição hidroquímica das águas freáticas do perímetro irrigado do Baixo Acaraú, Ceará, Brasil¹

The hydrochemical similarity of water table at Baixo Acaraú irrigated district, Ceará, Brazil

Eunice Maia de Andrade^{2*}, Deodato Nascimento Aquino³, Lindbergue Araujo Crisostomo⁴, Joseilson Oliveira Rodrigues⁵, Luiz Carlos Guerreiro Chaves⁶

Resumo - Devido ao constante risco de contaminação das águas freáticas pela lixiviação de sais e substâncias tóxicas como resíduos de fertilizantes e pesticidas, torna-se necessário o conhecimento da dinâmica na qualidade das águas, e assim elaborar um planejamento de uso sustentável desse recurso. Tendo-se por base esta premissa elaborou-se uma investigação das águas freáticas do Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú (DIBAU) com o objetivo de classificar a qualidade das águas quanto à sua composição hidroquímica bem como identificar os elementos determinantes da qualidade das mesmas. As coletas de água foram realizadas mensalmente por um período de 27 meses (dez/2003 a nov/2005; nov/2006 e março e abr/2007) em 10 poços rasos distribuídos aleatoriamente sobre o DIBAU. Neste estudo foram considerados os cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) e os ânions (Cl^- , HCO_3^- e SO_4^{2-}). A composição hidroquímica foi definida pelo Diagrama de Piper, e a similaridade da qualidade das águas foi efetuada pela análise multivariada (análise de agrupamento). As águas dos poços investigados se agruparam sem apresentar continuidade geográfica, sendo o sódio e o cloreto os elementos determinantes dos quatro grupos formados. A similaridade das águas dos poços que formaram o Grupo 4, permitem uma redução no número de poços amostrados, o que minimiza os custos de monitoramento. Embora tenha ocorrido a formação de quatro grupos, pelo Diagrama de Piper, todas as águas foram classificadas como cloretadas sódicas. A análise de agrupamento identificou os elementos determinantes de cada grupo, enquanto o Diagrama de Piper classificou as águas sem identificar a maior ou menor contribuição de um determinado elemento.

Palavras-chave - Análise de agrupamento. Qualidade de água-classificação. Salinidade-água.

Abstract - It is constant the risk of contamination in the water table by leaching of salts and toxic waste, such as fertilizer and pesticides. Therefore, it is necessary to understand the dynamics of the quality of waters and devise a plan of sustainable water use consequently a study was conducted at the water table basin located at the Perímetro Irrigado do Baixo Acaraú (DIBAU). The objective of this study was to classify the water quality relative to its hydrochemical composition and to identify the determinants of these qualities samples of water table were collected monthly for 27 months (from Dec/2003 to Nov/2005, Nov/2006, March and Apr/2007) from 10 shallow wells randomly distributed on DIBAU. During this study the cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) and anions (Cl^- , HCO_3^- e SO_4^{2-}) contained in these samples were evaluated. The hydrochemical composition was defined by the Piper diagram, and the similarity of water quality was performed by multivariable analysis (cluster analysis). The results revealed that waters from the wells analyzed were grouped without presenting any geographical continuity. While sodium and chloride were the elements that determined the four groups obtained. The similarity of water from wells that formed group four resulted in a reduction in the number of wells to be sampled thereby minimizing the costs of monitoring. Although four groups were formed the Piper diagram demonstrated that all the waters were classified as chlorinated sodium. The cluster analysis identified the key elements in each group while the Piper diagram classified the waters without identifying the largest or smallest contribution of a particular element.

Key words - Cluster analysis. Water quality-classification. Salinity-water.

*- Autor para correspondência

¹Pesquisa financiada pelo CNPq

²Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Campus do Pici, Av. Mister Hull s/n, bloco 804, Fortaleza-CE, Brasil, CEP 60.455-970, Caixa-Postal: 12161, eandrade@pq.cnpq.br

³Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, Fortaleza, Ceará, deoagro@yahoo.com.br

⁴Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, Brasil, lindberg@cnpq.embrapa.br

⁵Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, wilson_agronomia@hotmail.com

⁶Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, luizcarlosguerreiro@gmail.com

Introdução

Embora os sistemas aquíferos sejam muito menos vulneráveis à contaminação do que as águas superficiais, a contaminação das águas subterrâneas é um evento muito mais preocupante, visto que as águas superficiais se renovam rapidamente, recuperando-se após cessar a fonte de contaminação (PALÁCIO, 2004; VIDAL; KIANG, 2002). No caso das águas subterrâneas, a recuperação da qualidade vai depender, entre outros fatores, do tipo de contaminante e pode ser tão demorada que, muitas vezes, se torna inviável, dando-se o aquífero como perdido (MENESCAL *et al.*, 2005). A avaliação da vulnerabilidade de aquíferos à contaminação constitui-se em um dos aspectos de maior importância para subsidiar o planejamento de uso do solo e para gerenciar a instalação e o funcionamento de empreendimentos potencialmente impactantes aos recursos hídricos subterrâneos (VARNIER; HIRATA, 2002; ANDRADE *et al.*, 2008). Este tipo de avaliação, portanto, é de grande importância para subsidiar a gestão ambiental de territórios diante das mais diversas atividades antrópicas (BROLLO *et al.*, 2000).

Ao se classificar a água, é necessário lembrar, ainda que procedente de uma mesma fonte, sua qualidade pode variar com o tempo. A variabilidade dos constituintes químicos encontrados na água, expressa a dinâmica de sua qualidade no espaço ou no tempo, quer pela constituição do solo, alterações climáticas ou por intervenções antrópicas na área (VEGA *et al.*, 1998). Desta forma as águas devem receber um monitoramento contínuo, e assim se obter o conhecimento de possíveis mudanças na qualidade e disponibilidade potencial e real dos mananciais hídricos.

O monitoramento da quantidade e qualidade das águas superficiais e subterrâneas tem sido realizado por muitos pesquisadores (SILVA; ARAÚJO, 2003; CHOWDARY; RAO, 2005; FENG *et al.*, 2005) e instituições, representando um poderoso instrumento que possibilita a avaliação da oferta hídrica, base para decisões de aproveitamento múltiplo e integrado da água, bem como para minimização de impactos ao meio ambiente (COIMBRA, 1991). A prática do monitoramento permite acompanhar as alterações das qualidades dos recursos hídricos a fim de que possa indicar as medidas necessárias, caso esteja ocorrendo degradação desse bem público, além de determinar sua adequabilidade para o uso proposto (abastecimento público, recreação, dessedentação dos animais, consumo humano ou irrigação).

Na situação usual de determinação da qualidade de água adotam-se medidas de múltiplos parâmetros, feitos em diferentes épocas e originados de diferentes estações de monitoramento. Por esta razão, uma matriz completa de dados é, freqüentemente, necessária para avaliar a qualidade da água (WUNDERLIN *et al.*, 2001).

Uma técnica multivariada que vem sendo empregada na classificação da qualidade das águas por pesquisadores (SINGH *et al.*, 2004; PALÁCIO, 2004; VEGA *et al.*, 1998) das mais diferentes partes do globo é a análise de agrupamento. Tendo-se por base estas considerações, aplicou-se a técnica de estatística multivariada/análise de agrupamento e Diagrama de Piper com o objetivo de identificar a similaridade de variáveis determinantes da qualidade das águas bem como a classificação iônica das mesmas no lençol freático do Distrito de Irrigação do Baixo Acaraú, no Estado do Ceará.

Material e métodos

A área objeto deste estudo, Distrito de Irrigação do Baixo Acaraú – DIBAU, está inserida no divisor topográfico de duas bacias hidrográficas, na parte baixa da Bacia Hidrográfica do Rio Acaraú e na Bacia Litorânea; abrangendo parte do território dos municípios de Acaraú, Marco e Bela Cruz no estado do Ceará. O DIBAU ocupa uma área de aproximadamente 13 mil hectares, destas 8.840 hectares já foram licitadas (Figura 1).

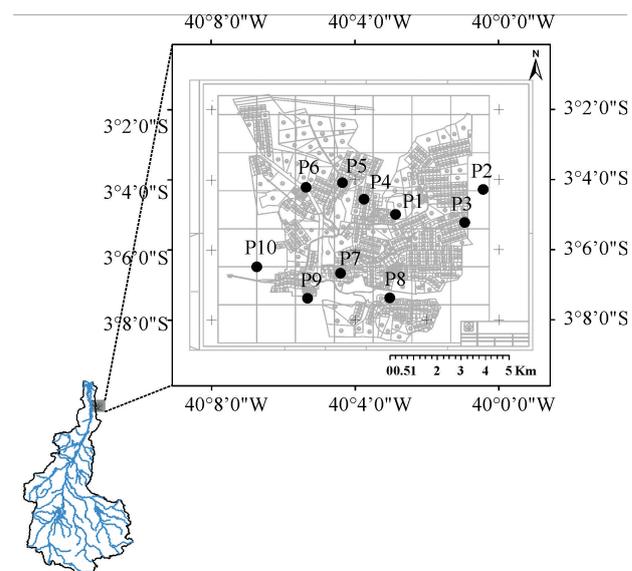


Figura 1 - Localização do Distrito de Irrigação do Baixo Acaraú na bacia hidrográfica do rio Acaraú, Estado do Ceará

O clima da área de estudo é do tipo Aw³, quente e úmido com chuvas de verão-outono, registrando temperaturas médias mensais sempre superiores a 18 °C. A região apresenta precipitação anual média de 960 mm e evaporação potencial de aproximadamente 1.600 mm anuais.

A geologia da área de estudo é representada pela formação Terciária, Grupo Barreiras, caracterizada por

depósitos pouco consolidados, geralmente originando solos profundos e bem drenados (MATIAS FILHO *et al.*, 2001). Tomando-se por base o levantamento (1:600.000), verificou as seguintes classes predominantes de solos na área: Neossolo flúvico e Argissolos Vermelho-Amarelo (Figura 2).

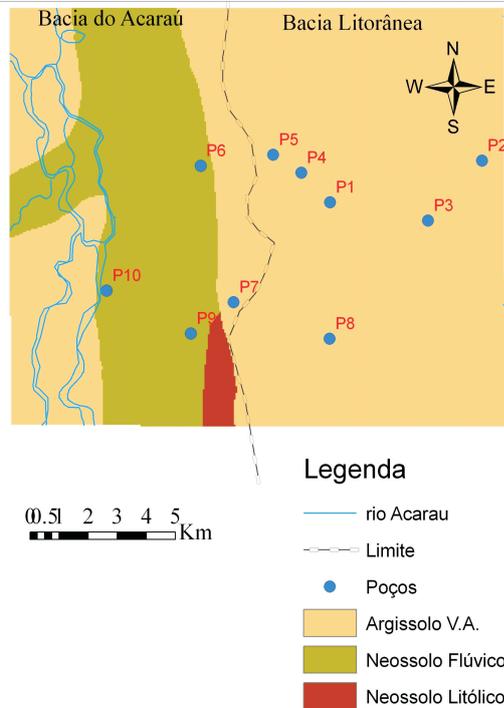


Figura 2 - Classes de solo predominantes no Distrito de Irrigação do Baixo Acaraú, estado do Ceará

Os pontos de coletas de água foram previamente escolhidos com o auxílio de mapas do DIBAU e através de visitas *in locu*. Visando acompanhar as alterações hidroquímicas espacial e sazonal ocorridas nas águas subterrâneas, selecionaram-se 10 poços rasos como estações de coletas (Figuras 1 e 2). As coletas de água foram realizadas mensalmente por um período de 27 meses (dez/2003 a nov/2005, nov/2006 e março e abril/2007) totalizando 270 amostras. Neste estudo foram considerados os cátions de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ e os seguintes ânions Cl^- , HCO_3^- e SO_4^{2-} , os quais foram determinados seguindo a metodologia apresentada por Richards (1954).

Com o objetivo de classificar as amostras de água em grupos semelhantes que expressassem respostas hidroquímicas com tendências similares, utilizou-se a análise de agrupamento pelo método aglomerativo via processamento no software SPSS 16.0. Os erros devido às escalas e unidades das variáveis selecionadas foram evitados fazendo-se a normalização dos dados ($x = 0$, $\sigma = 1$) e a similaridade foi

estimada pela distância Euclidiana ao quadrado, uma vez que as variáveis classificatórias adotadas neste estudo são variáveis reais e, portanto, são mensuradas em uma escala de intervalo. O algoritmo de agrupamento que foi utilizado na definição dos agregados neste trabalho foi o método *Ward*.

Na definição de um número ótimo de agrupamentos, empregou-se “o coeficiente de aglomeração” (CA). Partindo-se do princípio enunciado por Dillon e Goldstein (1984) de que aumentos repentinos no valor do coeficiente de aglomeração representam fusão de elementos diferentes, a definição do número ótimo de agrupamentos foi efetuada por esse coeficiente pelo emprego da seguinte equação:

$$CA = \sum_{j=1}^k \left(\sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}^2 - \frac{1}{n_j} \left(\sum_{i=1}^{n_j} x_{ij} \right)^2 \right)$$

onde, CA: coeficiente de aglomeração; X_{ij} : valor da amostra i individual em cada grupo j ; k : total de amostras em cada estágio; n_j : número de amostras do grupo.

Os dados médios de cada parâmetro analisado dos respectivos grupos formados foram submetidos à análise de teste de média e confrontados pelo Teste t (1%), através do programa SPSS 16.0 for Windows. A classificação da composição iônica das águas dos poços presentes em cada grupo, definido pela análise de agrupamento, foi realizada através do Diagrama de Piper empregando-se o software QUALIGRAF (FUNCEME, 2010). Esta classificação é em função das concentrações de cálcio, magnésio, da soma de sódio e potássio, e, ainda pelos ânions cloretos, sulfatos e a soma de carbonatos com bicarbonatos.

Resultados e discussão

A semelhança das águas entre os 10 poços amostrados, no período de estudo, pelo emprego da técnica de análise multivariada, de agrupamento, formou quatro grupos homogêneos. Para definir o número de grupos, tomou-se como base a primeira grande variação percentual entre os coeficientes de dois agrupamentos consecutivos (Tabela 1). Pela referida tabela verifica-se que a primeira maior variação percentual do coeficiente (546, 509 – 381,72), foi de 43,17% a qual ocorreu na passagem da formação de 6 para 4 grupos deixando explícito que o número mais adequado de *cluster* para os dados analisados seria 4 (quatro) agrupamentos.

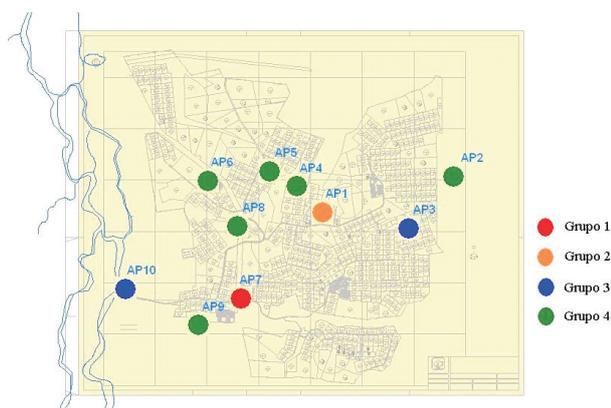
O agrupamento da qualidade das águas subterrâneas no DIBAU foi definido pela variabilidade espacial das

Tabela 1 - Variação do coeficiente de aglomeração para a análise hierárquica de agrupamentos

Número de Agrupamentos	Agrupamento combinado		Coeficiente	Variação no coeficiente para o próximo nível (%)
	Agrupamento 1	Agrupamento 2		
8	28	30	295,992	9,40
7	14	17	323,813	17,88
6	14	27	381,724	43,17
4	28	113	546,509	38,08
2	1	26	754,640	111,89
1	1	14	1599,00	-

variáveis hidroquímicas analisadas, não ocorrendo uma influência maior da variabilidade temporal (Figura 3). A dinâmica da condutividade elétrica, do sódio e do cloreto nas águas subterrâneas, apresenta uma maior relação com situações espaciais do que com as temporais; comportamento contrário ocorre nas águas superficiais (PALÁCIO, 2004; VEGA *et al.*, 1998; VIDAL; KIANG, 2002).

O Grupo 1 foi formado pelas águas provenientes do P7; o Grupo 2 foi composto exclusivamente pelas águas oriundas do P1; o Grupo 3 se compõe por águas coletadas no P3 (sete amostras) e no P10 (oito amostras), e por fim o Grupo 4 foi composto pelas águas coletadas nos pontos P2; P4; P5; P6; P8; P9 e pelas águas coletadas no P3 dos meses de janeiro e maio de 2004 e julho, setembro e novembro de 2005 e do P10, coletadas em fevereiro, abril e junho de 2004. Vidal e Kiang (2002) empregando análise multivariada de agrupamento por meio do emprego das variáveis sódio, potássio, cálcio, magnésio, bicarbonato, cloreto e sílica aquosa, visando a caracterização hidroquímica dos aquíferos da bacia de Taubaté, identificaram quatro agrupamentos hidroquímicos heterogêneos de qualidade da água, número de agrupamentos semelhantes ao encontrado nessa pesquisa.

**Figura 3** - Distribuição dos poços dentro dos agrupamentos formados

A composição média, os valores máximos e mínimos dos cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) e dos ânions (Cl^- , HCO_3^- e SO_4^{2-}) para as águas de cada grupo de poços do DIBAU, podem ser vistas na Tabela 2. As águas dos poços que compõem os Grupos 1 e 2 detêm as maiores concentrações de Na^+ e Cl^- , não diferindo estatisticamente pelo Teste t ao nível de 1% de significância. Estes valores ao longo de todo o período estudado encontram-se fora do padrão de conformidade para consumo humano, pois apresentaram concentrações acima dos limites aceitáveis estabelecidos pela Portaria 518/04 do CONAMA (200 mg L^{-1} e 250 mg L^{-1} para o sódio e cloreto, respectivamente). Estas concentrações são preocupantes, pois o alto consumo de sódio é atualmente utilizado como preditor de doenças cardiovasculares (MOLINA *et al.*, 2003). Os altos teores desse íon podem ser decorrentes da lixiviação dos resíduos produzidos pelas fossas sépticas das residências comunitárias situadas na proximidade destes poços, visto que o P7 e P1 estão inseridos em um aglomerado populacional rural, sendo ainda mais agravante o fato da maioria das residências utilizar o sistema de coleta de esgotos através de fossas ou sumidouros, localizados diretamente no aquífero livre.

Varnier e Hirata (2002), estudando a contaminação de águas subterrâneas pelos resíduos oriundos das fossas sépticas, verificaram que as concentrações de cloreto foram maiores nos poços situados próximos à fossa, reduzindo-se com o distanciamento. O aumento nos teores de cloreto nas águas do lençol freático, ocasionado por poluição antrópica foi, também, detectado por Andrade *et al.* (2004).

Verifica-se que as águas do Grupo 2 destacam-se por apresentar os maiores valores médios de bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) apresentando diferença significativa ($p < 0,01$) pelo Teste t dos demais grupos. Portanto, é preciso considerar as limitações de propriedades físicas destes solos em planejamento futuros, caso se pretenda alocá-los para atividades agrícolas irrigadas, a fim de minimizar a contaminação direta e pontual do lençol freático.

As concentrações do íon cloreto nas águas que compõem os Grupos 1 e 2 não diferiram entre si ao nível de 1%, mas diferiram das concentrações registradas nas águas que compõem os Grupos 3 e 4 para o mesmo nível de significância. As menores concentrações foram registradas nas águas que representam os dois últimos grupos. Os valores médios foram, sempre, inferiores a 5 mmol_c L⁻¹ (177,25 mg L⁻¹), não expressando assim limitações de uso para consumo humano. No entanto, não se pode desconsiderar que no Grupo 4 os valores máximos do cloreto foram superiores ao limite recomendado pelo CONAMA (2005).

Os valores médios do bicarbonato na água dos poços estudados do DIBAU (Tabela 2), sempre foram inferiores aos do cloreto, confirmando os resultados encontrados por Audry e Suassuna (1990). Os valores de cátions e ânions encontrados nesse estudo estão de acordo com aqueles observados por Silva Júnior *et al.* (1999) em estudo da composição química de águas do cristalino brasileiro em Pau-dos-Ferros (RN) e Picuí (PB). Os referidos autores

observaram predominância do Cl⁻ e do Na⁺ à medida que havia aumento na salinidade, e os teores percentuais de HCO₃⁻ e Ca²⁺ contrariamente diminuem com o aumento da salinidade. De acordo com Leprun (1983) o aumento da concentração salina das águas favorece cada vez mais os teores de cloreto de sódio, em detrimentos de bicarbonatos de cálcio e magnésio que tendem a precipitar em virtude da baixa solubilidade.

Para se efetuar uma análise detalhada da contribuição dos íons maiores presentes nos agrupamentos definidos pela análise de agrupamento, na classificação das águas, aplicou-se o Diagrama de Piper (Figuras 4 e 5) resultando que, das 270 amostras analisadas houve uma pequena dispersão dos pontos.

Das águas analisadas nos poços pertencentes aos Grupos 1 e 2, 100% foram classificadas como cloretadas sódicas (Figura 4). Importante destacar a presença do poço P2 no Grupo 1, a qual refere-se a apenas uma amostra. Observando os triângulos menores, que indicam a predominância de cátions e/ou ânions, verificou-se que

Tabela 2 - Valores médios do Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻ e SO₄⁻² dos grupos dos poços subterrâneos do Distrito de Irrigação do Baixo Acaraú, estado do Ceará

Atributos	Parâmetros descritivos	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Ca ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	Média	0,38 ± 0,26 b	1,45 ± 0,37 a	0,48 ± 0,27 b	0,20 ± 0,24 c
	Mínimo	0,06	0,95	0,10	0,01
	Máximo	1,05	2,21	0,95	1,03
Mg ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	Média	2,73 ± 0,83 b	6,42 ± 0,93 a	1,11 ± 0,68 c	0,77 ± 0,50 c
	Mínimo	1,09	4,69	0,23	0,24
	Máximo	4,21	8,33	1,97	3,08
Na ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	Média	16,88 ± 3,67 a	17,11 ± 1,85 a	3,27 ± 1,52 b	3,33 ± 1,56 b
	Mínimo	11,57	14,20	1,47	1,48
	Máximo	23,91	20,75	5,32	5,47
K ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	Média	0,19 ± 0,04 c	1,11 ± 0,11 a	0,44 ± 0,11 b	0,27 ± 0,12 c
	Mínimo	0,16	0,93	0,22	0,13
	Máximo	0,33	1,31	0,64	0,65
Cl ⁻ (mmol _c L ⁻¹)	Média	21,43 ± 3,45 a	22,78 ± 1,37 a	4,29 ± 1,70 b	4,44 ± 1,90 b
	Mínimo	14,70	20,00	1,70	0,70
	Máximo	28,00	24,80	6,30	8,50
HCO ₃ ⁻ (mmol _c L ⁻¹)	Média	0,09 ± 0,26 b	0,09 ± 0,09 b	1,53 ± 0,55 a	0,11 ± 0,12 b
	Mínimo	0,01	0,01	0,54	0,01
	Máximo	0,95	0,31	2,45	0,56
SO ₄ ⁻² (mmol _c L ⁻¹)	Média	0,07 ± 0,03 bc	0,06 ± 0,03 c	0,29 ± 1,13 a	0,12 ± 0,08 b
	Mínimo	0,05	0,01	0,12	0,01
	Máximo	0,15	0,10	0,58	0,38

*médias seguidas de letra minúscula diferente, diferem entre si na coluna pelo Teste de t ao nível de 1% de probabilidade.

para os cátions houve uma maior dispersão dos dados, porém a predominância foi de águas sódicas em 100% dos casos. Já para os ânions, quase não houve dispersão dos resultados, caracterizando águas 100% cloretadas. A Figura 5 mostra que as águas analisadas nos poços pertencentes aos Grupos 3 e 4 também foram, em sua totalidade, classificadas como cloretadas sódicas. Ademais analisando os triângulos menores, verificou-se que para os cátions a predominância foi de águas sódicas com 100% dos casos, enquanto para os ânions, encontrou-se 100% das amostras dos poços do Grupo 4 enquadradas como águas cloretadas e apenas 2 amostras (13,3%) representantes do grupo 3, apresentaram-se como águas mistas (bicarbonatadas-sulfatadas-cloretadas). Comportamento que confirma o estudo feito por Silva Filho *et al.* (2002), onde concluíram que águas subterrâneas do

Cristalino do nordeste brasileiro são classificadas como cloretadas, bicarbonatas e mistas.

Em estudos da dinâmica iônica das águas superficiais da parte baixa da bacia do Acaraú, Mesquita *et al.* (2004) observaram que das 38 amostras de água analisadas, quanto aos ânions, apresentaram uma maior tendência a serem classificadas como cloretadas, obtendo um percentual dominante deste ânion em torno de 78,9%, enquanto para os teores de cátions 94,7% enquadraram-se como mistas (cálcicas-magnesianas-sódicas).

Os resultados obtidos pelo Diagrama de Piper indicam que a análise de agrupamento apresentou maior sensibilidade para identificar as diferenças existentes entre os poços no que concerne às variações na concentração dos cátions e íons.

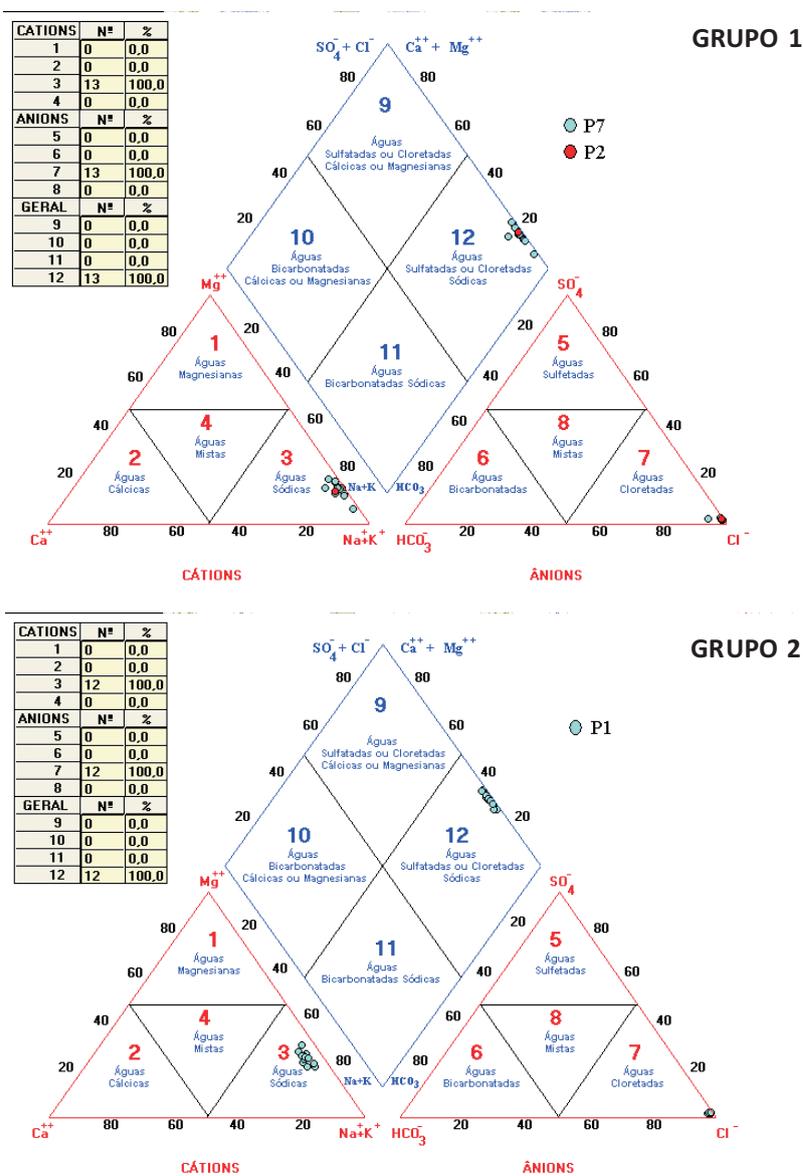


Figura 4 - Classificação das águas subterrâneas dos Grupos de poços 1 e 2 do Distrito de Irrigação do Baixo Acaraú

Este comportamento característico das águas para a região estudada pode ser explicado principalmente pelos fatores edáficos e hidrogeológicos, visto que o DIBAU se encontra na parte baixa do terço inferior da bacia do rio Acaraú, cuja predominância são os solos Aluviais arenosos e derivados do arenito e cristalino. Além disso, é uma área banhada por águas provenientes da drenagem dos solos cristalinos da parte alta da bacia. Os acúmulos de sódio e cloro nas águas dos poços estudados podem ser potencializados pelo tipo de textura do solo da região, visto que os solos arenosos apresentam menores resistências às lixiviações profundas dos sais existentes nos mesmos.

Deve-se enfatizar, neste caso, que os poços amazonas na região do Baixo Acaraú, são influenciados diretamente pelo aquífero Acaraú que, por sua vez, são influenciados pelas características dos Luvissoles e Neossolo Litólicos da parte alta da bacia, havendo influência da mineralogia dos materiais ao longo da bacia de drenagem que, em alguns casos, contribuem para aumentar a salinidade do solo e das águas na parte baixa da bacia.

Conclusões

A definição dos grupos homogêneos das águas do lençol freático do DIBAU independe da posição geográfica dos mesmos, uma vez que os grupos se formaram independentemente da sua posição geográfica. A similaridade das águas dos poços que formaram o Grupo 4, permite uma redução no número de poços amostrados, o que minimiza os custos de monitoramento.

A análise de agrupamento permite se identificar os elementos determinantes de cada grupo, enquanto o Diagrama de Piper classifica as águas sem identificar a maior ou menor contribuição de um dado elemento.

De acordo com a classificação iônica, 100% dos poços analisados apresentaram águas classificadas como cloretadas sódicas, não havendo diferenças quanto à classificação pelo Diagrama de Piper entre os grupos definidos pela análise de agrupamento.

Literatura científica citada

ANDRADE, E. M. *et al.* Land use effects in groundwater composition of an alluvial aquifer (Trussu River, Brazil) by multivariate techniques. **Environmental Resource**, v. 106, p. 170-177, 2008.

ANDRADE, E. M. *et al.* Evolução da concentração iônica da solução do solo em áreas irrigadas na Chapada do Apodi, CE. **Revista Ciência Agrônoma**, v. 35, n. 01, p. 09-16, 2004.

AUDRY, P.; SUASSUNA, J. A. **A qualidade da água na irrigação do trópico semi-árido um estudo de caso**. In: SEMINÁRIO FRANCO BRASILEIRO DE PEQUENA IRRIGAÇÃO, 1990. Recife, **Anais...** Recife (s.n.), 1990. p. 147-153.

CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 357 de 17 de março de 2005**. Brasília: 2005. 23p. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 09 abr. 2007.

BROLLO, J. M.; VEDOVELLO, R.; ODA, G. H. **Avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos à contaminação através de um sistema gerenciador de informações geoambientais – Um instrumento de gestão ambiental**. XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. São Paulo, 2000.

CHOWDARY, N. H.; RAO, P. B. S. Sarma Decision support framework for assessment of non-point-source pollution of groundwater in large irrigation projects. **Agricultural Water Management**, v. 07, n. 05, p. 194–225, 2005.

COIMBRA, R. N. monitoramento da Qualidade da Água. In: PORTO, R. L. *et al.* **Hidrologia ambiental**. São Paulo: EDUSP; São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1991. p. 391-411. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.3).

DILLON, W. R.; GOLDSTEIN, M. **Multivariate analysis methods and applications**. New York: John Wiley e Sons, 1984. 587p.

FENG, Z. Z.; WANG, X. K.; FENG, Z. W. Soil N and salinity leaching after the autumn irrigation and its impact on groundwater in Hetao Irrigation District, China. **Agricultural Water Management**, v. 71, p. 131-143, 2005.

FUNCEME. **Atualização do Monitoramento dos espelhos d'água dos açudes do Estado do Ceará**. Recursos Hídricos. Fortaleza, 2010. Acesso em: 08 abr. 2010.

LEPRUN, J. C. **Primeira avaliação das águas superficiais do Nordeste**. In: Relatório Final do Convênio Manejo e Conservação do Solo do Nordeste Brasileiro. Recife: SUDENE-DRN, 1983. p. 91-141. (Convênio SUDENE/ORSTOM).

MATIAS FILHO, J. *et al.* **Estudos e Pesquisas para avaliação de riscos potenciais de drenagem e/ou salinidade na área prioritária do projeto de irrigação Baixo Acaraú**. Fortaleza: UFC, 2001, 27p. (Relatório Técnico)

MENESCAL, G. C.; CASTRO, M. A. H.; COSTA, C. T. Simulação do Comportamento do Fluxo de Água e Transporte de Contaminantes de um Sistema Aquífero no Perímetro Irrigado de Morada Nova – Ceará. In: XXV IBERIAN LATIN AMERICAN CONGRESS ON COMPUTACIONAL METHODS – CILAMCE, 2005. **Anais ...** Recife, Nov. 2005, 16 p.

MESQUITA, T. B. *et al.* **Classificação das águas na bacia do Acaraú**. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7, 2004, São Luiz - MA. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 1 CD.

MOLINA, M. D. B. *et al.* Hipertensão arterial e consumo de sal em população urbana. **Revista de Saúde Pública**, v. 37, n.6, p. 743-750, 2003.

- PALÁCIO, H. A. Q. **Índice de qualidade de água na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu – Ce**, 2004, 95 f. Dissertação (Mestrado em irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- RICHARDS, L. A. (ed) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. **ESDA Agricultural Handbook**. V.60. Washington: U.S: Department of Agriculture, 1954. 1960p.
- SILVA, A. R. C.; ARAÚJO, T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 08, n. 04, p. 1019-1028, 2003.
- SILVA FILHO, S. B. *et al.* Monitoramento da qualidade e acúmulo de sais no solo pela irrigação. **Irriga**, v. 05, n. 02, p. 35-40, 2002.
- SILVA JÚNIOR, L. G. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. Composição química de águas do cristalino do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 04, n. 01, p. 11-17, 1999.
- SINGH, K.P. *et al.* Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (Índia) - a case study. **Water Research**, v. 38, n. 18, p. 3980-3992, 2004.
- VARNIER, C.; HIRATA, R. Contaminação da água subterrânea por nitrato no parque ecológico do Tietê - São Paulo, Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, n. 16, p. 97-104, 2002.
- VEGA, M. *et al.* Assesment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. **Water ResPrch**, v. 32, n. 12, p. 3581-3592, 1998.
- VIDAL, A. C.; KIANG, C. H. Caracterização hidroquímica dos aquíferos da bacia de Taubaté. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, n. 02, p. 267-276, 2002.
- WUNDERLIN, D. A. *et al.* Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study: Suquia river basin (Córdoba-Argentina). **Water Reaserch**, v. 35, n. 01, p.2881-2894, 2001.