

ASPECTOS DA SALINIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BORDA SUL DA BACIA POTIGUAR, RN

Jose Geraldo de Melo¹, Mickaelon Belchior Vasconcelos², Franklin de Moraes³
Samara Danielle Oliveira de Morais⁴, José Ivan de Medeiros⁵

RESUMO- A área de estudo está situada em região semi-árida da Borda Sul da Bacia Potiguar no Estado do Rio Grande do Norte. As águas subterrâneas do Aquífero Açú constituem a principal fonte de suprimento hídrico da população com água potável e também de uso na irrigação de culturas. O uso da água subterrânea tem sido limitado devido a ocorrência de águas salinas em alguns setores da área. Este artigo tenta evidenciar as fontes, mecanismos e distribuição da salinização da água subterrânea usando técnicas da geologia estrutural, da geofísica e da hidrogeologia. Foi verificado que a salinização das águas depende, sobretudo, do controle estrutural da área, a qual exerce grande influência nas potencialidades e na direção do fluxo subterrâneo. A salinidade das águas decresce de sul para norte, na mesma direção do fluxo subterrâneo, a medida que a transmissividade aumenta. Foram identificados os seguintes tipos de água: $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$; $\text{Ca}^{2+}\text{-Cl}^-$ e Mg^{2+} ou $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$. Esses tipos de água estão provavelmente relacionados a processos geoquímicos, tais como evaporação, dissolução de minerais e troca de íons.

Palavras chaves: aquífero Açú, semi-árido, qualidade das águas subterrâneas.

ABSTRACT- The study area is situated in the southern edge of the Cretaceous Potiguar Basin in the Rio Grande do Norte State, in a semi-arid region. The groundwater of the Açú aquifer is the main water source to supply the population and to land irrigation. The groundwater use has been limited due the occurrence of saline waters in the same sectors of the area. This article tries to evidence the sources, mechanisms and distribution of the groundwater salization using structural geology, geophysical and hidrogeochemical techniques. It was verified that the salinization of water depends on the structural geology, which controls the flux direction. The water's salinity decreases from south to north in the subterraneous flux direction as the transmissivity increases. It was identified: $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$; $\text{Ca}^{2+}\text{-Cl}^-$ e Mg^{2+} ou $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$ water type. These are related to the geochemical processes like evaporation, minerals dissolution and ions exchange.

Key words: Açú aquifer, semi-arid, groundwater quality.

¹ Grupo de Pesquisas em Águas Subterrâneas-GPAS, Depto de Geologia, CCET, Universidade Federal do Rio grande do Norte, jgmelo@ufnet.br

² Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geociências,CTG, Universidade Federal de Pernambuco, mickavasconcelos@yahoo.com.br

³ CPRM- Serviço Geológico do Brasil. Recife- PE, fraklin@cprm.br

⁴ Graduanda do curso de Geologia,CCET- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, samaradanielle.morais@yahoo.com.br

⁵ Depto de Engenharia Têxtil, Centro de Tecnologia,CT, Universidade Federal do Rio grande do Norte, jivan@ufnet.br

1. INTRODUÇÃO

A área de estudo está situada na borda sul da Bacia Potiguar na parte central do Estado do Rio Grande do Norte, região nordeste do Brasil. É uma área estreita que vai da cidade de Upanema até a cidade Afonso Bezerra, cuja superfície é de aproximadamente 1.080 km². A água subterrânea do Aquífero Açú é a principal fonte de suprimento de cidades como Upanema, Ipanguaçu e Afonso Bezerra, além de alguns distritos. O uso da água na irrigação não é comum, mas está em crescimento. Existe um caso no qual a água é utilizada como água mineral: a Água Mineral Seridó, situada no município de Upanema. Os poços que penetram o aquífero Açú são de profundidades da ordem de 90,0 m, os quais produzem até 60,0 m³/h. A descarga total obtida dos poços é de cerca de 5,3 milhões de m³/ano. Nos últimos anos o uso das águas subterrâneas, quer no suprimento da população quer para irrigação, tem sido limitado devido a ocorrência de águas salinas, baixa produtividade de poços em algumas situações e a falta de conhecimento acerca das potencialidades do aquífero.

Águas subterrâneas salinas ocorrem frequentemente em contacto hidráulico com águas doces e pode causar restrições a exploração destas águas. O entendimento de respostas para os corpos de águas salinas pela abstração de águas doces requer o conhecimento acerca do sistema total que inclui o controle de cargas e do fluxo subterrâneo (Lloyd e Heathcote, 1985; Mather 1997). A água doce é considerada a água cuja salinidade é menor do que 1000 mg/L de sólidos totais dissolvidos (STD) (Robinove et al 1958; Freeze e Cherry, 1979). O termo água salina é usado para água no qual os sólidos totais dissolvidos é maior do que 1000 mg/L (Lloyd e Heathcote 1985) e o termo salinização, significa um aumento dos sólidos totais dissolvidos a partir de um referido background (Richter e Kreitler, 1993). Neste artigo, os aspectos da salinização das águas do aquífero Açú são discutidos, tentando obter informações acerca da origem, mecanismos e distribuição das águas salinas e também no que diz respeito as fácies hidroquímicas.

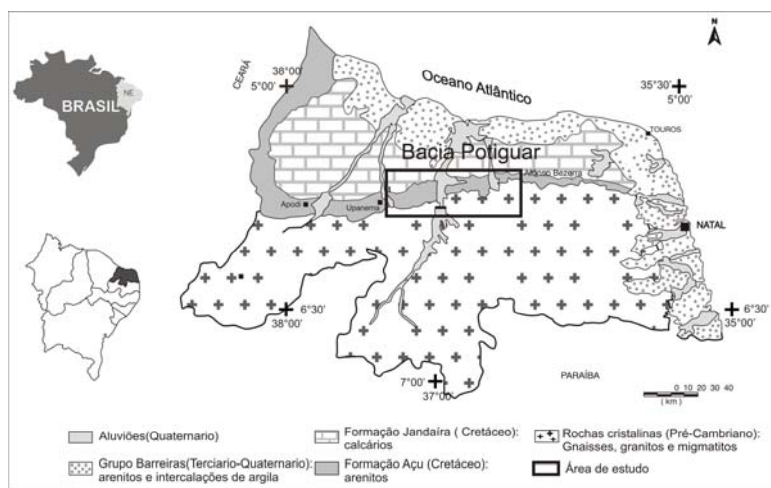


Figura 1: Localização da área de estudo e geologia do Estado do Rio Grande do Norte.

2. METODOLOGIA

O estudo hidroquímico e os aspectos da salinização da água são baseados em dados geológicos, estruturais, geofísicos e hidrogeológicos e, sobretudo, nos resultados das análises químicas de água. A estrutura hidrogeológica da área de estudo foi definida pela correlação entre perfis de poços e resultados de estudos geofísicos de sondagens elétricas verticais e dados gravimétricos. A caracterização do fluxo da água subterrânea foi efetuada a partir do mapa potenciométrico da área, o qual foi obtido de dados do nível d'água e dados topográficos (cotas) de poços. Estes foram obtidos utilizando sistema de GPS Geodésico de dupla frequência.

Inicialmente, os estudos hidroquímicos foram executados pela avaliação da qualidade das águas através de medidas “in situ” da condutividade elétrica da água do poço. Neste caso, condutivímetros portáteis foram usados.

Levando em consideração os resultados obtidos nessa avaliação preliminar, uma rede de monitoramento qualitativa e quantitativa foi definida, o qual incluiu além de poços de captação d'água, pontos de coleta de águas de chuva. O total de pontos de água selecionados foi 65, cujos poços foram preferencialmente selecionados levando em consideração a existência de perfil litológico e construtivo, sob diferentes situações de salinização.

A análise hidrogeoquímica foi executada para alcançar os seguintes objetivos: identificação dos tipos de água com relação aos íons maiores; avaliação da recarga e descarga das águas subterrâneas; e estudo da origem, mecanismos e distribuição das águas subterrâneas salinas. Os parâmetros hidrogeoquímicos avaliados foram: os cátions maiores (Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) e os ânions maiores (Cl^- , SO_4^{2-} , e HCO_3^-), os compostos de nitrogênio (NH_4 , NO_2 e NO_3), condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, temperatura, alcalinidade e dureza, além de Fe, CO_3 e K. Os resultados das análises foram submetidos a um balanço de massas e somente aqueles com erro menor do que 5% foram considerados.

3. CONDIÇÕES CLIMÁTICA, GEOLÓGICA E FISIOGRÁFICA

A precipitação pluviométrica na área de estudo cresce de leste para oeste, cujos valores variam de 536 mm/anuais em Afonso Bezerra até 666 mm/ano em Upanema e cuja média é de 595,5 mm/ano (período 1931-2004). A chuva está concentrada em três a quatro meses do ano (Figura 2), resultando em um alto “déficit” hídrico e uma área com características semi-árida, cuja evapotranspiração potencial é de 1499,4 mm/ano.

A área está situada na borda sul da Bacia Potiguar, formada principalmente por arenitos da Formação Açú, do Cretáceo Inferior. O Quaternário é representado pela presença de cascalho e depósitos aluviais que ocorrem com expressividade na Planície aluvial do vale do Açú. A Formação Açú está situada sobre rochas cristalinas do Pré-Cambriano e está limitada ao sul por essas rochas

principalmente por granitos do Brasiliano e gnaisses migmatíticos. Há indicação de foliação e zonas de stress, de idade Brasiliana. Ao Norte, a Formação Açú está limitada pela Formação Jandaira, formada de rochas carbonáticas (calcario e dolomita), de idade atribuída ao Cretáceo Superior. Esses limites ocorrem em alguns casos como uma linha reta de relevo abrupto indicando falhas e fraturas (possível reativação neotectônica por falhas Cretáceas ou falhas Terciárias, conforme descrito por Medeiros et al 2001).

O Rio Açú cruza a parte central da área de norte a sul após drenar terrenos de rochas cristalinas. Os efluentes desses rios desenvolvem uma drenagem pouco densa indicando baixo fluxo superficial e uma elevada taxa de infiltração que é afetada pela alta taxa de evapotranspiração.

Na paisagem regional, diferentes formas de relevo podem ser vistas associadas aos diferentes tipos de rochas e as características geo-estruturais. No domínio das rochas cristalinas, ao sul da área, o relevo é acidentado, com elevações no relevo desenvolvendo uma drenagem dendritica e densa. Ao norte da área, o relevo é plano e suave. Este é formado pelos calcários e dolomitas da Formação Jandaira. A área efetivamente estudada, de afloramento da Formação Açú, tem um relevo tabular com inclinação suave na direção dos rios. O limite dos arenitos da Formação Açú com os calcários da Formação Jandaira ocorre através de um relevo abrupto.

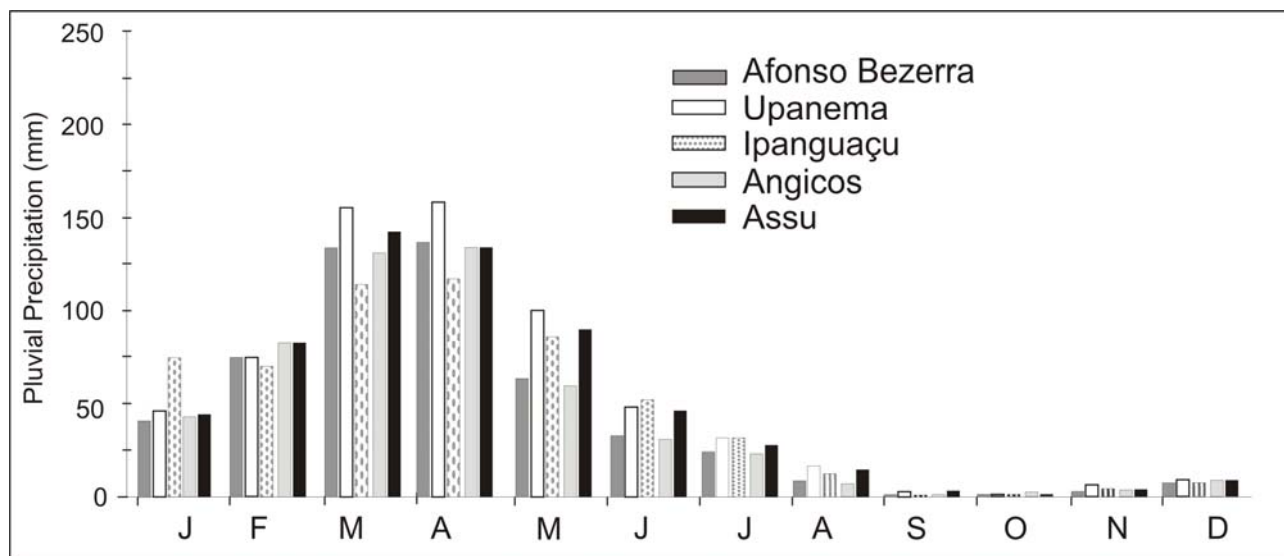


Figura 2. Representação gráfica da precipitação pluviométrica mensal (1910-2004).

4. SITUAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

4.1 Estrutura hidrogeológica

A caracterização da estrutura hidrogeológica da área reuniu elementos da análise estrutural, da geofísica e da hidrogeologia. A pesquisa geofísica e estrutural foi executada em escala regional e consistiu de uma compilação do mapa geológico na escala 1:200.000 (Brasil-CPRM, 2006); uma

interpretação de imagens Landsat; uma pesquisa de dados estruturais; e análise de dados gravimétricos e de sondagens elétricas verticais (SEV) (Branco,2006). Embora algumas anomalias (como altos e baixos estruturais) possam ser interpretadas como configuração associada a paleorelievo, os estudos regionais são favoráveis a uma interpretação estrutural (falhas) na maioria dos casos (Medeiros et al 2001). Ver figuras 3A, 3B e 3C.

Levando em consideração os perfis dos poços foi verificado que a espessura da Formação Açú aumenta do sul (Embasamento cristalino) para norte (Formação Jandaira). A espessura da Formação Açú varia de menos de 32,0 m na Zona Sul da área (próximo ao limite das rochas cristalinas) até mais do que 154,0 m na Zona norte da área (em direção aos calcários da Formação Jandaira). Os estudos geofísicos, entretanto, mostram a possibilidade da espessura da Formação Açú alcançar de 140,0 até 300,0 m, respectivamente. A espessura saturada do aquífero Açú varia de 9,8 m na zona sul da área até 140,0 m na zona norte. A profundidade do nível da água subterrânea muda principalmente em conformidade com a topografia de menos de 10,0 m para mais do que 60,0 m.

A litologia do aquífero Açú é constituída na parte mais inferior por arenitos finos a grosseiros e conglomeráticos, que mudam na parte superior, em direção a superfície do solo, para arenitos com níveis de argilitos e siltitos intercalados. Isso atribui ao aquífero um caráter de sistema livre com ocorrências localizadas de aquífero do tipo semi-confinado.

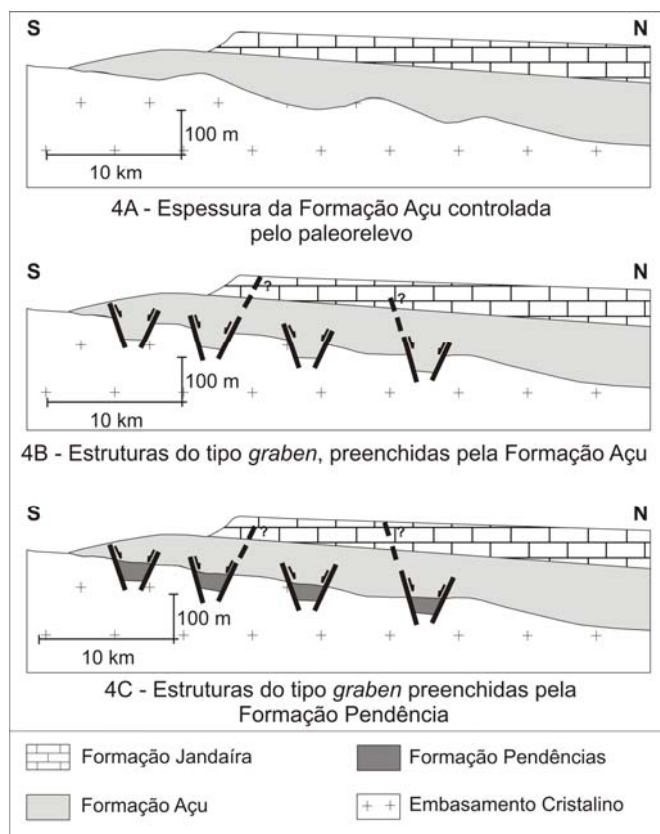


Figura 3. Modelo estrutural hidrogeológico na borda sul da Bacia Potiguar (Medeiros et. al. 2001).

4.2 Fluxo das águas subterrâneas e parâmetros hidrodinâmicos

Como mostra a configuração das equipotenciais (Figura 4), o fluxo das águas subterrâneas é em geral na direção de Sul para Norte, saindo de próximo do limite sul com as rochas cristalinas em direção aos calcários da Formação Jandaira. Ocasionalmente, as linhas de fluxo mudam para noroeste e nordeste em direção aos principais rios que drenam a área (rio Açú, rio do Carmo, e rio Mulungu). Os gradientes hidráulicos na maior parte da área são da ordem de 0,35%, ocorrendo locais onde o gradiente alcança valores superiores a 1%, na região dos divisores de água, e casos onde é de menos de 0,1% (planície aluvial do Açú). A vazão total do fluxo subterrâneo natural da área foi avaliada em $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

A transmissividade do aquífero cresce na mesma direção do fluxo subterrâneo, mudando de menos do que $10 \text{ m}^2/\text{dia}$, na zona sul para valores superior a $400 \text{ m}^2/\text{dia}$ na zona norte, alcançando valores mais elevados próximo ao limite com os calcários. O valor mais elevado de transmissividade foi obtido na Planície do vale do Açú, onde foi alcançado $2065 \text{ m}^2/\text{dia}$. Neste caso, provavelmente, por influência de recarga do aquífero aluvial.

A porosidade efetiva foi obtida com base na interpretação de um teste de aquífero executado no Município de Açú, cujo valor foi de 8,1%.

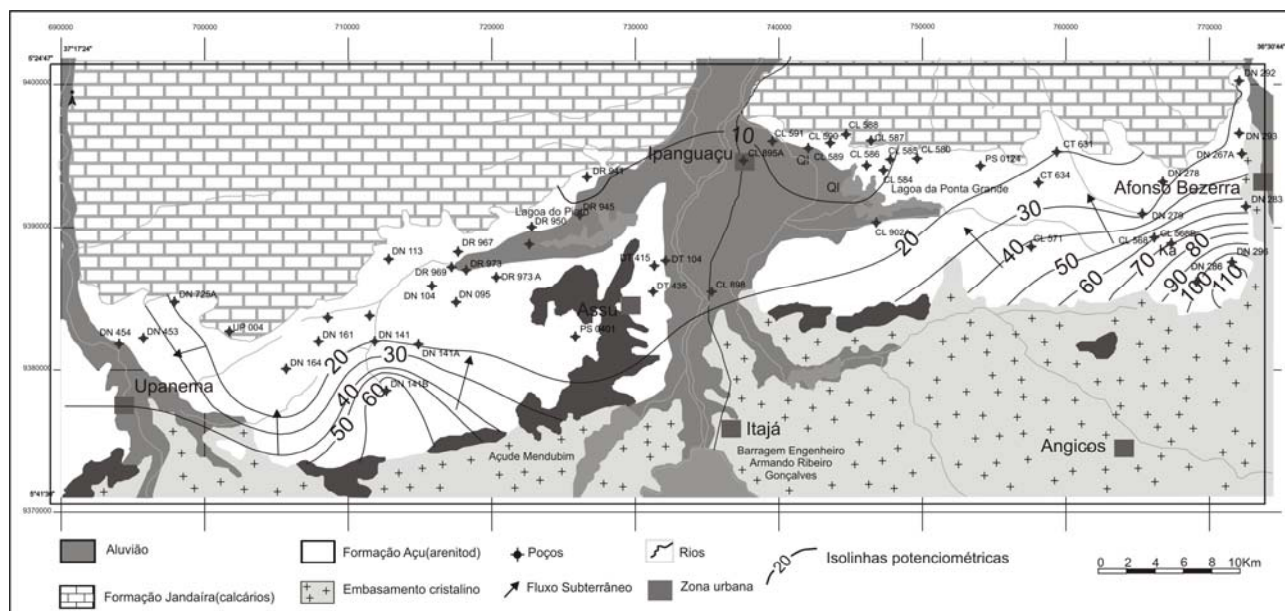


Figura 4. Mapa potenciométrico do aquífero Açú referente ao mês de maio de 2006.

5. HIDROGEOQUÍMICA E SALINIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

5.1 Resultados das análises químicas das amostras de água

A avaliação hidroquímica, incluindo os aspectos relativos à distribuição, origem e os mecanismos de salinização das águas subterrâneas é apresentada a partir dos resultados das análises químicas de 63 amostras de água coletadas de poços captando água do aquífero Açú, 3 amostras de água de poços do aquífero Jandaira, 2 amostras de poços do aquífero cristalino e 2 amostras de água de chuva. Os resultados das análises das águas subterrâneas são apresentados como um sumário estatístico na Tabela 1.

Tabela 1. Sumário estatístico da concentração dos constituintes químicos obtidos de poços situados no aquífero Açú (63 resultados).

	Min	Max	Média	Dv padrão	Desv	Coef Var ^o %
Na (mg/L)	13,1	552,38	99,377	103,492	104,14	98,0
Ca (mg/L)	0,0	693,6	60,649	96,914	159,8	100,0
Mg (mg/L)	3,37	313,6	42,203	55,674	131,92	99,0
Cl (mg/L)	14,8	2244,2	302,24	398,19	131,75	100,0
SO ₄ (mg/L)	0,0	375,24	38,227	70,093	183,36	100,0
pH	4,34	8,66	5,762	5,265	91,383	50,0
K (mg/L)	4,23	140,91	26,281	26,595	101,19	97,0
Cond (µS/cm)	198,6	6490,0	1181,9	1221,565	103,35	97,0
TDS (mg/L)	101,0	3450,0	597,92	639,281	106,92	97,0
HCO ₃ (mg/L)	4,88	639,28	102,06	104,357	102,25	99,0
NO ₃ (mg/L)	0,0	208,0	15,311	29,439	192,27	100,0
Fe (mg/L)	0,0	7,1	0,383	0,855	223,05	100,0

5.2 Salinidade das águas subterrâneas

A condutividade elétrica (CE) foi o principal parâmetro usado para avaliar a salinidade das águas subterrâneas, desde que o mesmo apresenta elevada correlação com os sólidos totais dissolvidos (STD), alcançando 99% (Tabela 2). No contexto geral, a água subterrânea é mais salina próximo as rochas cristalinas na parte sul da área, cujo valor alcança 3500 µS/cm 25 °C (Figura 5). Para o norte, na mesma direção do fluxo subterrâneo, a medida que a transmissividade do aquífero aumenta, a salinidade da água diminui para valores menores do que 500 µS/cm a 25 °C (Figura 5).

A estrutura hidrogeológica, contribui, portanto, para um melhor armazenamento e renovação da águas subterrâneas através da infiltração de água de chuva na zona norte da área, próxima a ocorrência dos calcários.

A baixa transmissividade do aquífero e a presença de um limite hidrogeológico, representado pelas rochas cristalinas, propiciando a ocorrência de águas subterrâneas rasas, é provavelmente o principal responsável pela alta salinidade da água subterrânea que se verifica na zona sul da área,

cuja baixa e intermitente recarga provavelmente resulta no efeito de sais cíclicos. Entre outros fatores que podem afetar a química das águas subterrâneas convém citar: clima, geologia e a estrutura hidrogeológica. Alguns constituintes dissolvidos apresentam um comportamento similar com relação a CE, ou seja, há uma diminuição na concentração a medida que o fluxo d'água subterrânea se desloca de sul para norte da área. Os mecanismos de recarga e a renovação das águas são responsáveis por essas modificações (Melo e Stein, 2003). Há uma boa correlação entre a CE (e STD) em relação a concentração dos cátions Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , cujos coeficientes de concentração são de 84%; 73% e 97%, respectivamente (Tabela 2). O baixo valor obtido para a correlação com o calcio é provavelmente por influência da dissolução do carbonato. O íon K^+ , entretanto, não apresenta uma boa correlação com a CE, alcançando somente 51%. Isto significa que o K^+ não é afetado a medida que a salinidade da água subterrânea diminui na direção do fluxo subterrâneo seguindo o trajeto de sul para o norte. Os sedimentos argilosos na matriz do aquífero afetam as concentrações de K^+ nas águas subterrâneas. Sua presença induz concentrações mais baixas nas águas subterrâneas (Mather,1997).

Tabela 2. Correlação matricial entre constituintes químicos.

	Concentração em mg/L								
	Cond	TDS	Ca	Mg	Na	K	HCO3	SO4	Cl
Cond	1,0	0,999	0,731	0,968	0,842	0,513	0,353	0,415	0,968
TDS		1,0	0,732	0,969	0,839	0,507	0,346	0,41	0,969
Ca			1,0	0,77	0,386	2,5 E-2	0,334	0,689	0,711
Mg				1,0	0,732	0,471	0,284	0,42	0,942
Na					1,0	0,552	0,446	0,278	0,8
K						1,0	-0,17	-0,12	0,525
HCO3							1,0	0,463	0,236
SO4								1,0	0,304
Cl									1,0

Considerando os ânions, o Cl⁻ apresenta uma boa correlação com a CE (97%). Como foi mostrado antes e como pode ser visto na Figura 6 (distribuição do cloreto), a salinidade da água subterrânea diminui a medida que a água subterrânea move-se para jusante com relação ao fluxo subterrâneo. Isto significa que o mecanismo de recarga contribui para uma diluição progressiva dos sais e uma redução na concentração do cloreto. Os ânions HCO_3^- e SO_4^{2-} apresentam uma baixa correlação com os sólidos totais dissolvidos, cujos coeficientes de correlação são de 35% e 41%, respectivamente. Portanto, esses ânions não são afetados pela salinização.

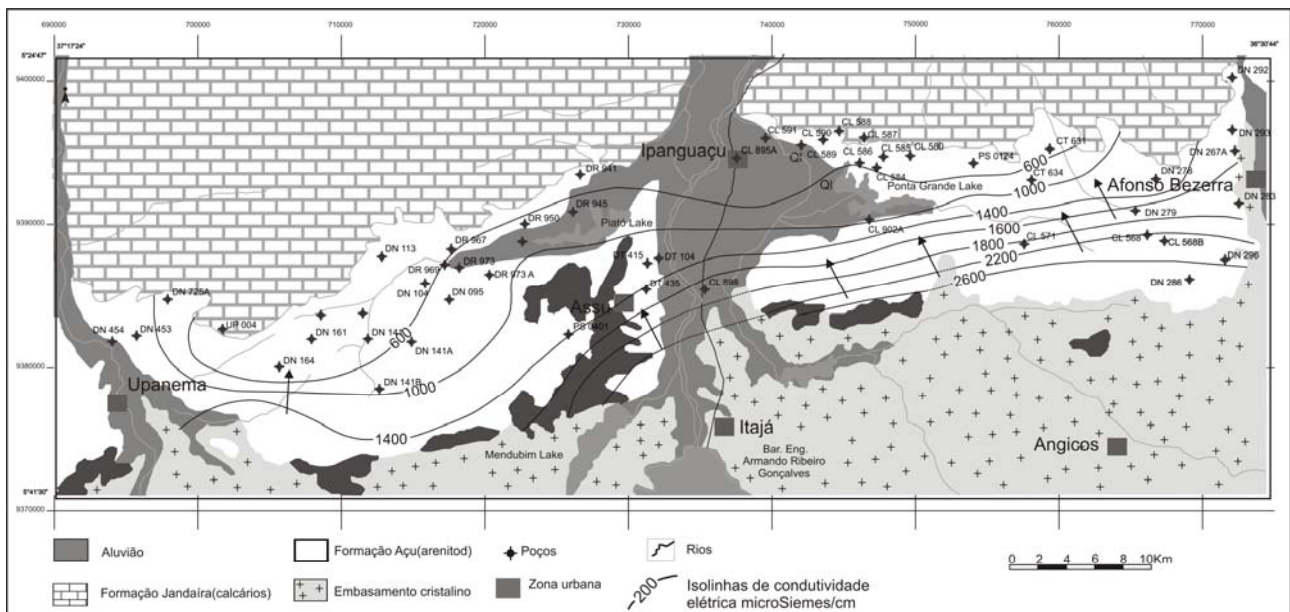


Figura 5. Condutividade elétrica do aquífero Açú.

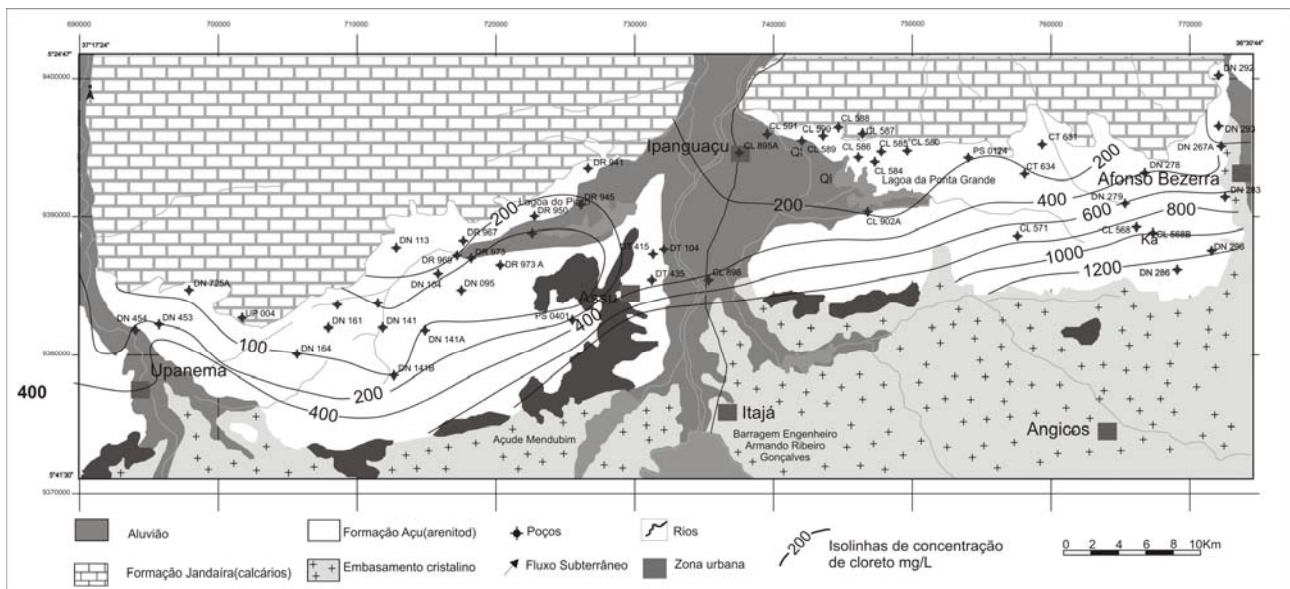


Figura 6. Distribuição da concentração de cloreto no aquífero Açú.

5.3 Fácies hidroquímicas

Esse termo “fácies” é usado para descrever os corpos de água subterrânea, no aquífero, que diferem em sua composição química. As “fácies” são uma função da litologia, cinética da solução, e padrão do fluxo do aquífero (Back 1960, 1966; Edmunds, 1981). Fácies hidroquímicas podem ser classificadas com base nos íons dominantes e podem ser definidas através do diagrama trilinear de Piper (Figura 7). Os resultados das análises químicas das 63 amostras de água coletadas dos poços no aquífero Açú, aquífero Jandaíra e aquífero cristalino foram representados nesse diagrama. Três fácies hidroquímicas foram identificadas: Águas do tipo $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$; $\text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$ e/ou Mg^{2+} e $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$.

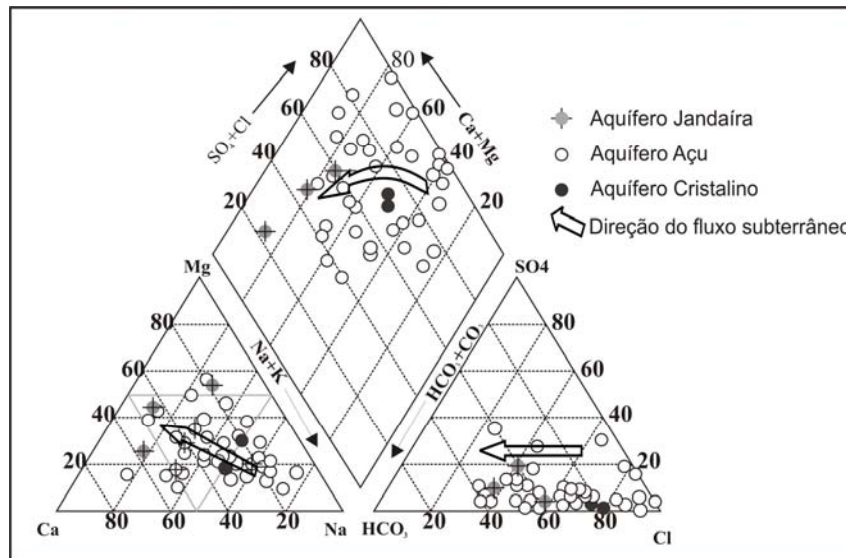


Figura 7. Representação dos resultados das análises químicas das amostras de água coletadas nos poços, no diagrama de Piper.

As águas do tipo $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$ mudam para águas do tipo Ca^{2+} , $\text{Mg}^{2+}\text{-Cl}^-$ a medida que a água subterrânea move-se de montante para jusante na direção do fluxo subterrâneo e em seguida para águas do tipo $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$, a medida que a água aproxima-se do aquífero Jandaira (rochas carbonáticas). Observando o triângulo dos cátions pode ser verificado que na direção do fluxo subterrâneo, o cátion Na^+ tende a mudar de posição com relação ao cátion Ca^{2+} ou Mg^{2+} . No triângulo dos ânions, o Cl^- é substituído pelo ânion HCO_3^- .

A água do aquífero Jandaira, na maioria dos casos, é do tipo $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ e em poucos casos $\text{Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$, cujos íons dominantes foram originados pela dissolução das rochas carbonáticas (calcários e dolomitas). A água dos poços do aquífero cristalino é do tipo $\text{Na}^+\text{-Cl}^-$. A presença do cloreto nas águas do aquífero cristalino é uma característica comum em regiões semi-áridas, cuja salinização é elevada e associada aos efeitos de sais cíclicos.

Os resultados das análises químicas foram também representados no diagrama de Durov expandido. Esse diagrama tem uma distinta vantagem sobre o diagrama de Piper porque ele fornece mais informações sobre os tipos hidroquímicos e sobre a evolução da qualidade das águas (Lloyd e Heathcote, 1985; Petalas e Diamantis 1999; Hussein 2004). Com base no diagrama de Durov oito (8) diferentes campos foram identificados entre os nove (9) possíveis campos. A maioria da água está situada nos campos 8 e 9, seguido pelos campos 5, 3, 7, 4, 2 e 1 (Figura 8). Os campos e os correspondentes tipos de água identificados são discutidos a seguir:

Campo 1: HCO_3^- e Ca^{2+} dominante, correspondendo a uma amostra de um poço penetrando o aquífero Jandaira.

Campo 2: HCO_3^- e Mg^{2+} dominante, com Ca^{2+} e Na^+ também considerados importantes. Provavelmente a água está associada com dolomitas; Representa águas de poços situadas no setor

norte da área, próximo das rochas carbonáticas ou associadas com poços que captam águas dos aquíferos Açú e Jandaira. Apenas um caso foi observado.

Campo 3: HCO_3^- e Na^+ dominantes, indicando provavelmente águas com troca de íons no aquífero Açú.

Campo 4: SO_4^{2-} dominante ou ânions indiscriminados e Ca^{2+} dominante. Indica águas exibindo simples dissolução ou mistura. Esse tipo de água ocorre no aquífero Açú, próximo do aquífero Jandaira.

Campo 5: Ânion ou cátion não dominantes. Indica águas exibindo simples dissolução ou mistura. Essa situação foi observada na água de poços penetrando o aquífero Açú.

Campo 7: Cl^- e Ca^{2+} dominante. Pode ser resultado de troca reversa de íons de águas $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$.

Campo 8: Cl^- dominante e cátion não dominante. Indica que a água subterrânea pode estar relacionada com trocas de íons reverso de águas $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$. Esse contexto é observado principalmente em águas de poços localizados no aquífero Açú na parte central e norte da área.

Campo 9: Cl^- e Na^+ dominante. A água é em geral mais salina e as amostras foram coletadas em poços do aquífero Açú na faixa sul da área e de poços no aquífero cristalino.

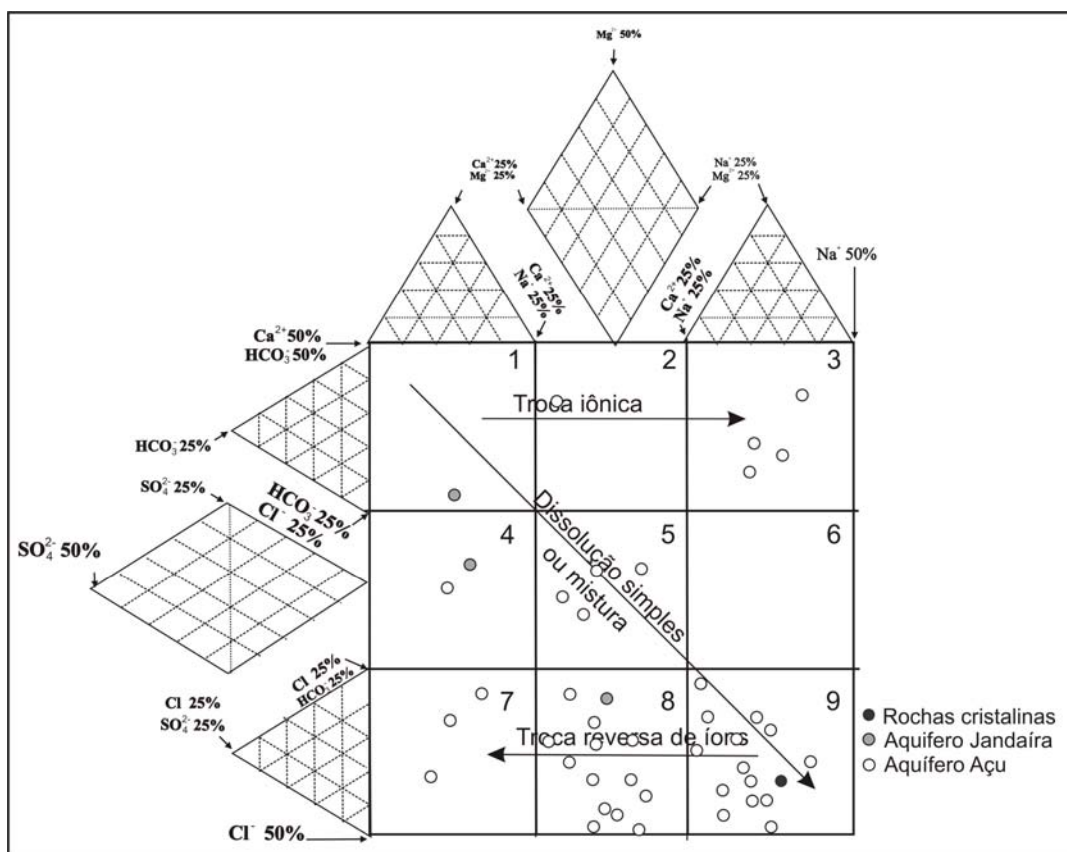


Figura 8. Fácies hidroquímicas e tipos de água segundo o diagrama de Durov expandido.

6. CONCLUSÕES

A Formação Açú é caracterizada por arenitos com argilitos intercalados e a presença de altos e baixos estruturais. Essa configuração resultou em um aquífero livre com a ocorrência de semi-confinamentos localizados, cuja transmissividade varia em diferentes setores da área. Este comportamento, associado ao clima semi-árido, é responsável por processos geoquímicos específicos que ocorrem no sentido do fluxo subterrâneo. Esses processos incluem evaporação, mistura de águas salinizadas e águas doces, trocas de íons reversa, e dissolução de carbonatos e dissolução de gipsita e /ou anidrita. A ação de todo esses processos resulta na ocorrência de águas com diferentes concentrações salinas.

Na zona sul da área a evaporação é o processo mais importante, resultando em água cuja salinidade é mais elevada. A água, neste caso é do tipo $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$, cuja utilização é limitada.

Na zona norte da área, as condições de recarga, armazenamento e a renovação da água são favoráveis a ocorrência de águas de baixa salinidade. Além disso, o processo de troca de íons reverso, misturas e dissolução de carbonato, resultam em águas dos tipos: $\text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$, Ca^{2+} , Mg^{2+} ou $\text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$ and $\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-$ e/ ou Mg^{2+} . Neste caso, as águas subterrâneas assumem um importante papel no suprimento humano e de uso na irrigação.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Financiadora e Estudos e Projetos (FINEP) com o Fundo Setorial CT-HIDRO (Projeto de Bacias Sedimentares no Semi-Árido, subprojeto AQUIFAÇU) desenvolvido em cooperação com CPRM-Serviço Geológico do Brasil e UFRN. Agradecemos também a colaboração do geólogo Eugênio, da Prefeitura Municipal de Assu-RN.

Referências

BACK, W (1960). Origin of hydrochemical facies in groundwater in the Atlantic Coastal plain. Proceedings, International Geological Congress (Copenhagen), 1:87-95.

BACK W (1966). Hydrochemical facies and groundwater flow patterns in northern part of the Atlantic Coastal plain. U. S. Geological Survey Professional Paper 498-A.

BRANCO, R.M.C.; 2006, Levantamento Geofísico (SEV e Gravimetria) na Formação Açú, trecho Upanema- Afonso Bezerra. FINEP/CT-HIDRO/CPRM- Projeto de Bacias Sedimentares no Semi-Árido, subprojeto AQUIFAÇU, Relatório técnico, 2006.

BRASIL – CPRM (2006). Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte, escala 1:500.000. DNPM, UFRN, PETROBRAS, CRM.

- PETALAS CP; Diamantis IB (1999) Origin and distribution of saline groundwater in the upper Miocene aquifer system, coastal Rhodope area, Northeastern Greece. *Hydrogeology J* 7(3):305-316
- EDMUNDS WM (1981). Hydrogeochemical investigations. In: Case-studies in groundwater resources evaluation. Ed by J.W. Lloyd. Clarendon Press, Oxford, pp 87-112.
- FREEZE RA, Cherry JA (1979) *Groundwater*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 204 p
- HUSSEIN M. T. (2004). Hydrochemical evaluation of groundwater in the Blue Nile Basin, eastern Sudan, using conventional and multivariate techniques. *Hydrogeolog J* 12 (2):144-158
- LLOYD JW, Heathcote J.A. (1985) *Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater, an introduction*. Clarendon Press, Oxford.
- MATHER J. (1997). Relationship between rock, soil and groundwater compositions. In: *Geochemical processes, weathering and groundwater recharge in catchments*. O.M. Saether & Caritat (eds). Balkema, Rotterdam, Brookfield, pp 305-328
- MEDEIROS, W. E; DE SÁ, EFJ. MEDEIROS V C, Lucena LRF (2001). Estrutura geológica do aquífero Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar entre Apodi e Upanema, RN. Convênio CAERN/FUNPEC/UFRN. Relatório Técnico.
- MELO J. G., Stein, P (2003). Recursos hídricos subterrâneos da Formação Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar, RN – Faixa Upanema-Apodi. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN). Natal, RN, Brasil.
- RICHTER BC, Kreitler BE (1993) *Geochemical techniques for identifying sources of groundwater salinization*. C.K Smoley.
- ROBINOVE CJ, Langford RH, Brookhart JW (1958) *Saline water resources of North Dakota*. U.S. Geological Survey Water supply Paper 1428, 72 p.