

# HIDROQUÍMICA DE ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS DA BACIA DA GAMELEIRA, MUNICÍPIO DE AIUABA/CE

Lucilene Pereira<sup>1a</sup>; Maria Marlúcia Freitas Santiago<sup>1b</sup>; Horst Frischkorn<sup>2a</sup>;  
José Carlos de Araújo<sup>2b</sup> & José Ossian Gadelha de Lima<sup>1c</sup>

**Resumo** - Os principais processos que determinam a composição química das águas superficiais e subterrâneas da Bacia da Gameleira, no município de Aiuaba/CE foram estudados. A área é preservada pelo IBAMA e faz parte do projeto IBESA (Implantação de Bacias Experimentais no Semi-Árido). Análises hidroquímicas de três açudes e de três cacimbas coletadas durante o período de fevereiro de 2003 a maio de 2004 mostram que: (i) as águas dos açudes são menos mineralizadas, com STD até 274,3 mg/L e as das cacimbas, mais mineralizadas com STD até 794 mg/L; (ii) o risco de sódio é baixo em todas as amostras; (iii) predominam águas bicarbonatadas mistas; águas cloretadas magnesianas foram encontradas em uma cacimba; (iv) o excesso de Cl<sup>-</sup> em relação ao Na<sup>+</sup> na cacimba C2 está associado ao magnésio (v) Os diagramas de Gibbs indicam que as águas têm domínio de interação com as rochas na maioria das amostras.

**Abstract** - For samples from of surface and groundwater from Gameleira Basin, in the township of Aiuaba/CE, the principal processes that determin the chemical compositions werw studied. The area, an IBAMA reserve, is part of the IBESA Project (Implantation of Experimental Basins in the Semi Arid). Hydrochemical analyses for three dams and three dug wells indicate: (i) dam waters have the lowest TDS (< 274 mg/L) and well waters the highest (< 794 mg/L); (ii) all waters present low sodium risk in irrigation; (iii) the chemical type HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/ mixed prevails, the Cl<sup>-</sup>/Mg<sup>2+</sup> type is found in one dug well; (iv) well C2 exhibits an elevated excess of Cl<sup>-</sup> in relation to Na<sup>+</sup>; (v) Gibbs's diagrams reveal interaction with minerals from rocks as dominant process of mineralisation in most waters.

**Palavras-Chave** – Hidroquímica; Aiuaba-CE; Cristalino.

<sup>1</sup> Departamento de Física da UFC, Caixa Postal 6030, Cep 60455-760 Tel.: (0xx85) 288.9913, Fax: (0xx85) 288.9450; e-mail: (a) [lucilene@fisica.ufc.br](mailto:lucilene@fisica.ufc.br), (b) [marlucia@fisica.ufc.br](mailto:marlucia@fisica.ufc.br) (c) [ossian@fisica.ufc.br](mailto:ossian@fisica.ufc.br).

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC; Tel.: (0xx85) 288.9775, Fax: (0xx85) 288 9627; e-mail: (a) [cariri@ufc.br](mailto:cariri@ufc.br) e (b) [jaraujo@ufc.br](mailto:jaraujo@ufc.br).

## **INTRODUÇÃO**

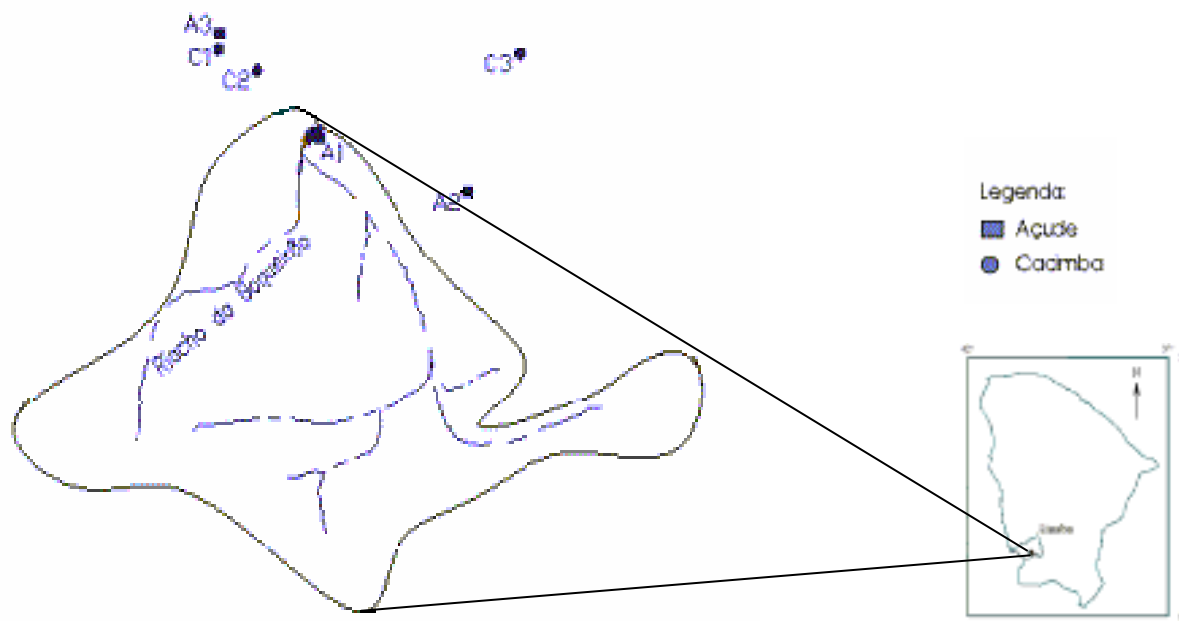
A Bacia da Gameleira, inserida na Estação Ecológica de Aiuaba, região semi-árida dos Inhamuns, Estado do Ceará, é uma das sete bacias do Projeto de Implantação de Bacias Experimentais do Semi-Árido (IBESA), que tem como objetivo principal o conhecimento da Hidrologia do Semi-Árido Nordeste através de metodologias unificadas pelas universidades participantes (UFC, UFPB, UFCG, UFAL, UFRPE e UFRN).

Para o entendimento dos processos de salinização e de transporte das águas subterrâneas e superficiais da bacia foi construído em seu exutório, um açude de aproximadamente 30.000 m<sup>3</sup>, e profundidade média de cerca 4 m, no período chuvoso [1]. Como toda a bacia está inserida em uma área preservada pelo IBAMA, o seu estudo é válido para outras bacias no cristalino das regiões semi-áridas de pouca influência antrópica.

Um outro fator decisivo para a realização do estudo na região é o déficit hídrico de aproximadamente 1000 mm/ano [1]. Este parâmetro é uma das preocupações quando se trata de abastecimento de comunidades nos longos períodos de estiagem. Neste trabalho foi feito um estudo dos processos hidroquímicos através das relações iônicas nas águas superficiais e subterrâneas, coletadas durante o período de fevereiro de 2003 a maio de 2004.

## **ÁREA DE TRABALHO**

A Bacia Experimental da Gameleira, com área de aproximadamente 20 km<sup>2</sup>, está localizada dentro da Estação Ecológica de Aiuaba, situada no município de Aiuaba, sudoeste do Estado do Ceará com uma área cerca de 11.525 hectares (Figura 1).



**Figura 1** - Localização da Bacia da Gameleira, Aiuaba – CE e dos pontos de amostragem de água.

Os parâmetros climáticos apontam, segundo a classificação de Köppen, um clima quente e semi-árido. Os dados de temperatura revelam valores médios anuais entre 24,2 e 28,2 °C, sendo dezembro o mês mais quente e junho o mais frio [2]. A chuva média anual na área é de 570 mm e a evapotranspiração potencial de 1570 mm.

A vegetação é do tipo arbustiva e varia principalmente de caatinga hipoxerófito e hiperxerófito a floresta caatinga. Em alguns locais, esta vegetação torna-se esparsa, apresentando solo desnudo [3].

Os principais cursos d'água que drenam a área são os riachos da Gameleira, Boqueirão São Cornélio, do Deserto, do Mirador, dos Caldeirões e do Letreiro. Na área de estudo, distingui-se dois domínios hidrogeológicos: as rochas cristalinas, constituindo aquíferos fissurais de baixa produção hídrica, e os depósitos aluvionares, constituindo aquíferos de sedimentos areno-argilosos recentes de elevada produção hídrica em relação aos fissurais.

Os solos da bacia são do tipo Latossolo de textura argilosa e média, fase floresta/caatinga de relevo plano, associação de Bruno Não-Cálcico com textura argilosa, fase pedregosa de relevo suave e ondulado, associação de Planossolo Solódico com textura arenosa e média, fase pedregosa e rochosa de relevo suave ondulado com substrato gnaisse e granito e Solonetz Solodizado de textura arenosa e média de fase relevo plano [4].

## METODOLOGIA

A amostragem da Bacia da Gameleira consistiu de coletas sistemáticas em três açudes e em três cacimbas (Figura 1). Como só existe um açude dentro da Bacia, foi interessante coletar amostras em mananciais próximos a esta. As águas dos açudes são utilizadas somente para agricultura e a água da cacimba C2 para consumo humano.

Os parâmetros físico-químicos condutividade elétrica e pH foram determinados “in loco”. As concentrações dos íons maiores,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{NH}_3^-$  e  $\text{NO}_2^-$  foram determinados no Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Física da UFC. Os métodos utilizados na determinação destes íons obedecem ao “Standard Methods” [5]:  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  pelo método titulométrico com EDTA;  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  pela fotometria de chama;  $\text{Cl}^-$  pelo método titulométrico com  $\text{AgNO}_3$ ;  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $\text{OH}^-$  pelo método titulométrico com  $\text{HCl}$ ;  $\text{SO}_4^{2-}$  pelo método turbidimétrico/espectrofotométrico com cloreto de bário;  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{Fe}^{2+}$  pelos métodos espectrofotométricos da eriocromocianina, da sulfanilamida, de Nessler e da ortofenantrolina, respectivamente.

O  $\text{NO}_3^-$  foi determinado através do método espectrofotométrico do NITRAVER. Este método não é indicado no Standard Methods mas apresentou excelente resultado, com coeficiente de correlação da curva de calibração da ordem de 0,99.

Para classificar as águas quanto aos íons dominantes, utilizou-se o diagrama de Piper e na classificação para irrigação, o diagrama da US Dept. of Agriculture. Este último se baseia nos valores de condutividade elétrica e da razão de adsorção de sódio (RAS), definida por:

$$\text{RAS} = \frac{r\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{r\text{Ca}^{+2} + r\text{Mg}^{+2}}{2}}}$$

onde,  $r\text{Na}^+$ ,  $r\text{Ca}^{2+}$  e  $r\text{Mg}^{2+}$  correspondem às concentrações, em meq/L, do sódio, cálcio e magnésio, respectivamente.

A evolução temporal dos íons também foi utilizada para analisar as variações nas concentrações nos períodos chuvoso e seco.

Uma importante ferramenta utilizada para analisar processos geoquímicos da área estudada foi o diagrama de Gibbs [6]. Este diagrama estuda a salinidade de águas superficiais por três mecanismos que controlam a química destas águas: precipitação atmosférica, domínio de rochas e evaporação-cristalização. O diagrama exibe um “bumerangue” obtido pela plotagem das razões  $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$  vs TDS para os cátions e  $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$  vs TDS para os ânions de águas superficiais naturais e do mar de locais de todo o mundo.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados referem-se às análises das amostras coletadas em 7 etapas consistindo de três coletas no período chuvoso, três no período seco e uma no período chuvoso consecutivo. É válido ressaltar que os açudes têm volumes muito diferentes; A2 é maior e o A3 é considerado um “barreiro” devido seu pequeno tamanho e por ter sido cavado à mão. A Figura 2 mostra o açude A1 no período chuvoso. Como não existem poços profundos perfurados dentro da Bacia para estudar as águas subterrâneas foi necessário coletar amostras de cacimbas.

A Tabela 1 mostra os dados de pH, CE, resultados das análises químicas e os sólidos totais dissolvidos (STD). Verifica-se que, quanto às águas superficiais, o açude A1 tem amostras mais mineralizadas, apresentando valor de condutividade elétrica máximo 312  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Observa-se ainda que neste açude o pH tem valor máximo de 9,41, no período seco e mínimo de 6,37 no período chuvoso. Este comportamento é devido às trocas iônicas entre água e solo do açude [7]. O açude A3, por ser recém-construído, apresenta as menores condutividades elétricas, com valor máximo de 51  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , no período seco e mínimo de 26,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , no período chuvoso.

De acordo com a Tabela 1, a água explotada pela cacimba C3 é a mais mineralizada com condutividade elétrica máxima de 913  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no período seco. A cacimba C2 é a menos mineralizada refletindo a renovação de água do aquífero; ela é utilizada para consumo humano de comunidades vizinhas. Nela, os valores de pH apresentaram-se em torno de 7 nos dois períodos.



**Figura 2** – Açude A1 durante o período chuvoso.

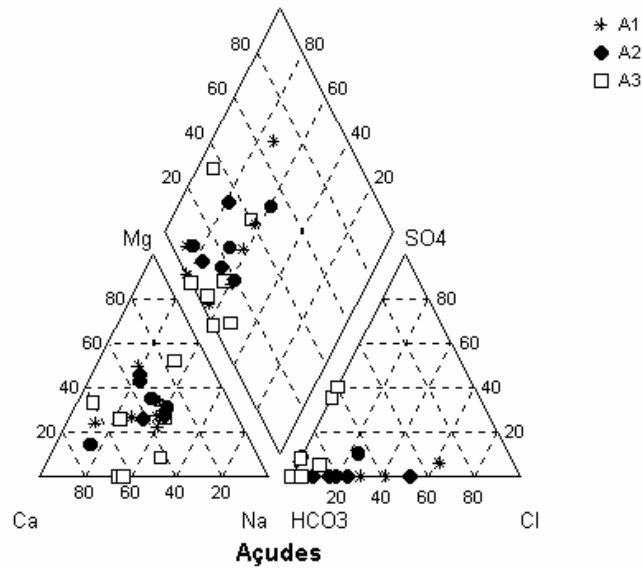
**Tabela 1** – Análises físico-químicas de águas superficiais e de águas subterrâneas coletadas na Bacia da Gameleira – Aiuaba/CE (A: açude, C: cacimba).

Data Coleta	Amostra	CE (µS/cm)	pH	STD (mg/L)	Concentração (mg/L)													
					Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Fe <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	OH <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Fev/03	2A1	119	9,00	105,7	11,18	3,88	7,45	20,34	1,22	0,00	0,54	12,29	1,58	10,89	18,35	0,00	17,94	0,04
	2A2	117	7,24	155,8	6,39	5,34	4,61	12,98	7,11	0,09	2,07	12,78	7,24	59,13	0,00	0,00	38,14	0,10
	2A3	51	6,73	137,4	7,19	2,43	0,91	3,90	14,07	0,03	2,38	0,00	16,76	38,90	0,00	0,00	50,92	0,02
	2C1	486	7,60	513,0	23,95	33,71	51,73	9,90	2,41	0,00	3,99	49,64	6,55	308,07	0,00	0,00	23,24	0,05
	2C2	278	5,68	214,5	10,38	18,92	21,41	1,94	0,54	0,02	2,99	73,24	6,84	68,46	0,00	0,00	9,91	0,04
	2C3	614	7,69	607,3	28,74	55,78	48,14	9,90	0,27	0,00	3,43	71,27	34,35	339,19	0,00	0,00	16,25	0,11
Mar/03	3A1	98,1	6,93	84,7	6,39	1,46	1,46	7,88	2,27	0,01	0,00	0,00	3,40	60,98	0,00	0,00	0,81	0,03
	3A2	81,4	6,74	70,1	3,99	0,49	0,97	3,90	0,90	0,01	1,05	0,00	3,86	50,03	0,00	0,00	4,90	0,05
	3A3	29,3	6,06	62,3	1,60	0,00	0,97	1,94	2,74	0,03	0,85	0,00	16,65	31,27	0,00	0,00	6,28	0,05
Abr/03	4A1	68,5	8,15	90,0	7,19	6,79	4,83	7,84	2,27	0,02	1,05	0,00	0,00	57,54	0,00	0,00	2,48	0,04
	4A2	64,5	7,37	81,4	6,39	4,85	4,83	6,54	4,22	0,01	1,68	2,95	0,00	47,53	0,00	0,00	2,48	0,04
	4A3	26,3	6,44	74,7	7,98	2,43	4,00	1,31	9,95	0,02	0,76	0,00	0,00	43,78	0,00	0,00	4,45	0,04
Mai/03	5A1	61,1	6,63	68,9	3,97	2,65	5,24	9,13	1,86	0,01	0,95	0,74	0,00	41,90	0,00	0,00	2,48	0,01
	5A2	73,4	7,08	77,2	6,36	2,41	5,66	7,84	4,28	0,02	0,90	4,91	0,00	41,90	0,00	0,00	2,91	0,03
	5A3	26,6	6,26	38,9	2,38	1,21	3,59	2,62	9,70	0,02	1,96	0,00	0,00	17,51	0,00	0,00	0,00	0,00
	5C1	269,0	7,02	283,2	15,89	19,30	28,53	6,54	5,60	0,01	1,05	15,70	6,74	183,2	0,00	0,00	0,61	0,06
	5C2	315,0	6,09	223,1	9,53	21,23	33,25	2,62	0,46	0,01	0,95	85,37	8,04	54,41	0,00	0,00	7,23	0,01
	5C3	913,0	7,37	794,0	60,37	56,46	97,99	13,00	14,07	0,03	2,60	160,9	38,29	324,0	0,00	0,00	26,35	0,10

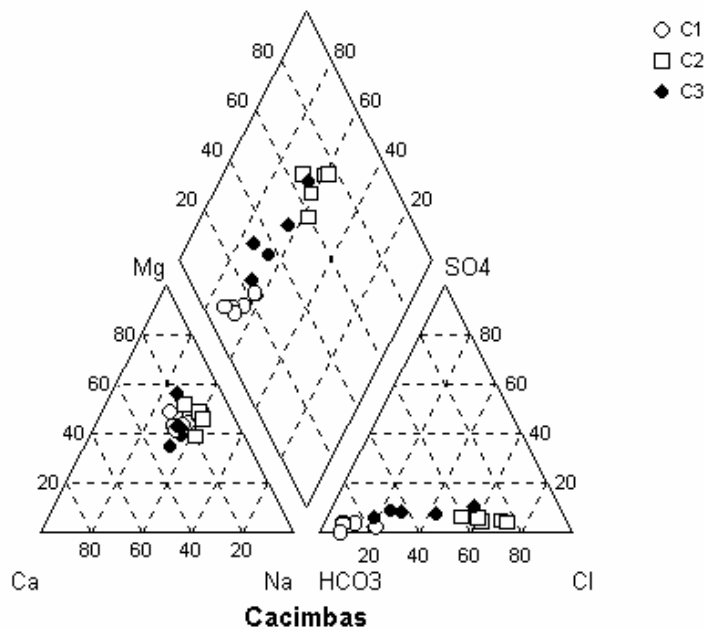
**Tabela 1 – Continuação.**

Data Coleta	Amostra	CE (µS/cm)	pH	STD (mg/L)	Concentração (mg/L)													
					Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Fe <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	OH <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Set/03	6A1	147,0	9,41	86,1	8,78	4,12	10,82	2,62	0,92	0,02	0,26	11,11	0,00	26,91	12,59	0,00	7,91	0,01
	6A2	110,0	8,44	106,6	7,19	4,61	7,77	10,43	4,23	0,05	0,00	10,10	0,00	52,54	0,00	0,00	9,69	0,02
	6A3	31,0	6,79	46,0	3,99	0,49	5,24	2,62	2,71	0,03	0,50	0,00	1,40	20,50	0,00	0,00	8,49	0,02
	6C1	237,0	7,44	342,7	23,95	24,25	32,19	6,54	0,49	0,01	0,00	11,11	8,14	228,08	0,00	0,00	7,91	0,04
	6C2	205,0	5,88	172,5	7,19	16,49	24,47	2,62	0,21	0,03	0,00	52,54	6,74	51,25	0,00	0,00	10,92	0,01
	6C3	750,0	7,40	722,3	63,87	43,17	80,21	10,43	0,29	0,01	0,00	96,99	38,01	375,44	0,00	0,00	13,83	0,10
Nov/03	7A1	312,0	9,20	274,3	13,86	8,90	20,06	45,41	0,13	0,03	1,05	33,34	0,00	130,70	0,00	0,00	20,84	0,01
	7A2	192,0	6,93	141,1	8,32	5,53	13,51	18,12	4,37	0,13	1,31	32,33	0,00	51,25	0,00	0,00	6,28	0,02
	7A3	48,0	7,26	59,8	7,92	0,00	5,24	3,93	1,01	0,04	0,62	2,02	1,49	30,75	0,00	0,00	6,75	0,01
	7C1	402,0	7,85	387,8	25,34	24,30	35,94	6,54	0,39	0,00	0,21	13,13	8,04	263,96	0,00	0,00	9,91	0,03
	7C2	229,0	6,03	165,2	9,50	11,55	23,48	2,62	0,30	0,01	0,62	43,44	7,14	56,38	0,00	0,00	10,16	0,03
	7C3	753,0	7,63	652,4	41,98	44,75	63,67	2,62	1,26	0,00	0,85	59,61	24,58	402,35	0,00	0,00	10,67	0,08
Mai/04	8A1	107,0	6,37	90,5	7,92	2,89	9,94	5,24	1,93	0,01	0,26	5,91	0,00	48,69	0,00	0,00	7,70	0,05
	8A2	90,0	6,46	73,6	5,54	2,89	8,20	3,93	1,64	0,01	0,00	5,42	0,00	38,44	0,00	0,00	7,46	0,05
	8A3	26,0	6,10	44,8	1,58	3,37	4,00	1,31	3,21	0,01	0,34	0,49	0,00	17,94	0,00	0,00	12,47	0,07
	8C1	398,0	7,20	318,0	20,59	25,02	25,98	6,54	0,43	0,01	0,76	11,83	0,00	221,67	0,00	0,00	5,13	0,04
	8C2	480,0	6,21	252,1	11,09	24,06	40,91	3,41	0,14	0,02	0,13	100,5	7,74	56,38	0,00	0,00	7,70	0,03

Os diagramas de Piper para as amostras dos açudes e das cacimbas estão apresentados nas Figura 3a e 3b, respectivamente. A maioria das amostras dos açudes é do tipo bicarbonatada mista, indicando a presença de água nova proveniente de precipitações recentes e as outras mostraram o perfil de bicarbonatadas cálcicas. As cacimbas C1 e C3 apresentaram na maioria das amostras o tipo bicarbonatada mista, enquanto que a maioria das amostras da cacimba C2 foi cloretada magnésiana.



(a)

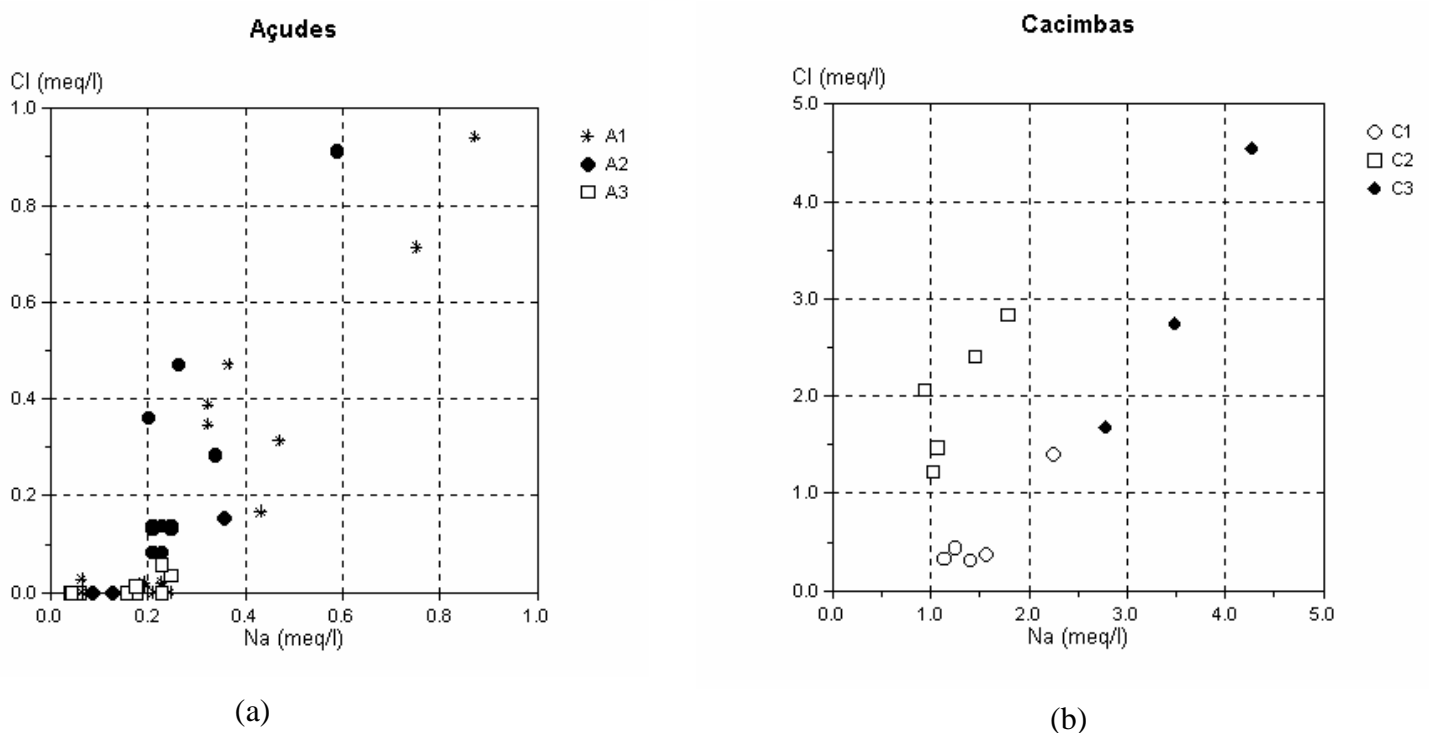


(b)

**Figura 3** - Diagrama de Piper para as águas superficiais e águas subterrâneas da Bacia da Gameleira, Aiuaba – CE. (a) Açudes (b) Cacimbas



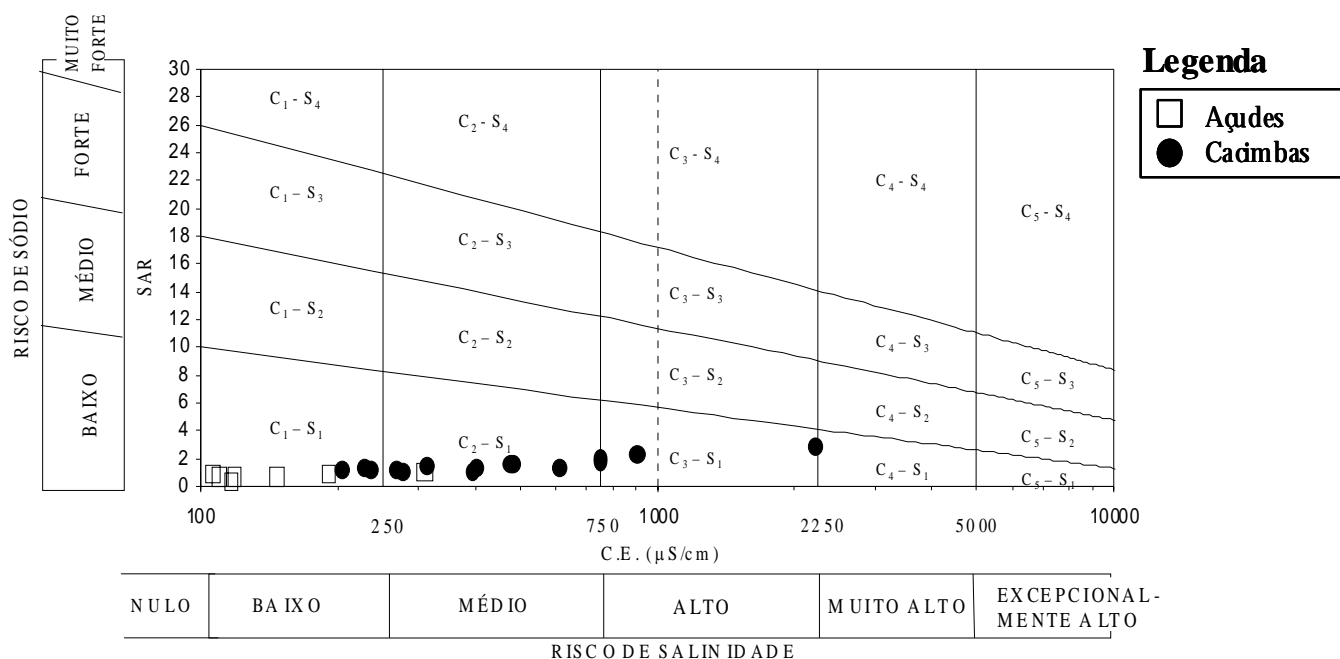
Nas Figuras 4a e 4b estão plotadas as concentrações de  $\text{Na}^+$  versus  $\text{Cl}^-$ , mostrando que para os açudes estes íons não estão bem correlacionados. A proporção de 1:1 que indica presença de aerossóis marinhos carregados pelas chuvas não é observada. Como não há boa correlação, indica que são águas renovadas pelas chuvas caracterizando águas bicarbonatadas mistas ou cálcicas, o que reforça os resultados apontados pelo diagrama de Piper. Para o açude A1, concentrações de  $\text{Cl}^-$  e de  $\text{Na}^+$  são muito baixas devido à sua recente construção e ao seu pequeno volume. No caso das cacimbas, também não há correlação entre sódio e cloretos apesar das concentrações serem mais elevadas do que nos açudes. Todas as amostras da cacimba C2 apresentaram excesso de  $\text{Cl}^-$  em relação ao  $\text{Na}^+$  indicando que o  $\text{Cl}^-$  está associado a outros cátions.



**Figura 4** – Correlação de  $\text{Na}^+$  versus  $\text{Cl}^-$  para as águas superficiais e águas subterrâneas da Bacia da Gameleira, Aiuaba – CE. (a) Açudes (b) Cacimbas

A Figura 5 mostra o diagrama da US. Dept of Agriculture. As amostras dos açudes apresentaram Risco de Salinidade na faixa de baixo a médio. Estas águas podem ser utilizadas em todas as culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de salinização do solo, salvo em áreas de permeabilidade extremamente baixa. No caso de Risco de Sódio, todas apresentaram baixo risco, podendo ser utilizadas para quase todos os solos com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca. As cacimbas apresentaram faixa de baixo a alto para o risco de salinidade. As águas com condutividades elétricas acima de  $750 \mu\text{S}/\text{cm}$  só podem ser utilizadas em solos bem drenados. Mesmo quando o solo é bem cuidado devem ser tomadas precauções especiais

contra a salinização e apenas vegetais de alta tolerância salina devem ser cultivados. Quanto ao sódio, todas as amostras apresentaram baixo risco.



**Figura 5** – Classificação das águas para irrigação segundo o diagrama da US Dept. of Agriculture.

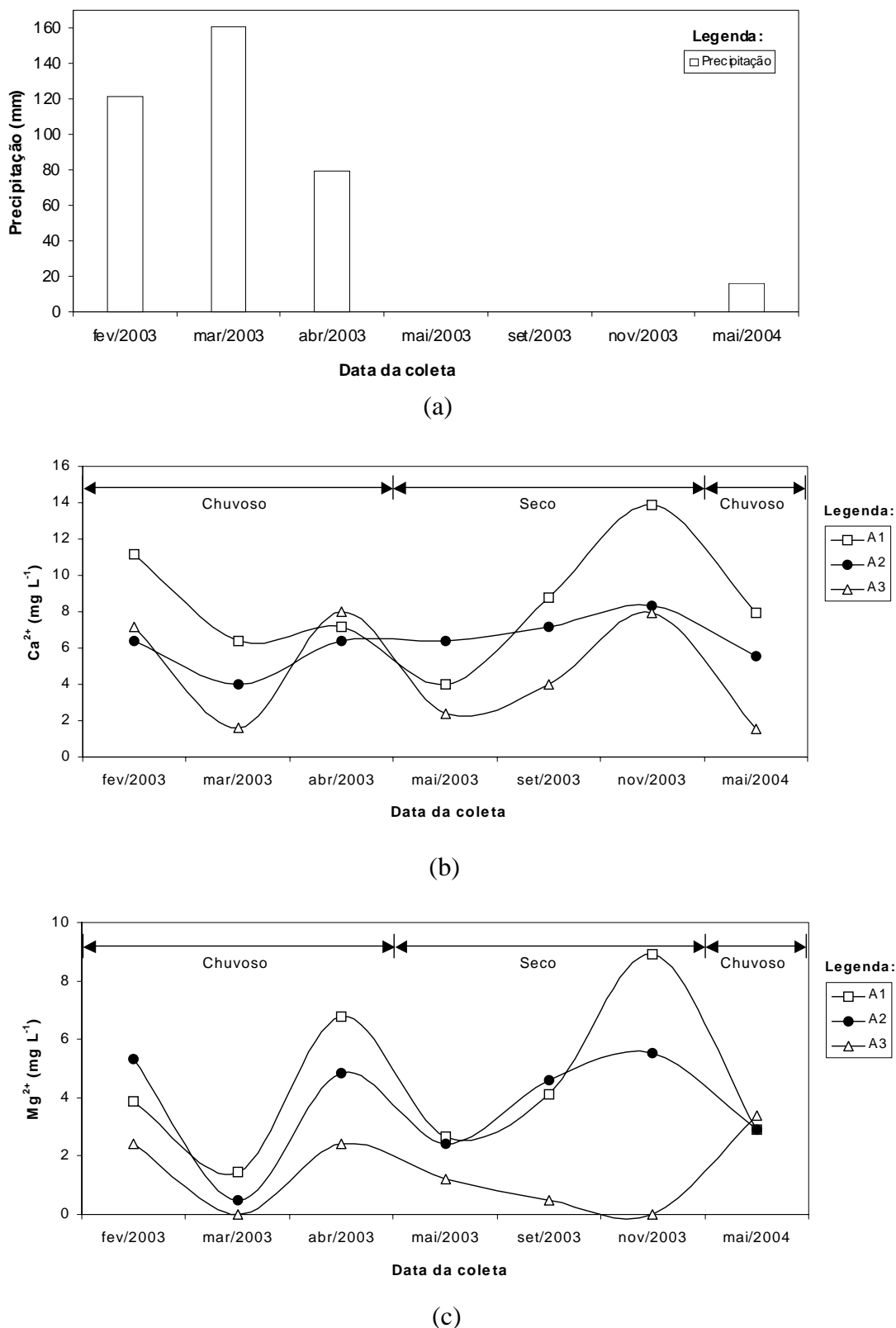
A Figura 6(a) mostra as precipitações durante os meses das coletas. Os dados foram adquiridos pela estação pluviométrica instalada na Estação Ecológica pela FUNCEME.

Os gráficos das variações temporais das concentrações catiônicas e aniônicas das amostras dos açudes estão mostrados nas Figuras 6 a 10. Todos eles são comparados com o gráfico de precipitação. Observa-se que, no começo do primeiro período chuvoso, há diluição de todos os cátions ocasionada pela entrada de águas de chuvas. Em seguida, ocorre dissolução dentro do açude aumentando todas as concentrações devido, certamente, pela entrada de águas provenientes da drenagem dos solos da bacia. No início do período seco, ocorre uma pequena diminuição destas concentrações indicando o final da dissolução e, logo em seguida, aumentam pela evaporação das águas tornando a diminuir no segundo período chuvoso.

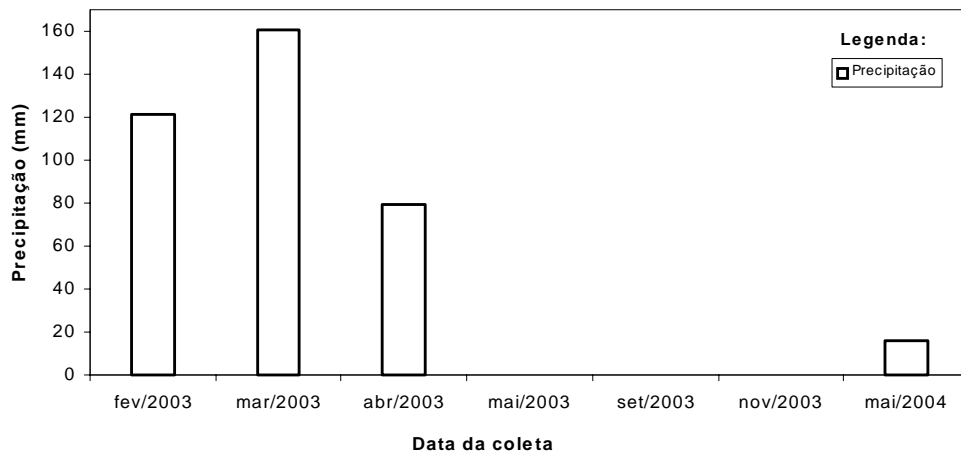
As concentrações de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{HCO}_3^-$  são mostradas nas Figuras 9(a) e 9(b), respectivamente. Como os açudes apresentam renovação rápida das águas pelas chuvas, as concentrações de  $\text{Cl}^-$  são pequenas no período chuvoso e mais elevadas no final do período seco. No caso particular do açude A1, no final do período seco a concentração de  $\text{HCO}_3^-$  aumentou porque as quantidades de chuvas não foram suficientes para fazê-lo sangrar.

Para os íons nitrogenados mostrados nas Figuras 10(a) a 10(c), observa-se que há entrada de água poluída nos açudes decorrente da lavagem da bacia hidrográfica. Essa poluição é devida à

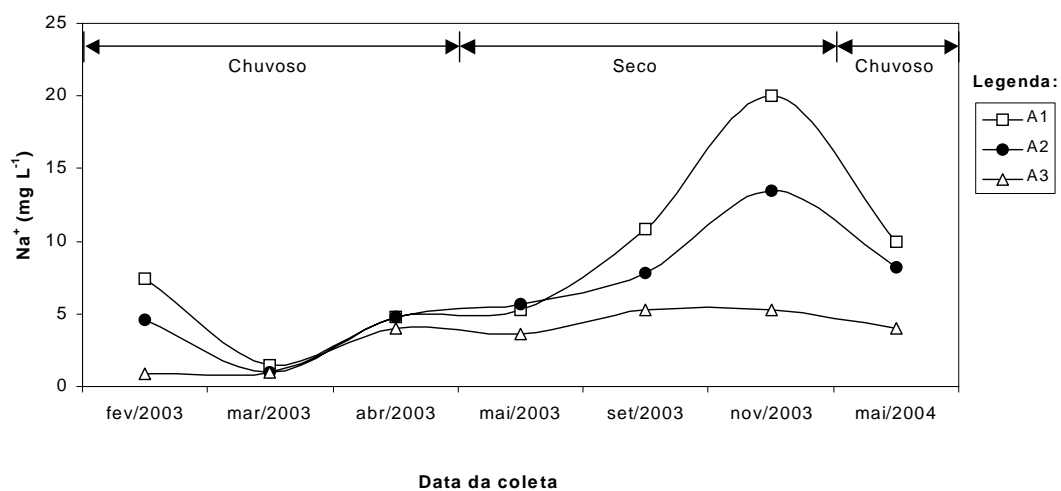
presença de bovinos, caprinos, suínos e eqüinos na área. Como as concentrações de  $\text{NO}_2^-$  são muito pequenas indica que este íon foi transformado quase na sua totalidade em  $\text{NO}_3^-$  e que, conseqüentemente, caracteriza poluição antiga.



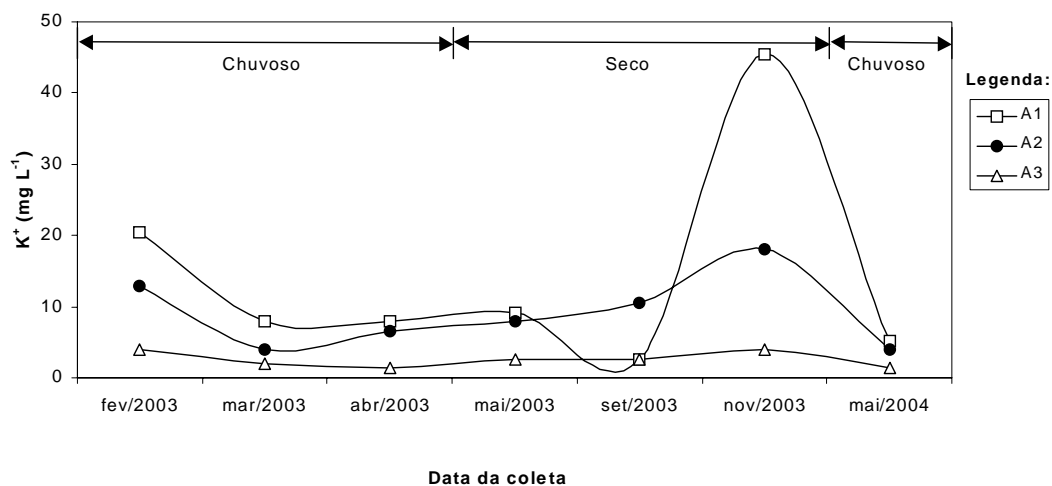
**Figura 6** – (a) Precipitação durante os meses de coleta, (b) e (c) Variações das concentrações com o tempo dos íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , respectivamente, nos açudes.



(a)

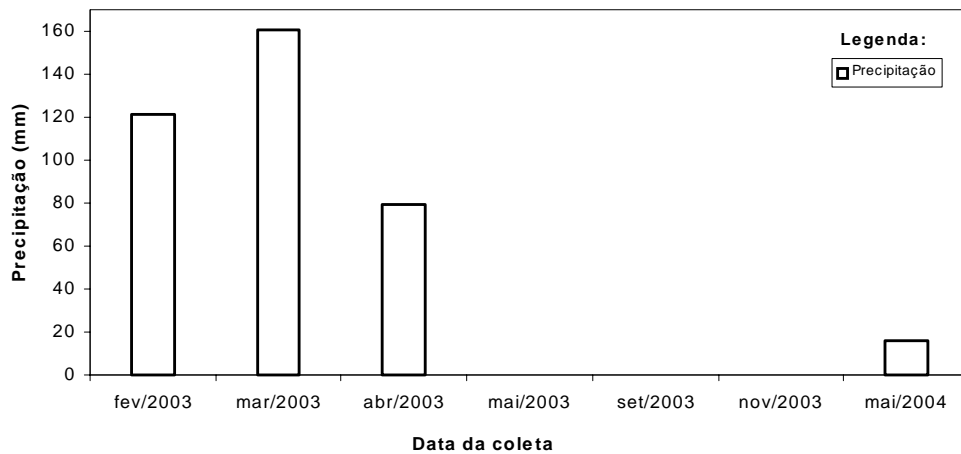


(b)

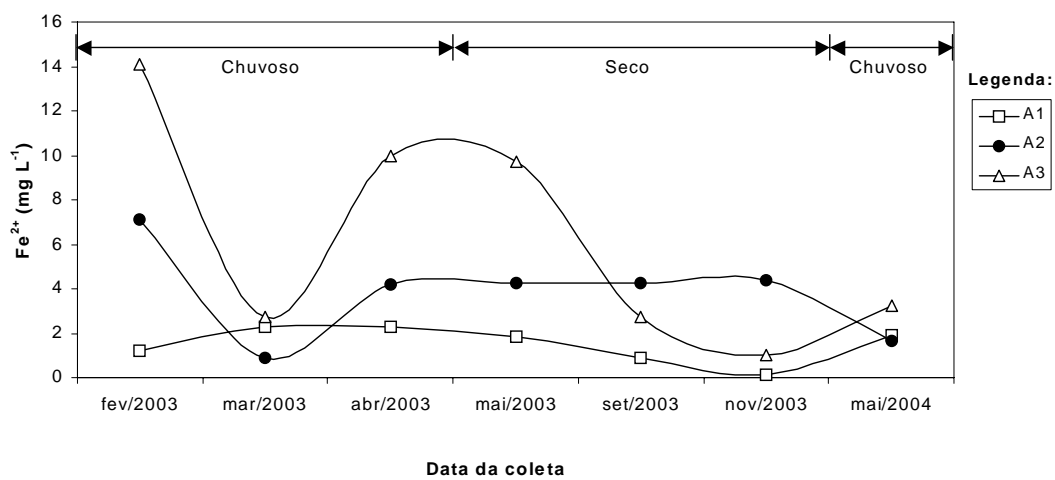


(c)

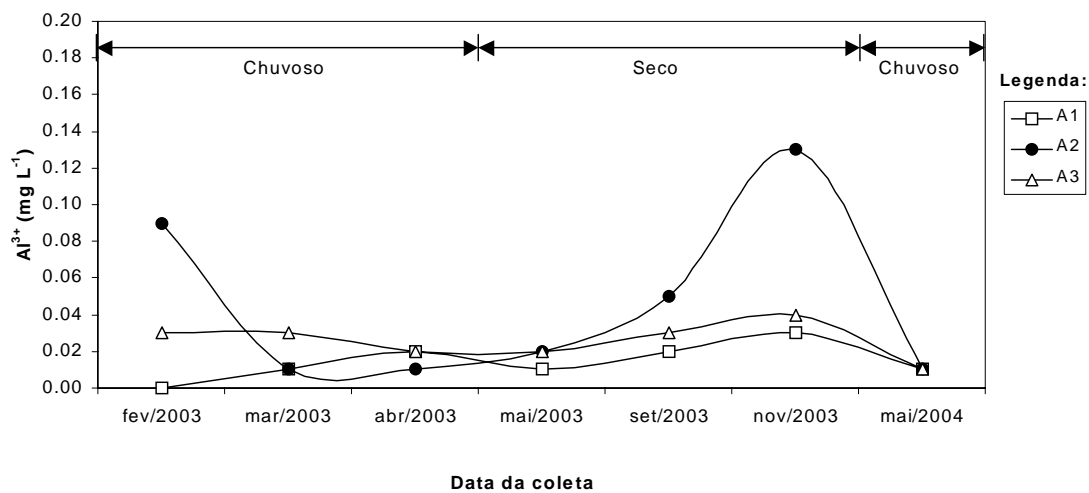
**Figura 7** – (a) Precipitação durante os meses de coleta, (b) e (c) Variações das concentrações com o tempo dos íons Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup>, respectivamente, nos açudes.



(a)

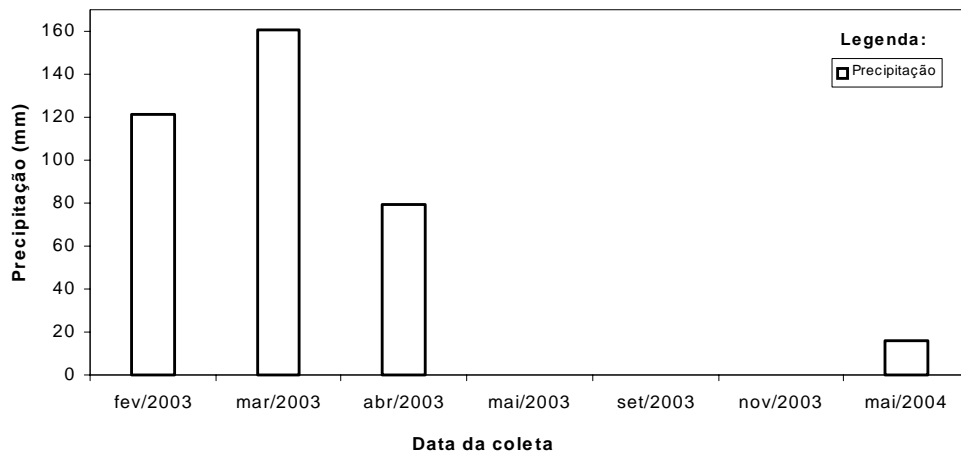


(b)

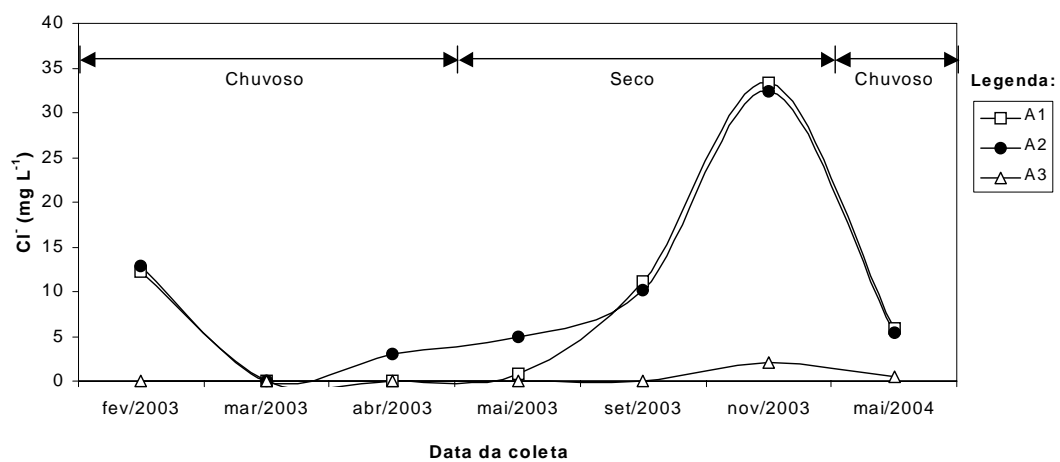


(c)

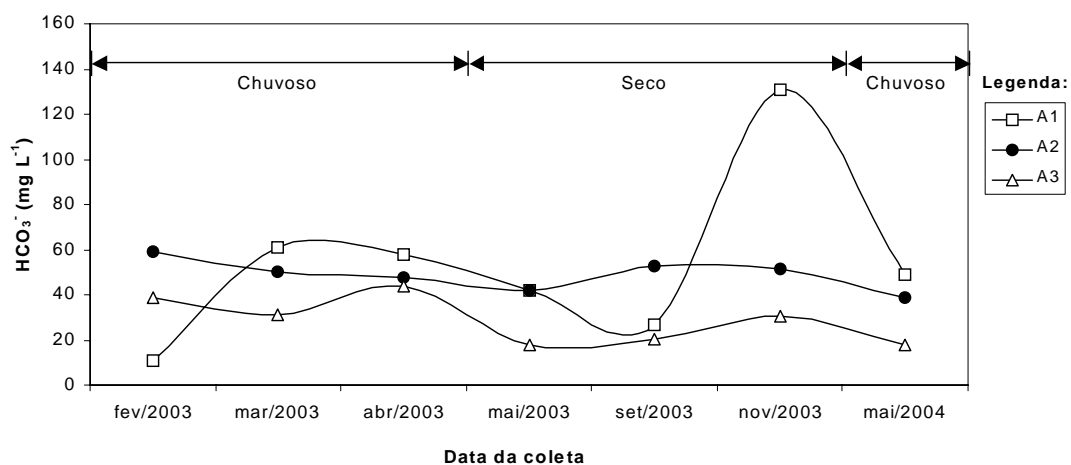
**Figura 8** – (a) Precipitação durante os meses de coleta, (b) e (c) Variações das concentrações com o tempo dos íons  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$ , respectivamente, nos açudes.



(a)

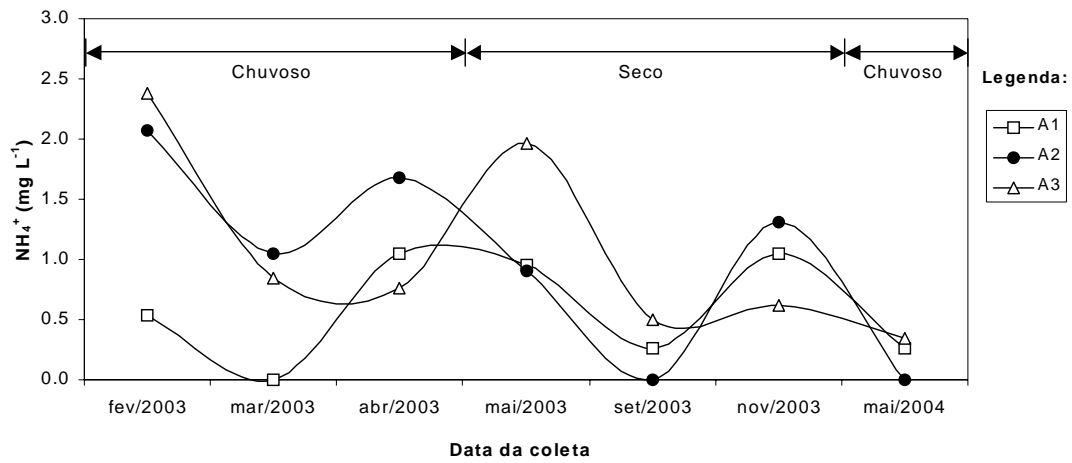


(b)

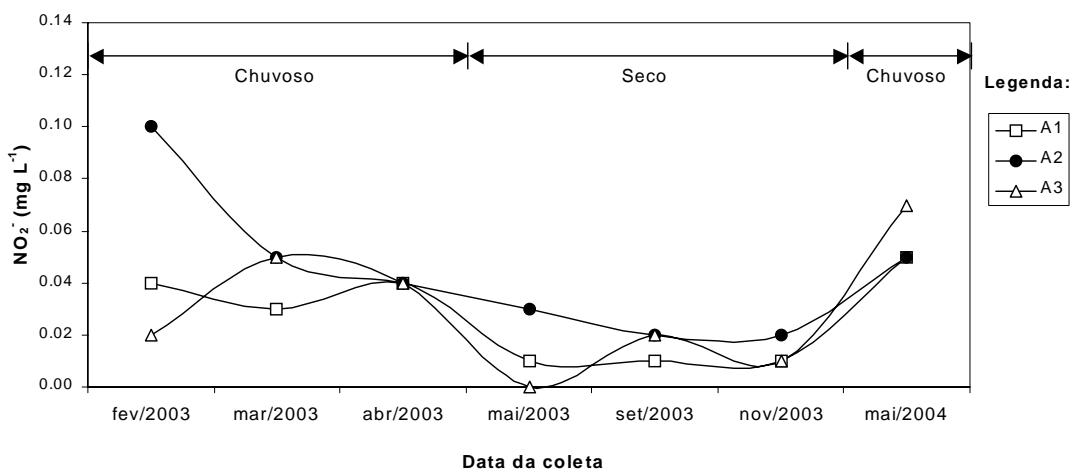


(c)

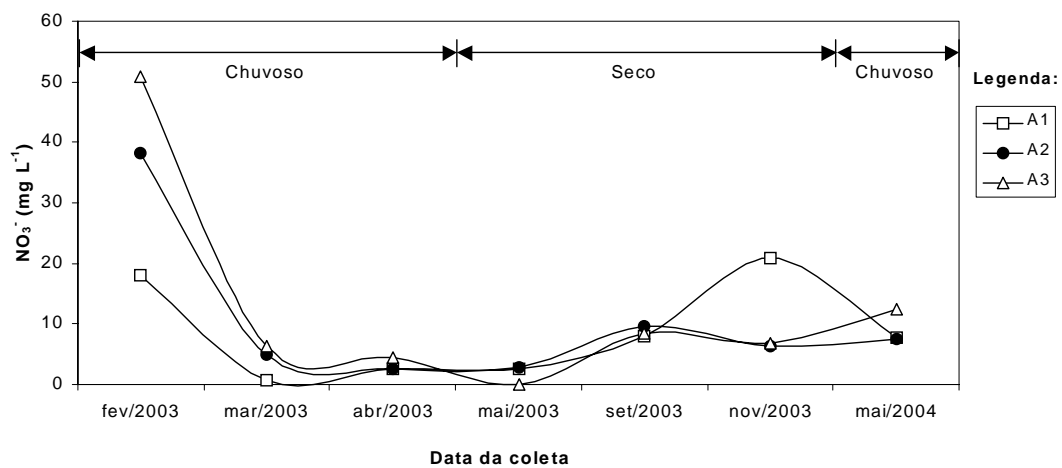
**Figura 9** – (a) Precipitação durante os meses de coleta, (b) e (c) Variações das concentrações com o tempo dos íons  $\text{Cl}^-$  e  $\text{HCO}_3^-$ , respectivamente, nos açudes.



(a)



(b)



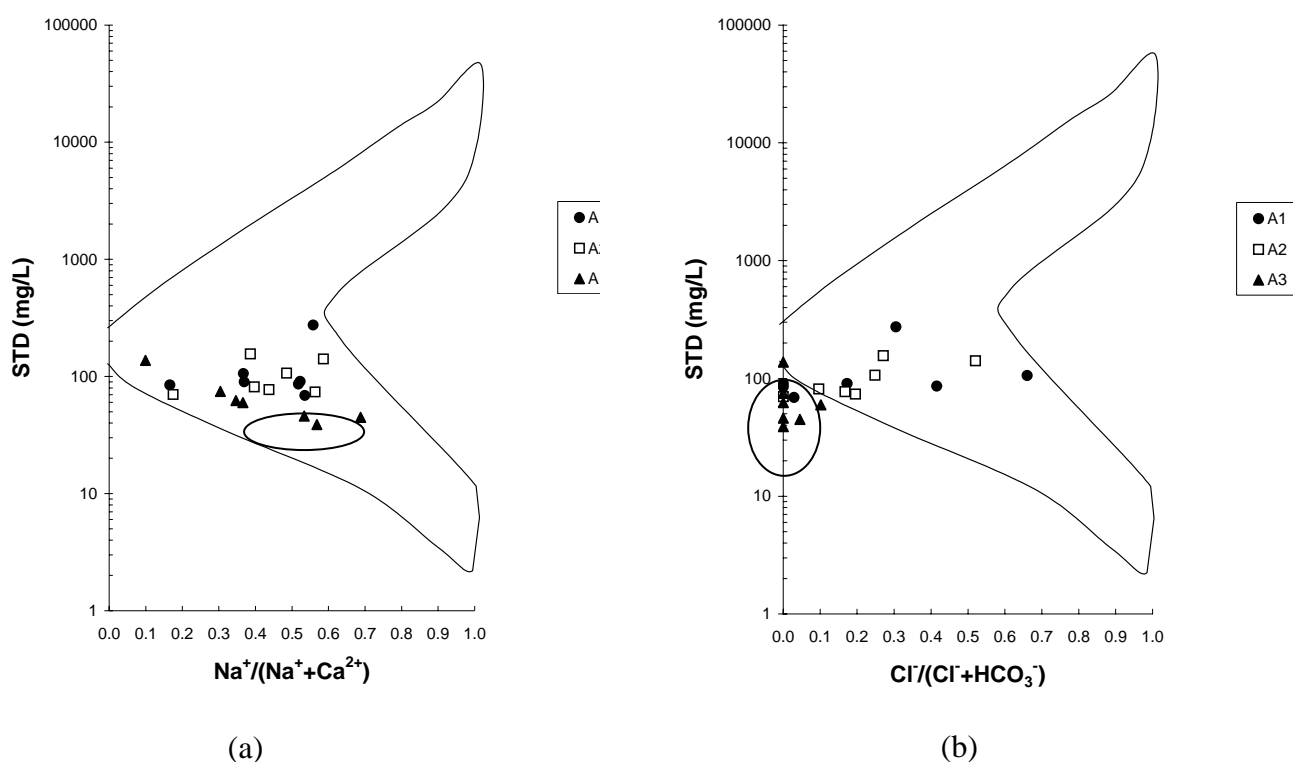
(c)

**Figura 10** – Variações das concentrações com o tempo dos íons nitrogenados (a)  $\text{NH}_4^+$ , (b)  $\text{NO}_2^-$  e (c)  $\text{NO}_3^-$ , respectivamente, nos açudes.

Os diagramas de Gibbs [6] com amostras dos açudes são apresentados nas Figuras 11(a) e (b). Quando o processo dominante é o intemperismo, a água recebe cálcio e bicarbonato, os valores de sólidos totais dissolvidos (STD) são moderados, e os dados localizam-se na parte central do “bumerangue” de Gibbs. Águas com baixa salinidade são devidas às chegadas de águas de precipitação e as amostras localizam-se no canto direito inferior do “bumerangue”. Outro mecanismo que pode ser identificado é o processo de evaporação-cristalização, intenso em regiões áridas, quando a evaporação chega a ser maior que a pluviosidade. O processo de evaporação aumenta o STD e a relação  $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$  devido à precipitação da calcita. As amostras que respondem a este processo são localizadas no canto direito superior do “bumerangue” de Gibbs.

No diagrama catiônico de Gibbs, a maioria das amostras dos açudes encontra-se na parte central do “bumerangue” indicando domínio de interação com as rochas. Algumas amostras do açude A3 tendem para a parte inferior do “bumerangue” indicando forte influência de águas de chuvas.

O diagrama aniônico de Gibbs mostra que nas águas dos açudes A1 e A2 ocorreu processo dominante de intemperismo. As amostras do açude A3 localizaram-se fora do “bumerangue” indicando que, para estes íons, nenhum processo mencionado explica as características químicas das mesmas.



**Figura 11** – Diagramas de Gibbs (a) catiônico e (b) aniônico para os açudes.



## CONCLUSÕES

Com os resultados das análises de amostras de três açudes e de três cacimbas conclui-se que as amostras dos açudes são menos mineralizadas do que as das cacimbas e a feição do tipo bicarbonatada mista para a maioria das amostras decorre da renovação das águas pelas chuvas.

A proporção 1:1 na relação dos íons  $rNa^+$  e  $rCl^-$ , que indica presença de aerossóis marinhos carregados pelas chuvas, não foi observada em nenhuma amostra. O excesso do íon  $Cl^-$  em relação ao  $Na^+$  na cacimba C2 está associado aos cátions  $Mg^{2+}$  e  $Ca^{2+}$ .

Quanto ao uso da água na agricultura, todas as amostras apresentaram baixo risco de sódio, podendo ser usadas na irrigação em todos os tipos de solos. A salinidade, as águas de todos os açudes apresentaram baixo risco e as águas das cacimbas apresentaram uma faixa de baixo a alto risco, podendo ser utilizadas em cultivos com tolerância salina.

A diminuição das concentrações de todos os íons nos açudes, nos períodos chuvosos, é produzida pela diluição com águas das chuvas, e no período seco, as concentrações aumentam pela dissolução dos minerais e pela evaporação.

O aumento da concentração de amônia no período chuvoso é decorrente da lavagem da bacia hidrográfica e pela presença de animais que bebem água nos açudes.

No diagrama catiônico de Gibbs, as águas dos açudes A1 e A2 indicaram processo de interação com as rochas e as águas do açude A3 mostraram predominância de água no processo de precipitação. O diagrama aniônico de Gibbs confirmou estes mesmos processos. No entanto, para o açude A3, não é explicável pelos processos aqui discutidos sua composição química.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao IBAMA (nas pessoas de Juan Marcelo de Oliveira e Luiz Eduardo Carvalho Bonilha) e à equipe técnica do projeto IBESA (nas pessoas de Paulo Sérgio do Carmo Belo, Roberto Antônio Cordeiro da Silva, Carlos Alberto Germano e Ana Maria Queiroz) pelo apoio logístico para a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARAÚJO, J. C., MARTINS, E. S. P. R., GOMES, E. C. B., MÖBUS, G., DA SILVA, R. C. e BELO, P. S. C. **A Bacia Experimental do Riacho de Aiuaba, CE**. In: Relatório 1 do Projeto IBESA – Caracterização das Bacias Experimentais do Semi-Árido. Projeto Integrado UFRN – UFC – UFPB – UFCG – UFRPE – UFPE – UFBA: convênio FINEP-RJ / FUNPEC-RN. Agosto, 2002.

- [2] PEREIRA, R. C. M., DE SOUZA, M. J. N. **Caracterização morfopedológica da Estação Ecológica de Aiuaba – CE**. Revista de Geologia, vol. 3: 67 a 78, 1990.
- [3] IBAMA. **Cobertura vegetal do município de Aiuaba – CE**. Programa Plantas do Nordeste. Fortaleza, Ceará, 1999.
- [4] BRASIL. **Levantamento exploratório – reconhecimento dos solos do Estado do Ceará** (Boletim Técnico, 28 - Série Pedologia, 16). Recife: Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária - Divisão de Pesquisa Pedológica, 1973. 502p.
- [5] STANDARD METHODS. **For the examination of water and wastewater**. 18 ed., APHA – AWWA – WPCP, 1992
- [6] GIBBS, R. **Mechanisms controlling world water chemistry**. Science 170, 1088-1090, 1970.
- [7] MENDONÇA, L. A. R., PEREIRA, L. SANTIAGO, M. F. FRISCHKORN, H. DE ARAÚJO, J. C., MENDES FILHO, J.e LIMA, J. O. G de, **Qualidade das águas superficiais e subterrâneas da Bacia da Gameleira – Aiuaba no cristalino cearense**. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Florianópolis/SC, 2003.