

# CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA POTIGUAR

Carla Maria Salgado Vidal Silva<sup>1</sup>, Maria Marlúcia Freitas Santiago<sup>1</sup>; Horst Frischkorn<sup>2</sup>; Michel Lopes Granjeiro<sup>1</sup>; João Manoel Filho<sup>3</sup>; Tiago Siqueira de Miranda<sup>3</sup>; Josué Mendes Filho<sup>1</sup>

**Resumo** – As águas dos aquíferos mais importantes do Rio Grande do Norte, os Calcários da Formação Jandaíra e os Arenitos da Formação Açu, foram amostrados em duas campanhas, respectivamente após a estação chuvosa e no final da estação seca. Em cada uma foram tomadas 100 amostras visando uma cobertura homogênea da área estudada. Foram feitas análises dos elementos maiores ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$ ), dos compostos nitrogenados ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), de ferro total, condutividade elétrica (CE) e pH. A adequação à irrigação é ilustrada pelos diagramas SAR vs. CE do USSLS e a potabilidade é analisada estatisticamente na base da Resolução N<sup>o</sup> 396 (2008). A salinidade dos dois aquíferos tem características diferentes. O Jandaíra cobre uma faixa larga de CE até valores acima de 10.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , com águas do tipo bicarbonatada/cálcica e bicarbonatada/mista na maioria. Já o aquífero Açu tem CE mais uniforme em torno de 550  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e água dos tipos bicarbonatada/sódica e bicarbonatada/mista. Em larga escala, não foi detectada a influência de ação antrópica nos parâmetros físico-químicos.

**Abstract** – Waters from the most important aquifers of Rio Grande do Norte State, the limestone of the Jandaíra Formation and the Sandstone Açu Formation, were sampled during two campaigns, one after the wet season and the other at the end of the dry one. During each one nearly 100 samples were collected, aiming at a homogeneous coverage of the area. Analyses were made for the major elements ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$ ), the N-compounds ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), total iron, for electric conductivity (CE) and pH. Adequacy for irrigation is illustrated through USSLS SAR vs. CE diagrams; potability is analysed statistically based on Resolution N<sup>o</sup> 396 (2008). Salinity of the two aquifers exhibit distinct features. The Jandaíra covers a large range of CE up to 10,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , with waters of  $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{HCO}_3^-$  mixed types mainly. The Açu aquifer shows CE were uniform, around 550  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , and waters of the  $\text{HCO}_3^-/\text{Na}^+$  and  $\text{HCO}_3^-$  mixed types. A large scale influence of human action on physical-chemical parameters was not detected.

1 Departamento de Física da UFC, Caixa Postal 6030, Cep. 60455-760, Tel.: 85 3366.9913, Fax: 85 3366.9450 e-mails: [carla@fisica.ufc.br](mailto:carla@fisica.ufc.br); [marlucia@fisica.ufc.br](mailto:marlucia@fisica.ufc.br); [michel@fisica.ufc.br](mailto:michel@fisica.ufc.br); [josue@fisica.ufc.br](mailto:josue@fisica.ufc.br)

2 Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC, Tel.:85 3366 9775, Fax: (0xx) 85 3366 9627, e-mail: [cariri@ufc.br](mailto:cariri@ufc.br).

3 UFPE Av. Acadêmico Hélio Ramos sem número, Tel: 81 21268239, e-mails:

## 1 - INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas da Bacia Potiguar são armazenadas nas Formações aquíferas calcário Jandaíra e arenito Açú; as do calcário Jandaíra são utilizadas intensivamente na agricultura, que é hoje um dos principais consumidores é considerada como um dos principais poluidores dos recursos hídricos pelo uso inadequado de fertilizantes (Brown *et al.*, 2000); as águas do arenito Açú são utilizadas principalmente para consumo humano.

O armazenamento da água subterrânea no calcário Jandaíra já pressupõe elevada concentração de carbonatos e a presença de água salobra, ficando sua utilização condicionada à tolerância das culturas à salinidade e ao manejo adequado da irrigação (Medeiros, 1992; Oliveira & Maia, 1998). Egreja Filho *et al.* (1999) observaram que a alcalinidade excessiva das águas destinadas à fertirrigação pode criar inconvenientes como o entupimento dos emissores, pela precipitação de carbonatos e fosfatose, e redução da disponibilidade de micronutrientes para as culturas.

Esse trabalho foi realizado dentro do Projeto “Avaliação dos recursos hídricos subterrâneos e proposição de modelo de gestão compartilhada para os aquíferos da Chapada do Apodi, entre os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará”.

Ele trata do aspecto da qualidade de águas subterrâneas da Bacia Potiguar, armazenadas nas Formações aquíferas, Jandaíra e Açú, de sua variação temporal relacionada com a recarga anual e a mineralização, produzida principalmente pela dissolução dos calcários do sistema aquífero Jandaíra.

## 2 - ÁREA DE TRABALHO

A Bacia Potiguar está quase totalmente inserida no Estado do Rio Grande do Norte e em pequena área no Estado do Ceará; topograficamente, a Chapada do Apodi localiza-se na divisa dos dois Estados, onde o tipo de solo torna a área potencialmente importante para atividade agrícola irrigada.

A estratigrafia da Bacia Potiguar é representada, da base para o topo, pelas Formações Açú, Quebradas e Jandaíra. As águas subterrâneas estão armazenadas no arenito Açú e no calcário Jandaíra; a Formação Quebradas é argilosa constituindo-se um aquíclode. A área de trabalho, a Geologia e os pontos de coleta estão apresentados na figura 1.

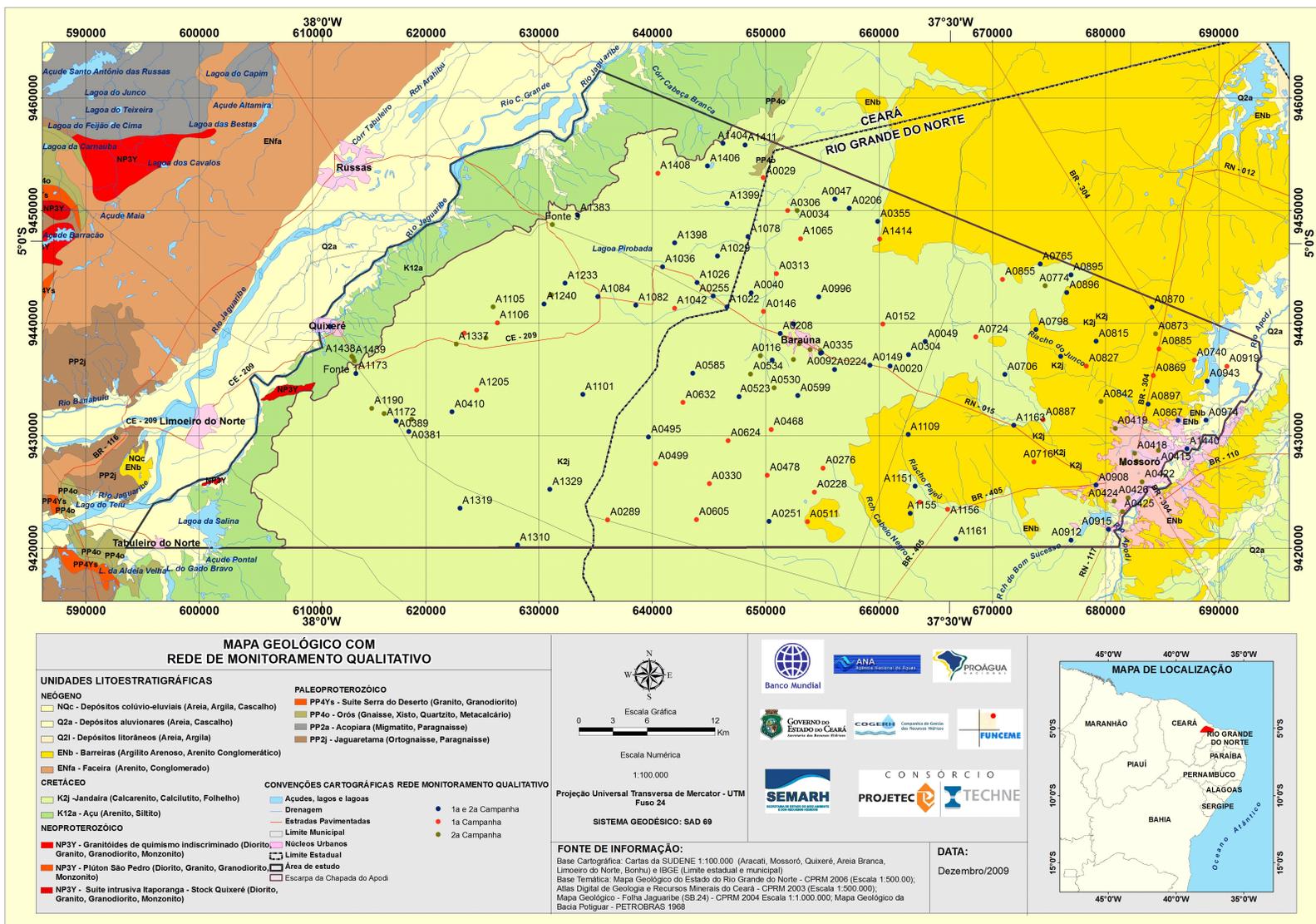


Figura 1. Área de trabalho, geologia e pontos de coleta.

### 3 - METODOLOGIA

Duas etapas de coleta de amostras foram realizadas nos municípios de Baraúna e Mossoró, do Rio Grande do Norte, e nos municípios de Jaguaruana, Quixeré e Limoeiro do Norte, do Estado do Ceará, uma em setembro de 2009 (após a estação chuvosa) e outra em janeiro de 2010 (no final da época seca), para análise físico-química.

As coletas para hidroquímica foram feitas utilizando como critério uma distribuição espacial uniforme de poços. Na primeira campanha, foram coletadas 97 amostras de água do calcário Jandaíra: 42 em Baraúna, 30 em Mossoró, 09 em Jaguaruana, 14 em Quixeré, e 02 em Limoeiro do Norte; e somente 01 amostra no arenito Açú. Na segunda campanha, foram coletadas 80 amostras de água do calcário Jandaíra: 29 em Baraúna, 23 em Mossoró, 08 em Jaguaruana, 16 em Quixeré e 04 em Limoeiro do Norte; e 13 amostras do Açú, nos municípios de Baraúna e Mossoró: 12 delas no Açú confinado e 01 no “Açú livre” que provavelmente capta água da Formação Quebradas.

Para análise dos íons maiores  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$ , dos compostos nitrogenados  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$ , de ferro total, da dureza, dos sólidos totais dissolvidos (STD), do ferro total e dos parâmetros físico-químicos pH e condutividade elétrica (CE), as medidas foram realizadas no Laboratório de Hidroquímica do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará usando a seguinte metodologia do Standard Methods (APHA, 2005): Alcalinidade (2320.B), Cálcio (3500- $\text{Ca}^{2+}$ .B), dureza (2340.C), ferro total (3500-Fe.B), potássio (3500- $\text{K}^+$ .B), sódio (3500- $\text{Na}^+$ .B), cloreto (4500- $\text{Cl}^-$ .B), sulfato (4500- $\text{SO}_4^{2-}$ .B), magnésio (3500- $\text{Mg}^{2+}$ .B), nitrato (método do nitrover), amônia (método da neslerização), nitrito (método da  $\alpha$ -naftilamina) e os parâmetros pH e condutividade elétrica foram medidos no campo.

Os dados foram tratados sob três aspectos: (i) tipos de água nas Formações Jandaíra e Açú, utilizando diagrama de Piper; (ii) adequação da água para uso na agricultura utilizando o diagrama USSL; (iii) adequação da água para consumo humano; (iii) identificação da salinidade das águas por histogramas de condutividade elétrica nos períodos seco e chuvoso, (iv) identificação de processos de mineralização.

O enquadramento das águas subterrâneas foi feito com base na Resolução N<sup>o</sup> 396 do CONAMA (2008) que utiliza o conceito de Valor Máximo Permitido (VMP) para cada um dos íons maiores apresentados no Quadro 1.

**Quadro 1.** Valor máximo permitido-VMP (CONAMA, 2008).

Parâmetro	VMP (mg/L)		Parâmetro	VMP (mg/L)	
	Consumo humano	Irrigação		Consumo humano	Irrigação
Cloreto	250	100-700	N- Nitrito	1,0	1,0
Ferro	0,3	5,0	Nitrito	3,3	3,3
N - Nitrato	10	-	Sódio	200	-
Nitrato	45	-	STD	1.000	-

A adequação das águas para uso na irrigação foi feita com o diagrama, desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, que relaciona a Condutividade Elétrica como parâmetro de salinidade e com a Razão de Adsorção de Sódio-SAR como parâmetro de risco de sódio (USSLS, 1954). A SAR compara a concentração de sódio com as concentrações dos cátions  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , sendo definida como:

$$SAR = Na^+ / [(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / 2]^{1/2} \quad (1)$$

Outras definições de Razão de Adsorção de Sódio foram desenvolvidas considerando a presença de bicarbonatos e mostram classificações diferentes: RASaj (RAS ajustada) e RAScor (RAS corrigida) (Medeiros & Gheyi, 1997 e Ayers & Westcot, 1999).

A adequação das águas quanto à potabilidade foi feita dividindo as amostras em classes, sendo consideradas águas da Classe 1 as que têm todos os parâmetros com valores abaixo do VMP; da Classe 2, com um parâmetro acima do VMP; da classe 3, com dois ou três parâmetros acima do VMP e da Classe 4, com mais de três parâmetros acima do VMP.

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 - Diagrama de Piper

A caracterização hidroquímica das amostras de cada município foi feita através de Diagramas de Piper, que permitem classificar as águas quanto ao ânion e ao cátion predominantes (sem considerar sua concentração absoluta). A figura 2 apresenta os Diagramas de Piper com amostras de água subterrânea das duas coletas no aquífero Jandaíra dos municípios: Baraúna, Mossoró, no Rio Grande do Norte e Jaguaruana, Quixeré e Limoeiro do Norte, no Ceará; a figura 3 apresenta o diagrama de Piper para o aquífero Açú.

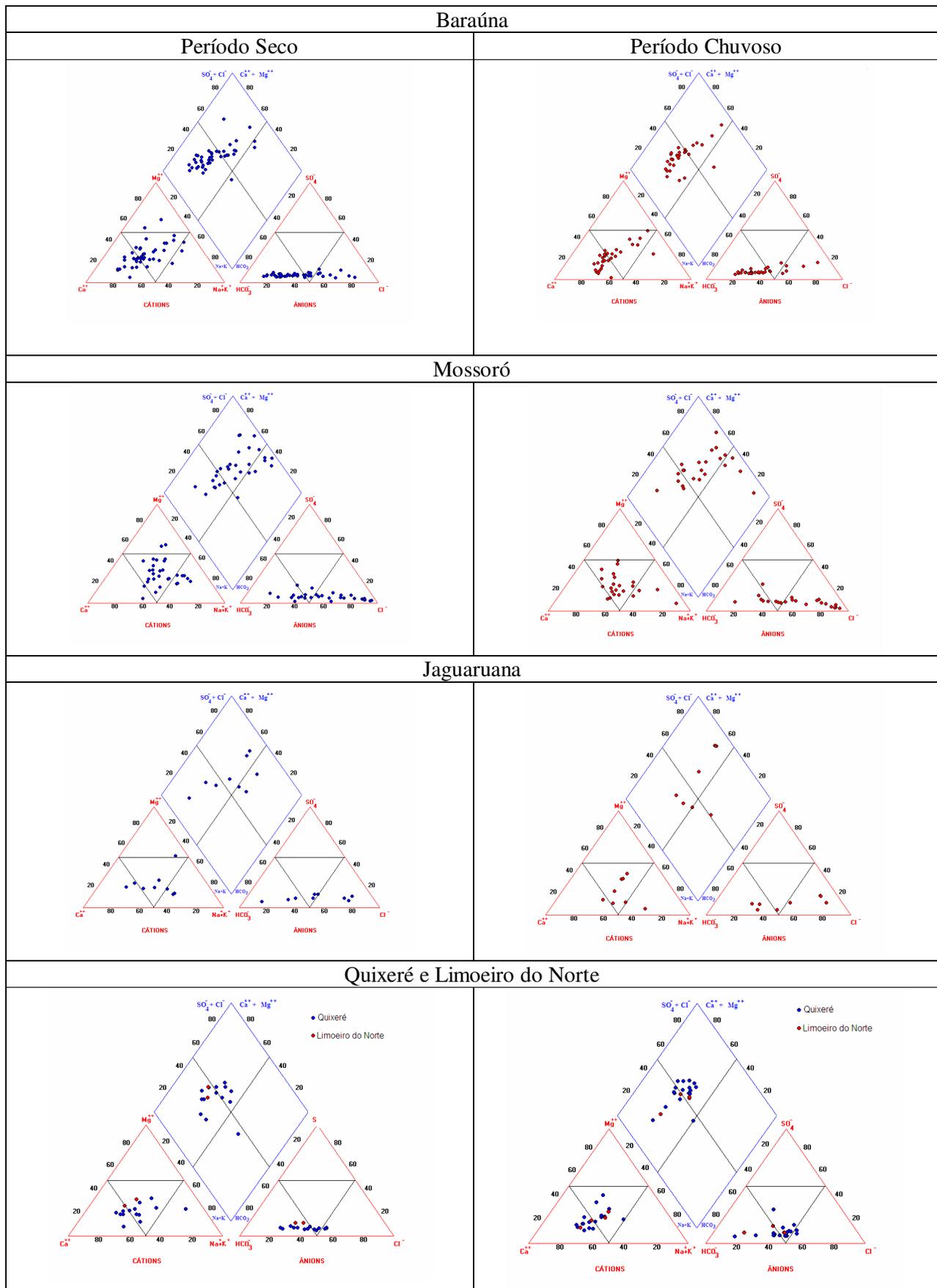
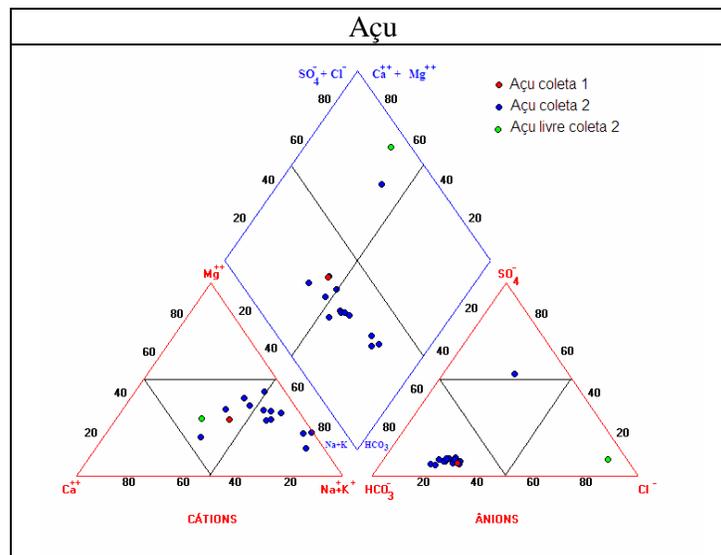


Figura 2. Diagramas de Piper para as águas na Formação Jandaíra.



**Figura 3.** Diagrama de Piper para as águas na Formação Açú.

Os gráficos mostram a predominância de águas bicarbonatadas/cálcicas e bicarbonatadas/ mistas e a presença de águas cloretadas/mistas nas amostras do calcário Jandaíra em todos os municípios; as águas no arenito Açú são dos tipos bicarbonatada/sódica e bicarbonatada/mistas.

#### 4.2 - Uso das águas

A adequação das águas para uso na irrigação está mostrada na figura 4 que apresenta os diagramas de Razão de Adsorção de Sódio (RAS) com amostras de água subterrânea do aquífero Jandaíra dos municípios: Baraúna, Mossoró, Jaguaruana, Quixeré e Limoeiro do Norte, para os dois períodos de coleta; a figura 5 apresenta o diagrama de Razão de Adsorção de Sódio para o aquífero Açú. A RAS adotada é a indicada na equação (1).

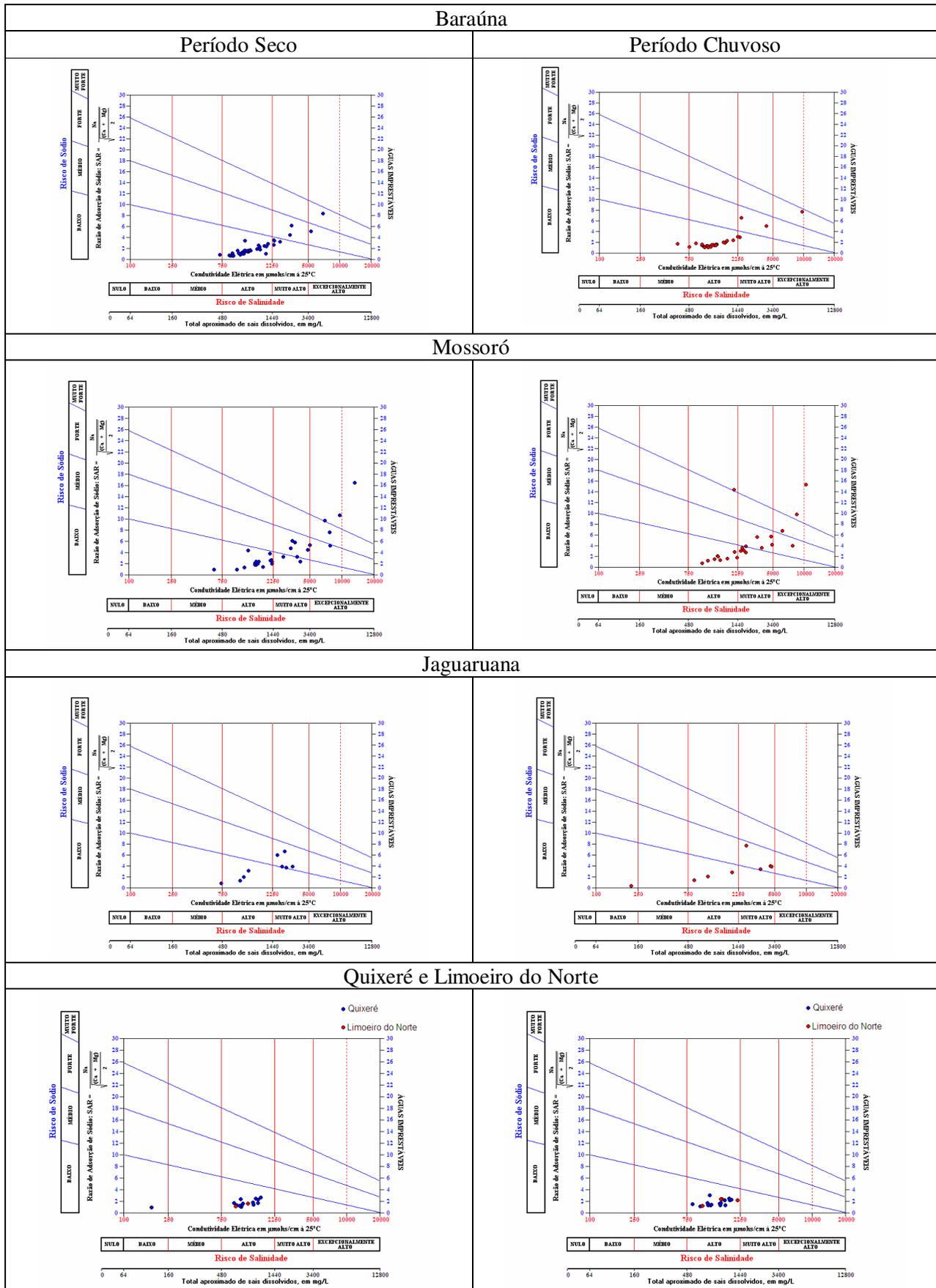
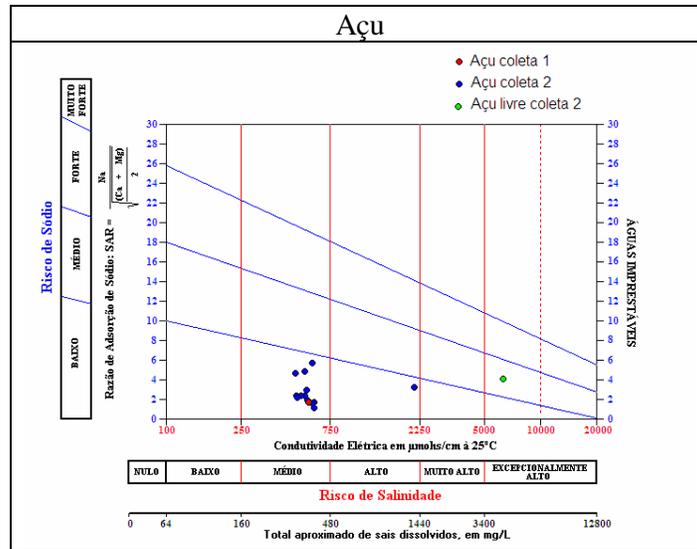
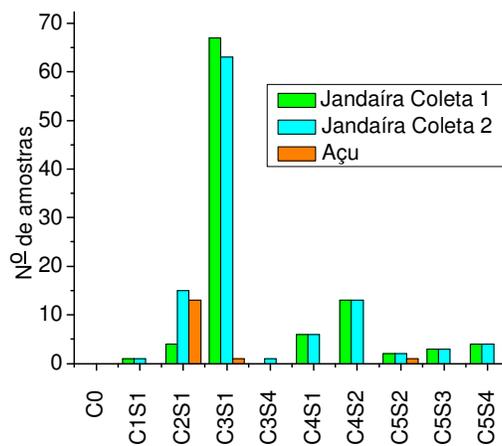


Figura 4. Diagramas de Razão de Adsorção de Sódio para as águas na Formação Jandaíra.



**Figura 5.** Diagrama de razão de adsorção de sódio para as águas na Formação Açú.

O histograma da figura 6 com classificação das águas do Jandaíra na primeira e na segunda coleta e as águas do Açú mostra que predominam no Jandaíra águas na classe C<sub>3</sub>S<sub>1</sub>, com alto risco de salinidade e baixo risco de sódio; no aquífero Açú predominam águas na classe C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>, com médio risco de salinidade e baixo risco de sódio. A amostra do Açú que aparece na classe C<sub>5</sub>S<sub>2</sub>, com excepcionalmente elevado risco de salinidade, foi coletada como do “Açú livre” (provavelmente Formação Quebradas).



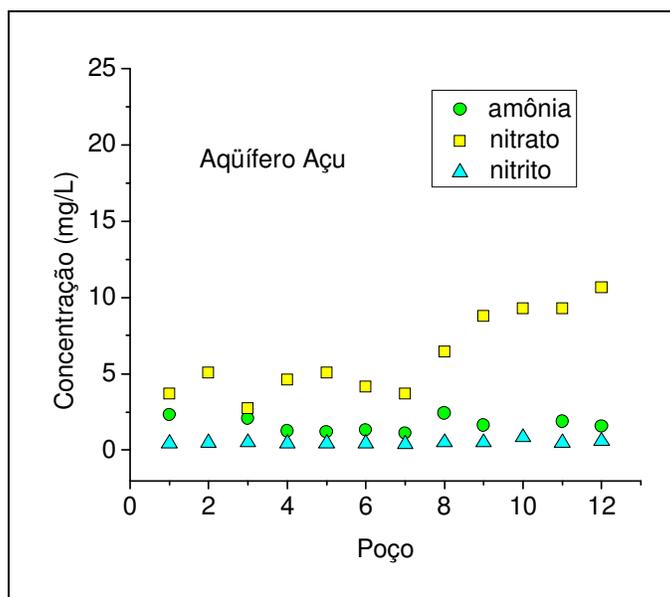
**Figura 6.** Histograma com classificação para agricultura de águas subterrâneas coletadas nas formações Jandaíra e Açú.

O enquadramento das águas subterrâneas com respeito à potabilidade foi feito com base na Resolução N<sup>o</sup> 396 do CONAMA, de 03/04/2008, que utiliza, para classificar as águas, os conceitos de valor de Referência de Qualidade (VRQ) e Valor Máximo Permitido (VMP) (CONAMA, 2008).

Alta concentração de nitrogênio na água pode indicar poluição recente ou remota. O nitrogênio pode estar presente sob diversas formas: orgânica, amoniacal, como nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ); ele segue um ciclo desde o organismo vivo até a mineralização total, onde está presente sob a forma de nitrato.

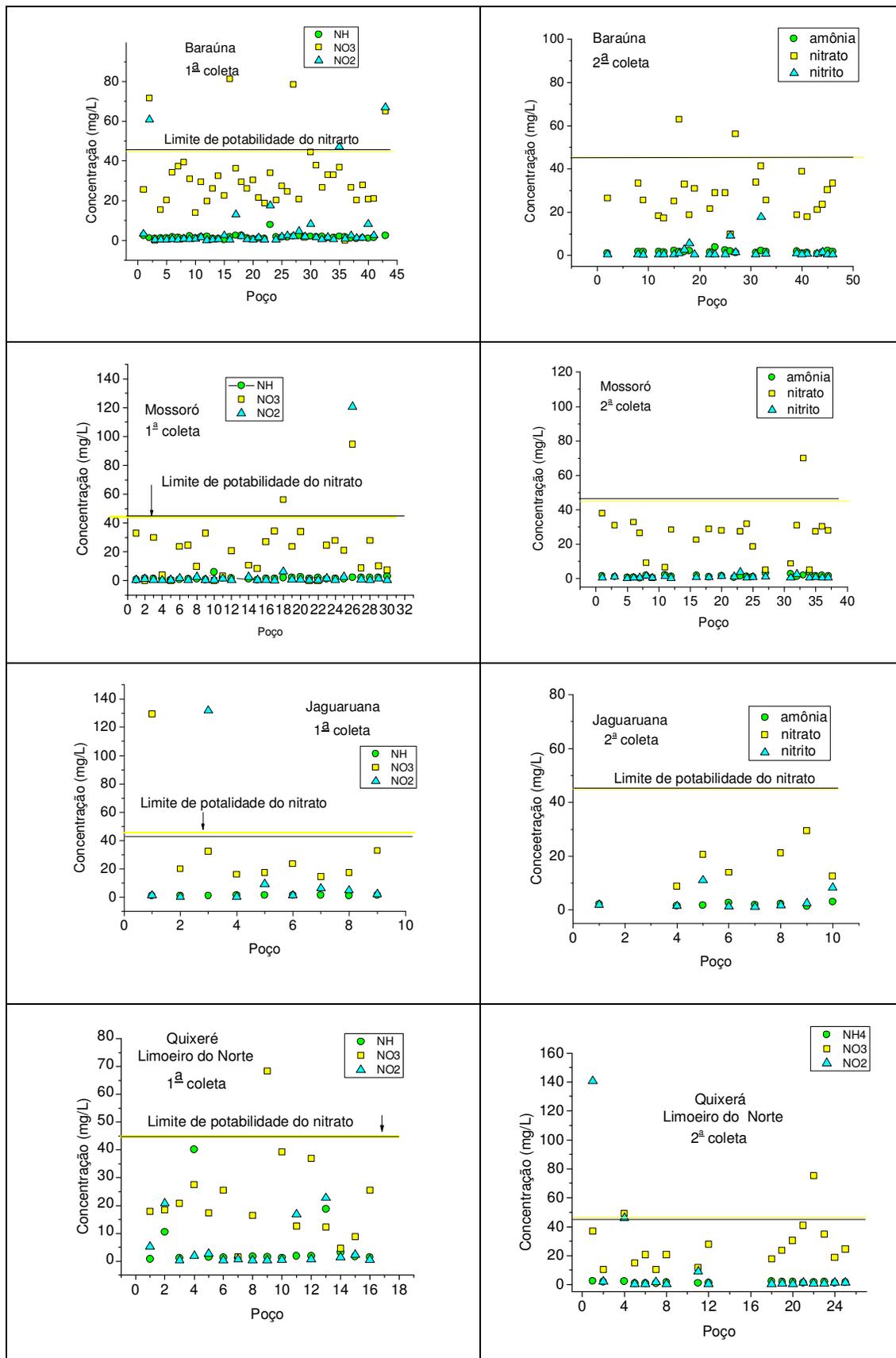
Assim, é possível avaliar o grau de poluição e a distância a sua fonte através das formas dos compostos nitrogenados presentes na água e suas respectivas concentrações. Águas com predominância de nitrogênio orgânico e amoniacal, muito provavelmente, são poluídas por descargas de esgotos próximos. Águas com concentrações de nitrato predominantes sobre nitrito e amônia indicam uma poluição remota, porque os íons nitratos são produtos finais de oxidação do nitrogênio.

Nas amostras do arenito Açú (figura 7), as concentrações dos compostos nitrogenados, amônia, nitrito e nitrato estavam todas com valores de concentração menores que o VMP (Quadro 1).



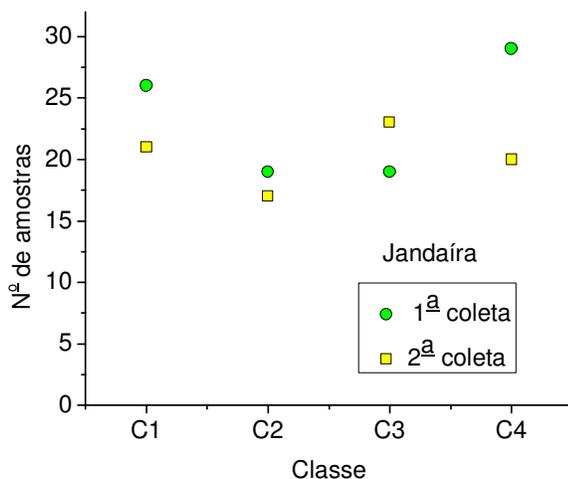
**Figura 7.** Elementos nitrogenados em amostras do aquífero Açú.

A figura 8 apresenta os compostos nitrogenados nas águas do calcário Jandaira nos cinco municípios nas duas coletas. Considerando os VMPs para estes compostos, observa-se que poucas amostras apresentaram concentrações > VMP, indicando leve ação antrópica.



**Figura 8.** Elementos nitrogenados em amostras do calcário Jandaíra.

A figura 9 apresenta o número de amostras de cada classe de acordo com a classificação das águas descrita na metodologia; os resultados mostram que as águas das classes C1 e C2, as melhores, e da classe C4 são em maior número na primeira coleta do que na segunda, no período seco. O número de amostras na classe C3 é maior no período seco do que no chuvoso. Portanto, a recarga parece estar produzindo água de melhor qualidade, quanto à potabilidade, em águas boas, mas aumenta também o número de águas deficientes (C4), possivelmente pela lixiviação de compostos poluidores dispostos na superfície.

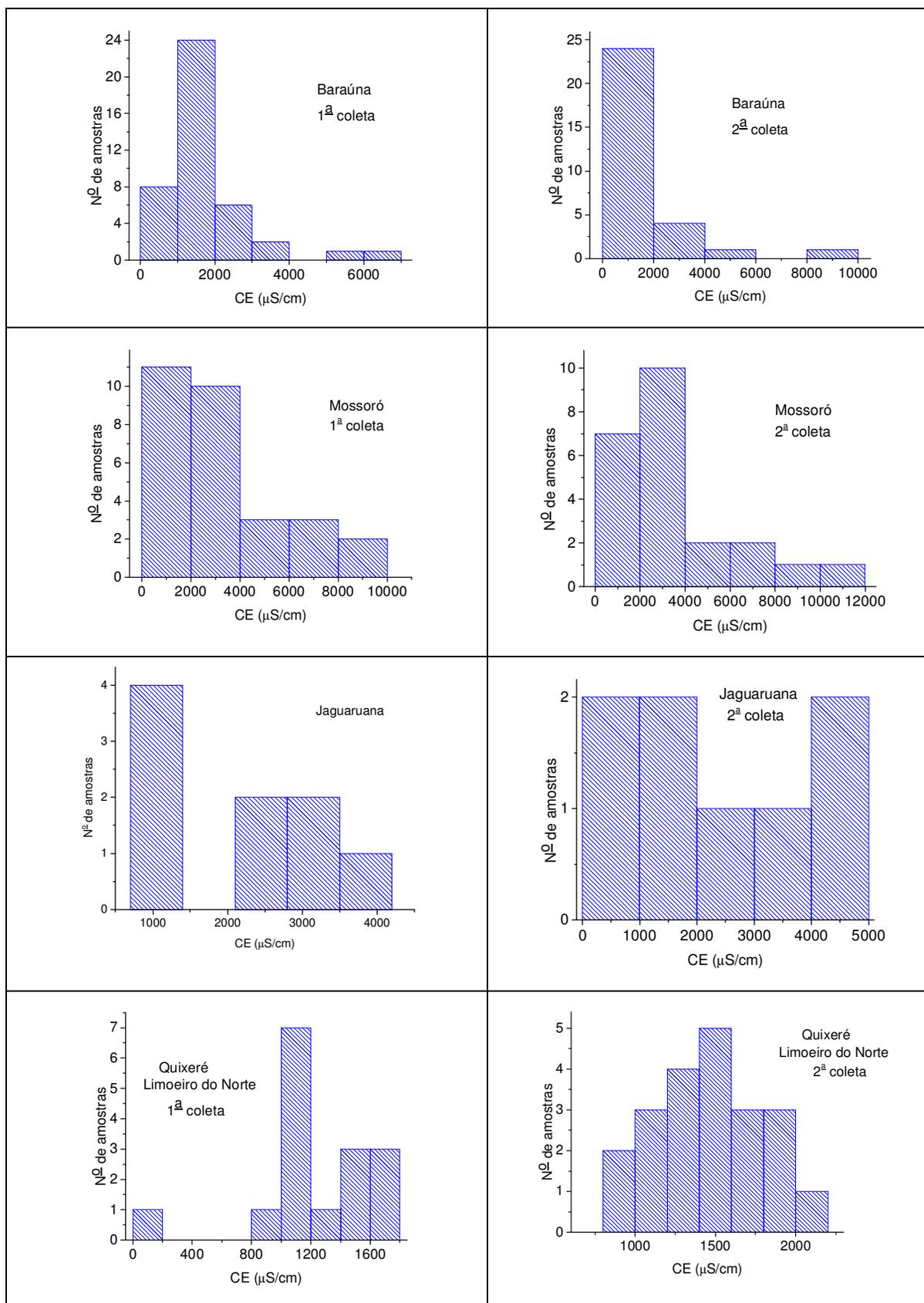


**Figura 9.** Separação por classes do aquífero Jandaíra.

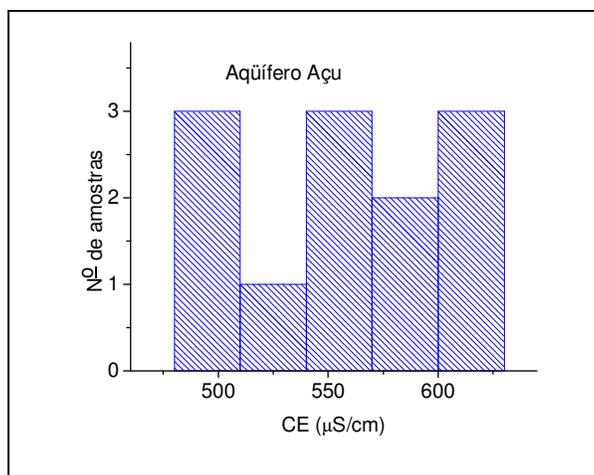
#### 4.3 - Processos de mineralização

Os histogramas da figura 10 mostram a distribuição estatística da condutividade elétrica das águas do calcário Jandaíra nos cinco municípios e nas duas coletas, chama atenção a enorme faixa de valores chegando a quase 12.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Não existe valor representativo para o aquífero. Os resultados mostram o efeito da mistura com a água da recarga no período quando é maior o número de amostras com  $\text{CE} < 2000 \mu\text{S}/\text{cm}$  e o efeito da dissolução produzindo águas com mais elevados valores de CE no período seco.

A figura 11 apresenta o histograma da condutividade elétrica de amostras do arenito Açú. Comparando este histograma com os da figura 10 verifica-se claramente que estas águas são muito menos salinas do que as do calcário Jandaíra e apresentam uma maior homogeneidade, característica de um aquífero confinado.



**Figura 10.** Histogramas de condutividade elétrica de águas do aquífero Jandaíra.



**Figura 11.** Condutividade elétrica em amostras do aquífero Açú.

Durante a recarga, a água, carregada com dióxido de carbono dissolvido, dissolve os carbonatos produzindo  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{HCO}_3^-$ . Este processo é responsável pela predominância de água bicarbonatada cálcica armazenada no calcário Jandaíra e por sua alta condutividade elétrica.

No arenito Açú, este processo não é dominante, outros processos mais lentos ocorrem justificando a predominância de águas bicarbonatadas sódicas.

## 5 - CONCLUSÕES

A salinidade das águas amostradas no calcário Jandaíra e no arenito Açú tem características diferentes. A dissolução dos calcários pelas águas de recarga com dióxido de carbono dissolvido é o processo predominante no aquífero Jandaíra.

As águas do calcário Jandaíra são mais salinizadas, com uma faixa de condutividade elétrica de 700 a 10.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , do que as do arenito Açú.

Predominam no calcário Jandaíra águas bicarbonatadas e cálcicas e bicarbonatadas mistas e no arenito Açú predominam águas bicarbonatadas mistas.

As águas do calcário Jandaíra, por causa da salinidade elevada têm sua utilização na irrigação condicionada à tolerância das culturas à salinidade.

Em larga escala, não foi detectada a influência da ação antrópica nos parâmetros físico-químicos analisados.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA 2005. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 21. ed. AWWA - WPCP. 1992.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. A qualidade de água na agricultura. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999, 153p. FAO. Estudos Irrigação e Drenagem, 29 revisado 1
- BROWN, L.; FLAVIN, C.; FRENCH, H. Estado do mundo 2008. Tradução H. Mallet. Salvador: UMA Editora, 2000, 288p.
- CONAMA 2008 **Resolução 396** de 03/04/2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. 11 p.
- 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. de. Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, SBEA, 1997. Cap. 8, p.239-284.
- EGREJA FILHO, F.B., MAIA, C.E.; MORAIS, E.R.C. Método computacional para correção da alcalinidade de águas para fertirrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.415-423, 1999.
- MATIAS, G. D. V., SILVA, L. M. R., KHAN, A. S. Perfil dos produtores de frutas do município de Limoeiro do Norte – CE frente ao novo paradigma de desenvolvimento do setor. **Revista Ciência Agronômica**, vol 34, nº 1, 2003.
- MATIAS, G. D. V., SILVA, L. M. R., KHAN, A. S. Reflexos de Políticas Públicas sobre a Fruticultura Cearense: o caso do Agropolo Baixo-Jaquaribe. **Revista de Economia e Agronegócios**, vol 2, nº 2, abril 2004.
- MEDEIROS, J.F. de. Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados do RN, PB e CE. Campina Grande: UFPB, 1992. 173p. Dissertação Mestrado
- OLIVEIRA, O.; MAIA, C.E. Qualidade físico-química da água para a irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.2, n.1, p.17-21, 1998.
- USSLS (United States Salinity Laboratory Staff) 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. **Agriculture Handbook** nº 60, L. A. Richards Edit, Washington. 159 p.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem aos patrocinadores do projeto “Avaliação dos recursos hídricos subterrâneos e proposição de modelo de gestão compartilhada para os aquíferos da Chapada do Apodi, entre os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará”.