

ASPECTOS QUALITATIVOS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO DE IRAUÇUBA, NORTE DO ESTADO DO CEARÁ

Liano Silva Veríssimo¹ & Fernando Antônio Carneiro Feitosa¹

RESUMO - Esse trabalho trata da qualidade das águas subterrâneas na região de Irauçuba, Nordeste do Brasil. A área é constituída em 90% por rochas cristalinas sem manto de alteração expressivo, possuindo um baixo potencial hidrogeológico. O Cadastro de Pontos d'Água contém 220 poços e 21 fontes, com 114 análises físico-químicas. A geologia é constituída por rochas do Pré-cambriano e depósitos aluviais. A área fica inserida no "Polígono das Secas", onde o índice de secas está entre 80 e 100%. Apresenta três tipos de climas regionais, do mais seco ao mais úmido. Foram utilizadas 97 análises físico-químicas de poços tubulares, sendo 42 coletadas nos mesmos poços, em dois períodos distintos (nov/2000 e jul/2001), objetivando identificar alterações na composição química das águas subterrâneas, após o período das chuvas. O valor médio da dureza nos poços tubulares é 1.094 mg/L de CaCO₃ e nas fontes 40 mg/L de CaCO₃. Para o STD a média é 3.012 mg/L e nas fontes 119 mg/L. O pH nos poços tubulares tem média de 7,7 e 7,3 nas fontes. A relação iônica entre ânions e cátions nos poços tubulares é $rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^{++}$ e $rNa^+ > rMg^{++} > rCa^{++}$, com uma predominância das águas cloretadas do tipo sódica.

ABSTRACT - This work deals with the characterization of groundwater quality in the Irauçuba area, in the state of Ceará in northeast Brazil. The area is 90% underlain by crystalline rocks without significant alteration cover, and low hydrogeologic potential. The cadastral data set contains 220 wells, 21 springs, with 114 physico-chemical analyses. Geologically, the area is made up of Precambrian rocks and alluvial deposits. It is situated within the so-called "Drought Polygon" where the drought index is between 80 and 100%. The region is divided into three regional climatic zones that vary from dryer to more humid. 97 physiochemical analyses of tubular wells were used, being 42 collected in the same wells, in two different periods (nov. /2000 and jul/2001), aiming at to identify alterations in the chemical composition of the underground waters, after the period of the rains. The average value for hardness in the tubular wells is 1.094 mg/L CaCO₃ and the spring is 40 mg/L CaCO₃. The average value for TDS in the tubular wells is 3.012 mg/L and the spring is 119 mg/L. The average value for pH is 7.7 and the spring is 7.3. Salinity is mostly due to sodium chloride.

Palavras-chaves: Qualidade da água; hidroquímica; salinização

¹Geólogos do Serviço Geológico do Brasil – CPRM - Residência de Fortaleza - Av. Santos Dumont, 7700 - 2º andar - Fone (085) 265.1288 – CEP: 60.190-800 – Fortaleza-CE – e-mail: onail@secrel.com.br; e fffeitosa@secrel.com.br

INTRODUÇÃO

O conhecimento da qualidade das águas de uma região constitui-se num mecanismo para caracterizá-las quanto a sua potabilidade e direcionamento de usos (doméstico, industrial e agropecuário).

O presente documento enfoca parte das atividades desenvolvidas no âmbito do Projeto Otimização de Metodologias de Prospecção de Água Subterrânea em Rochas Cristalinas, na porção norte do Estado do Ceará (Folha Irauçuba, SA.24-Y-D-V), Nordeste do Brasil. Constitui-se do diagnóstico da qualidade das águas subterrâneas da região, com o objetivo de auxiliar num maior conhecimento da hidrogeologia de rochas fissuradas, principalmente no aspecto salinização. Os trabalhos foram executados pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM/REFO auxiliado por um convênio de cooperação técnica Canadá-Brasil, firmado através do GSC - *Geological Survey of Canada* e o Serviço Geológico do Brasil – CPRM, com o apoio da CIDA – *Canadian International Development Agency*.

LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de trabalho (3.025 km²) localiza-se a 160 km de Fortaleza, delimitada pelos meridianos 39°30' e 40°00' W de Greenwich e pelos paralelos 3°30' e 4°00' S, porção norte do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil (figura 1). O acesso é feito a partir de Fortaleza através da rodovia federal BR-222, que corta toda a área na direção leste-oeste.



Figura 1 – Mapa de localização

ASPECTOS GERAIS

A área de estudo está inserida numa região das mais secas do estado do Ceará e tem sua atividade econômica baseada na pecuária e agricultura extensiva.

Geologia - A geologia da Folha Irauçuba segundo SOUZA FILHO (1998), é constituída por rochas do pré-cambriano e depósitos aluvionares. No âmbito das rochas Pré-cambrianas a unidade mais antiga é formada por rochas metamórficas de alto grau, predominando gnaisses migmatizados e metabasitos. A unidade seguinte constitui uma seqüência supracrustal essencialmente paraderivada, correlacionável ao Complexo Ceará, composta por gnaisses, xistos, quartzitos e metacarbonatos. Intrusivos nas seqüências descritas anteriormente ocorrem corpos com dimensões variadas de rochas plutônicas, deformadas ou não, de composição granodiorítica a granítica e diques básicos mesozóicos. Nessas rochas a ocorrência da água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, o que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão.

Como representantes cenozóicos existem delgadas coberturas sedimentares residuais e/ou transportadas, predominantemente areno-conglomeráticas, e depósitos aluvionares recentes. Apresentam, em geral, uma boa alternativa como manancial, tendo uma importância relativa alta do ponto de vista hidrogeológico, principalmente em regiões semi-áridas.

Geomorfologia - segundo LIMA et al (2000) a área está inserida em duas regiões naturais denominadas de *maciços residuais* e *depressões sertanejas*. Os maciços residuais estão identificados pelas serras úmidas e subúmidas da área, com altitudes entre 650 e 900 m. As depressões sertanejas estão identificadas pelos sertões do centro norte, com superfície de aplainamento dissecado em interflúvios tabulares e em colinas rasas com níveis altimétricos entre 200 e 300 m.

Clima - a área está inserida no denominado "Polígono das Secas", onde o índice de probabilidade de secas situa-se na faixa de 80 a 100%. Regionalmente o clima é do tipo *Bsh* segundo a classificação de Köppen (quente com período seco). Localmente apresenta uma variabilidade climática de três tipos. O úmido a subúmido ocorre na serra de Uruburetama, com temperatura média anual de 24 °C e deficiências hídricas de moderadas a baixas, durante cinco meses do ano. A precipitação anual oscila de 1.200-1.500 mm. Nas encostas da serra o clima subúmido predomina com precipitações anuais entre 800-1.200 mm e deficiência hídrica durante cinco a seis meses do ano. A temperatura média anual é de 28 °C. A porção sul da Folha Irauçuba, na chamada zona de sombra da serra, é caracterizada por um clima semi-árido, com precipitação anual inferior a 800 mm e deficiência hídrica elevada durante oito meses do ano.

Hidrografia – é representada pelos principais rios da região, que fluem somente durante a época das chuvas. O padrão de drenagem dominante é o dendrítico, controlado por fatores estruturais.

Solos - segundo LIMA (op. cit.), os solos no Ceará têm uma distribuição estreitamente relacionada com a compartimentação geomorfológica. Nesse contexto para os maciços residuais temos os *Podzólicos vermelho-amarelos*. Nas depressões sertanejas dominam três tipos de solos: *Litólicos*; *Planossolos solódicos* e *Brunos não cálcicos*.

Vegetação – segundo o IPLANCE (1997) a vegetação é representada por duas unidades fitoecológicas: *Caatinga Arbustiva Aberta e localmente Densa* – predominante na maior parte da área (80%); e *Floresta Subcaducifolia Tropical Pluvial*, que ocorre numa pequena porção a nordeste, ocupando os níveis mais superiores dos relevos cristalinos.

ANÁLISES DOS DADOS

Foi desenvolvido junto às entidades públicas e privadas um levantamento das fichas técnicas dos poços, gerando um cadastro preliminar de 80 poços tubulares e 12 análises físico-químicas.

No mês de dezembro/2000 foi realizada uma etapa de campo, finalizando com cadastramento de mais 121 poços tubulares e a coleta de amostras d'água em 45 poços para análise físico-química.

Após o período das chuvas (jul/2001) foi realizada uma etapa de campo, para uma nova coleta de água nos mesmos 45 poços amostrados. O objetivo foi comparar as variações dos ânions e dos cátions após o período invernal. Foram coletadas 42 amostras dos 45 poços selecionados; 9 entre 17 novos poços cadastrados e 15 amostras em 21 fontes cadastradas.

Para a verificação da validade dos resultados das análises foi feito o cálculo do balanço iônico nas 123 análises, sendo aproveitadas para a interpretação aquelas cujo erro foi igual ou menor que 10,7%, ou seja, 114 análises (92,6%).

A caracterização química das águas subterrâneas foi identificada com a utilização de pacotes computacionais, estatísticos e hidroquímicos e diagramas específicos (*Piper, Schoeller & Berkaloff e U.S. Salinity Laboratory Staff*), onde foram plotadas as concentrações dos íons maiores envolvidos.

A informação dos dados levantados nos 220 poços tubulares esta assim representada: 136 (62%) apresentam dados de condutividade elétrica, 125 (57%) têm dados de pH e 99 (45%) apresentam dados físico-químicos completos. Para as 21 fontes, 23 (90%) apresentam dados de condutividade elétrica e 71% apresentam dados físico-químicos completos.

CARACTERÍSTICAS HIDROQUÍMICAS

Foram utilizadas 99 análises físico-químicas de poços tubulares, sendo que nas 42 amostras coletadas nos mesmos poços, em dois períodos distintos (nov/2000 e jul/2001), utilizou-se o valor médio. Para as águas de fontes, foram utilizadas 15 análises coletadas após o período das chuvas (jul/2001). A figura 2 mostra a distribuição espacial dos poços amostrados.

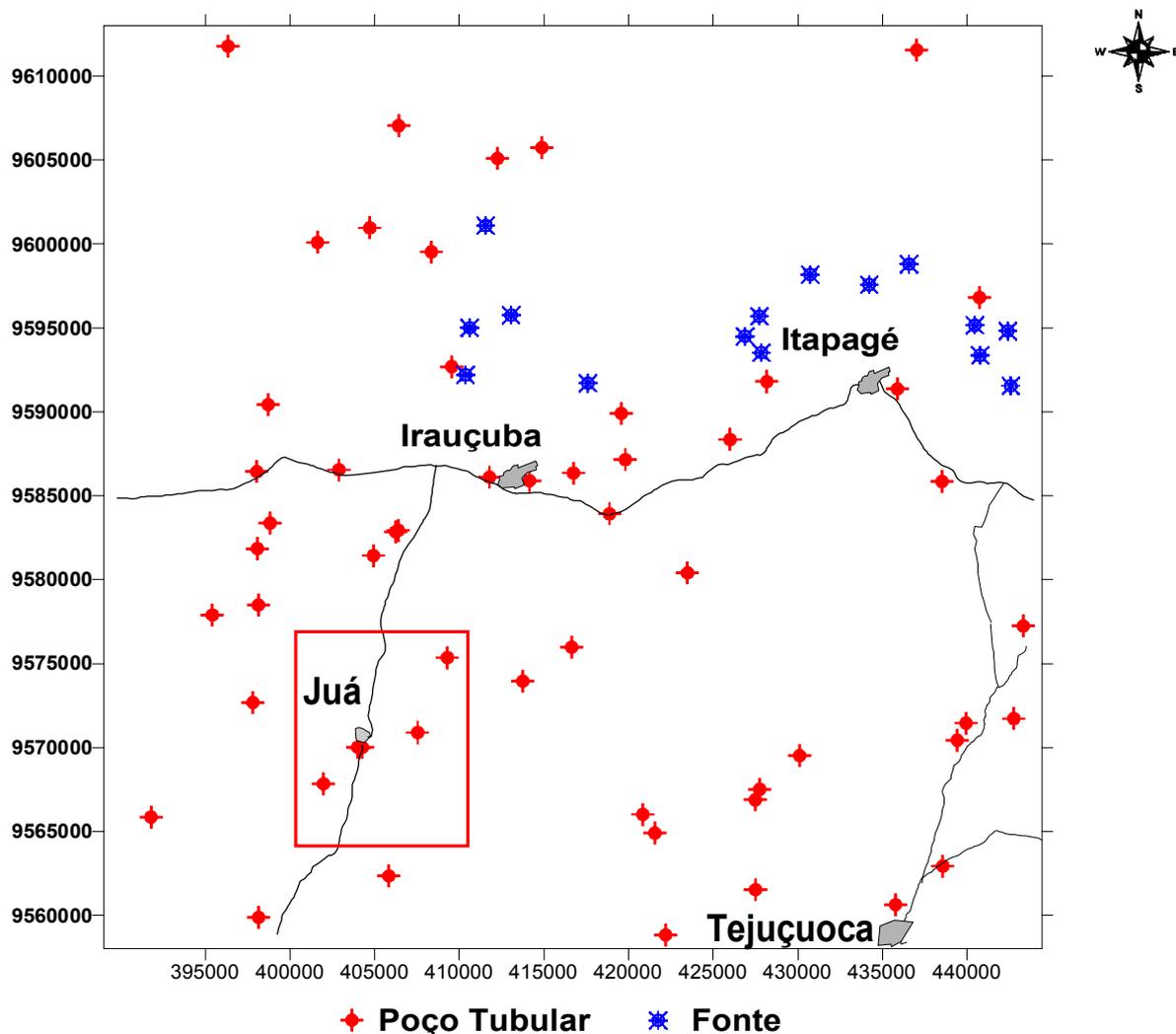


Figura 2 - Distribuição espacial dos poços amostrados

Dureza – Sua classificação foi realizada em função do CaCO_3 expresso em mg/L. Nos poços tubulares o valor médio obtido de 51 dados é 1.094 mg/L de CaCO_3 , sendo 48 (93%) classificada como “muito dura”. Nos dados das análises duplicadas (42), ocorreu uma diminuição em 66% dos poços, oscilando entre 20 e 1.300 mg/L de CaCO_3 , com média de 1.023 mg/L, não havendo alteração dos primeiros resultados. Para as águas das fontes, o valor médio é 40 mg/L de CaCO_3 , onde 99% foram identificadas como do tipo “mole”.

STD – O valor dos Sólidos Totais Dissolvidos nos poços tubulares oscila entre 200 e 15.200 mg/L, com média de 3.361 mg/L, muito comum no contexto cristalino. Cerca de 87% dos poços estão acima do valor máximo permitido (1.000 mg/L - Ministério da Saúde; Port. nº 1.469/02). Para as fontes o valor médio é 130 mg/L, oscilando entre 38 a 394 mg/L, com 100 % das amostras dentro dos padrões do MS.

pH – Dentro do universo de 125 medidas de pH em poços tubulares, o valor médio é 7,7, com maiores freqüências entre 7,3 e 8,0 (68%) (figura 3). Apresenta um caráter pouco básico, ainda

aceitável pelo Ministério da Saúde. O pH medido em 15 fontes oscila entre 6,7 e 8,1 com valor médio de 7,4 e maiores frequências de 6,9 a 7,5 (60%), identificando-se de caráter neutro com uma pequena tendência ao caráter ácido.

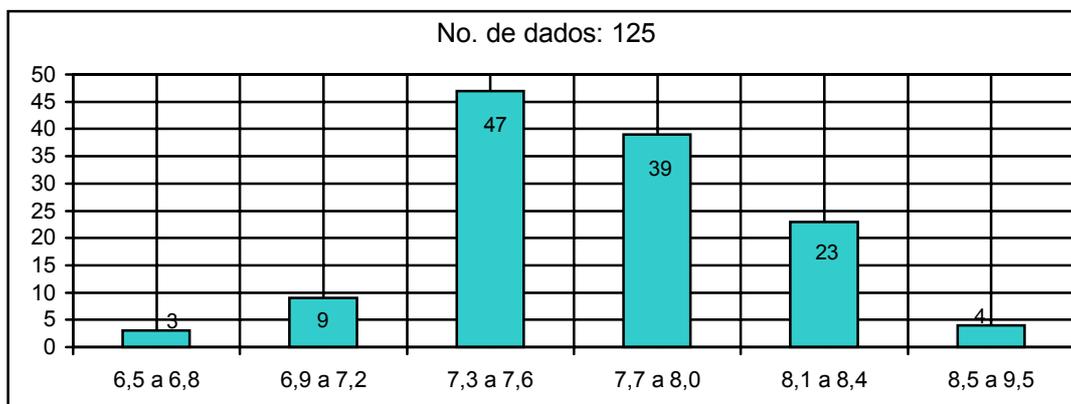


Figura 3 – Distribuição dos valores de pH das águas subterrâneas dos poços tubulares

Condutividade Elétrica – Em 140 poços tubulares o valor da mediana é $4.729 \mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C , com 87% situando-se acima de $1.600 \mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C . Foi observado que as águas dos poços localizados em litotipos como mármore, ortognaisses e paragnaisses apresentam valores de condutividade elétrica superiores a $2.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C , e chegam a $21.600 \mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C , enquanto nos poços localizados em rochas granitóides apresentam valores a partir de $250 \mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C (figura 4).

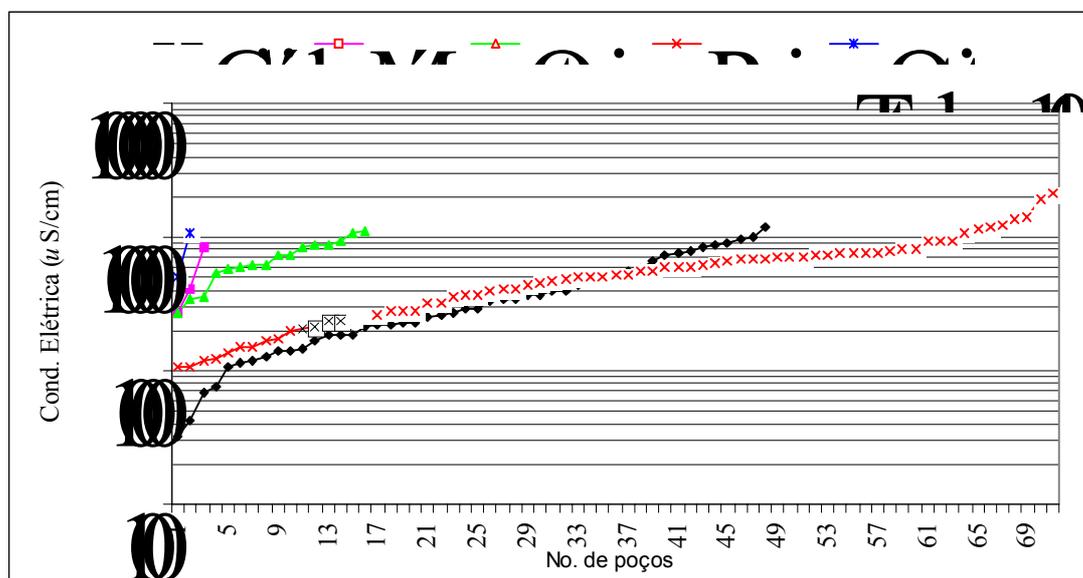


Figura 4 – Relação entre condutividade elétrica e tipo de rocha

A diminuição dos valores de condutividade elétrica nas análises duplicadas (42) foi identificada em 76% dos poços, oscilando de 5 a $6.000 \mu\text{S}/\text{cm}$ e mediana de $789 \mu\text{S}/\text{cm}$. Nos 24% restantes houve um acréscimo de sais, variando de 58 a $2.471 \mu\text{S}/\text{cm}$. (figura 5).



Figura 5- Distribuição da variação da condutividade elétrica

Acredita-se que essa diminuição no valor da condutividade elétrica deva-se à contribuição do aporte das águas de chuvas que circulando por solos pobres em íons cloretos e fraturas abertas misturaram-se às águas já existentes, ocorrendo diluição. Os poços que tiveram o acréscimo de sais devem estar localizados em solos de alta concentração de íons cloretos que possam contribuir para o aumento na condutividade elétrica, e/ou situados em zonas onde as fraturas são fechadas, aumentando o tempo de fluxo e diminuindo a recarga do aquífero. Na figura 6 temos a distribuição pontual da variação da condutividade elétrica.

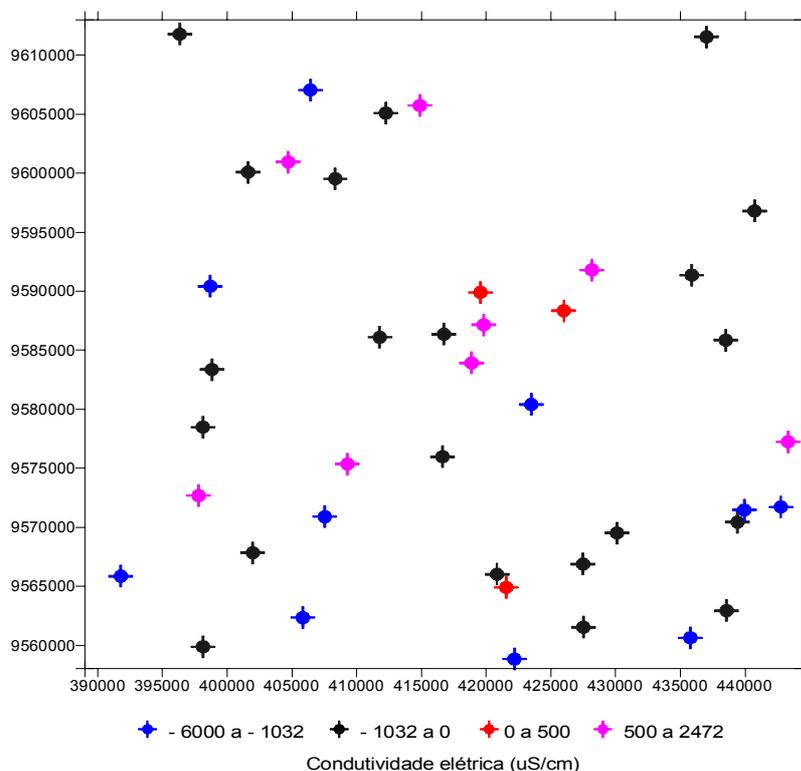


Figura 6 - Distribuição pontual da variação da condutividade elétrica.

Os valores de condutividade elétrica em 19 fontes oscilam entre 62 a 636 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e mediana de 172 $\mu\text{S}/\text{cm}$, todas dentro dos padrões admissíveis de água potável.

Classificação iônica

A classificação iônica das águas foi feita com o auxílio do diagrama de Piper, identificando diferentes classes e tipos predominantes existentes. Nos poços tubulares a relação iônica entre ânions e cátions foi a seguinte: $r\text{Cl}^- > r\text{HCO}_3^- > r\text{SO}_4^{++}$ e $r\text{Na}^+ > r\text{Mg}^{++} > r\text{Ca}^{++}$; com predominância das águas cloretadas do tipo sódica, seguida do tipo mista (figura 7). A presença maior do íon cloreto sobre os outros ânions é característica de águas continentais e também em função dos litotipos locais, pois na região concentram-se na sua totalidade rochas cristalinas. A tabela I mostra essa classificação distribuída por municípios, quantidade de amostras e frequência relativa.

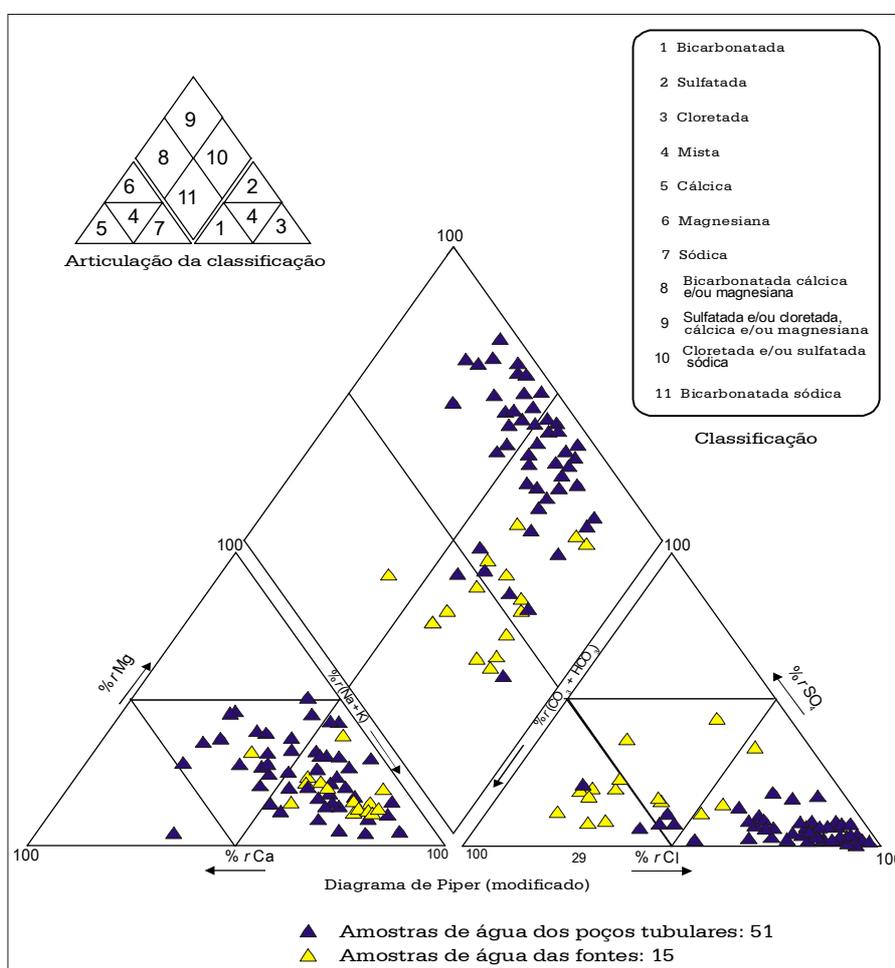


Figura 7 - Classificação iônica das águas

Na comparação da variação dos ânions e cátions nas duas amostragens foi observado que não ocorreu maiores alterações nas relações entre os compostos, permanecendo águas cloretadas do tipo sódica.

Tabela I - Classificação iônica das águas dos poços tubulares

Classe	Municípios							Nº. de Amostras	Frequência Relativa (%)
	Irauçuba	Itapagé	Tejuçuoca	Miraíma	Sobral	Itapipoca	Uruburetama		
Águas cloretadas								45	88,0
Sódica	14	03	07	05	-	-	-	29	(64,4)
Mista	09	01	04	-	-	-	-	14	(31,2)
Magnesianas	-	-	-	01	-	-	-	01	(2,2)
Cálcica	01	-	-	-	-	-	-	01	(2,2)
Águas bicarbonatadas								03	6,0
Sódica	-	-	01	-	-	-	01	02	(66,5)
Mista	01	-	-	-	-	-	-	01	(33,5)
Águas mistas								03	6,0
Mista	01	-	-	-	01	01	-	03	(100)
Total	26	04	12	06	01	01	01	51	100

As águas denominadas cloretada, representam 88% das amostras analisadas. Nessa classe predomina o tipo sódica, seguida pelas mista e magnesianas, tendo uma concentração maior dessa classe nos municípios de Irauçuba e Tejuçuoca. As águas bicarbonatadas representam 6%, com predominância do tipo sódica seguida da mista. As águas mistas constituem 6%, com representatividade para o tipo mista.

As águas bicarbonatadas representam 60% das amostras analisadas, com predominância do tipo sódica seguida da mista. As águas mistas constituem 20%, com representatividade para o tipo mista, com predominância do tipo sódica. As águas com concentrações de cloreto representam os 20% restantes, com representatividade para o tipo sódica.

Para as águas das fontes foi identificada a seguinte relação iônica: $r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{++}$ e $r\text{Na}^+ > r\text{Mg}^{++} > r\text{Ca}^{++}$, com uma predominância das águas bicarbonatadas do tipo sódica, seguida do tipo mista. A tabela II mostra essa classificação, distribuída por municípios, quantidade de amostras e frequência relativa.

Tabela II - Classificação iônica das águas das fontes

Classe	Municípios		Nº. de Amostras	Frequência Relativa (%)
	Irauçuba	Itapagé		
Águas bicarbonatadas			09	60,0
Sódica	02	06	08	(88,8)
Mista	-	01	01	(11,2)
Águas mistas			03	20,0
Sódica	01	02	03	(100)
Águas cloretadas			03	20,0
Sódica	02	01	03	(100)
Total	05	10	15	100

QUALIDADE DAS ÁGUAS

Consumo humano

Nesse estudo foram consideradas apenas as características físico-químicas determinadas através do diagrama de *Schoeller & Berkaloff*, que indica se uma água é apropriada ao consumo humano.

As amostras dos poços tubulares foram agrupadas em um só diagrama, onde se observa a área de concentração dos parâmetros, para cada período de coleta e o valor de cada mediana. As águas variam de boa a má qualidade, com valores maiores para o ânion Cl^- (3.726 mg/L) e o cátion Na^+ (1.790 mg/L). De acordo com esses padrões, 62% das amostras apresentaram potabilidade má a não potável, 39% como medíocre e apenas 8% têm potabilidade boa a passável.

Na comparação das duas amostragens a diluição das águas não chegou a reverter a potabilidade dos poços.

Quanto às águas das fontes são todas de boa qualidade. Oscilam com valores para o ânion Cl^- de 9,0 a 13,0 mg/L e o cátion Na^+ de 9,5 a 100,0 mg/L.

O teor de ferro (Fe) nas águas dos poços tem valor médio de 0,80 mg/L, oscilando entre 0,01 a 6,5 mg/L em 95 amostras, com 52% estando abaixo do valor máximo permissível pelo Ministério da Saúde (Port. 1.469 de 02), que é de 0,3 mg/L. Altos valores como 6,50 e 3,41 mg/L foram encontrados nas águas dos poços P.02 e P. 190, localizados nos municípios de Tejuçuoca e Itapipoca, respectivamente. Nas fontes o teor de ferro tem média de 0,55 mg/L, variando entre 0,15 e 1,53 mg/L, com 40% dos valores situados abaixo do máximo permissível pelo MS.

Consumo industrial e animal

Os padrões de qualidade da água utilizada para a indústria são particularizados, tendo cada um suas próprias especificações e critérios. Com base no levantamento realizado, 88% das águas apresentam restrições para o uso na indústria, principalmente devido aos altos valores de dureza e STD.

Todas as amostras analisadas são aceitas para consumo animal, já que para esse fim existe um extenso limite de tolerância do STD.

Irrigação

Para essa classificação do tipo de água foi utilizado o modelo do *U.S. Salinity Laboratory Staff*, que consta de um gráfico semilogarítmico, onde na abscissa localiza-se a condutividade elétrica da água a 25 °C e na ordenada o RAS. (figura 8), resultando numa divisão das amostras, em 4 (quatro) grupos:

- a. $\text{C}_2\text{-S}_1$ - são águas de salinidade média e baixos teores de sódio. Podem ser usadas para irrigação comum, sem causar danos ao solo e correspondem a 4% do total.
- b. $\text{C}_3\text{-S}_1$ a $\text{C}_3\text{-S}_3$ - são águas de salinidade alta, não indicadas para irrigação comum e com

teores de sódio variando de baixo a alto, que pode causar danos ao solo, e correspondem a 14% do total.

c. C₄-S₁ a C₄-S₄ - são águas de salinidade muito alta, não adequadas para irrigação comum e com teores de sódio variando de baixo a alto, que pode causar graves danos ao solo. Essas correspondem a 33% do total.

d. C₅-S₂ a C₅-S₄ - são águas de salinidade muito alta, não indicadas para irrigação comum e com teores de sódio variando de médio a muito elevado, que pode causar graves danos ao solo; correspondendo a 49% do total.

No geral existe uma dispersão das amostras pelas diversas classes existentes, caracterizando uma anisotropia das rochas cristalinas.

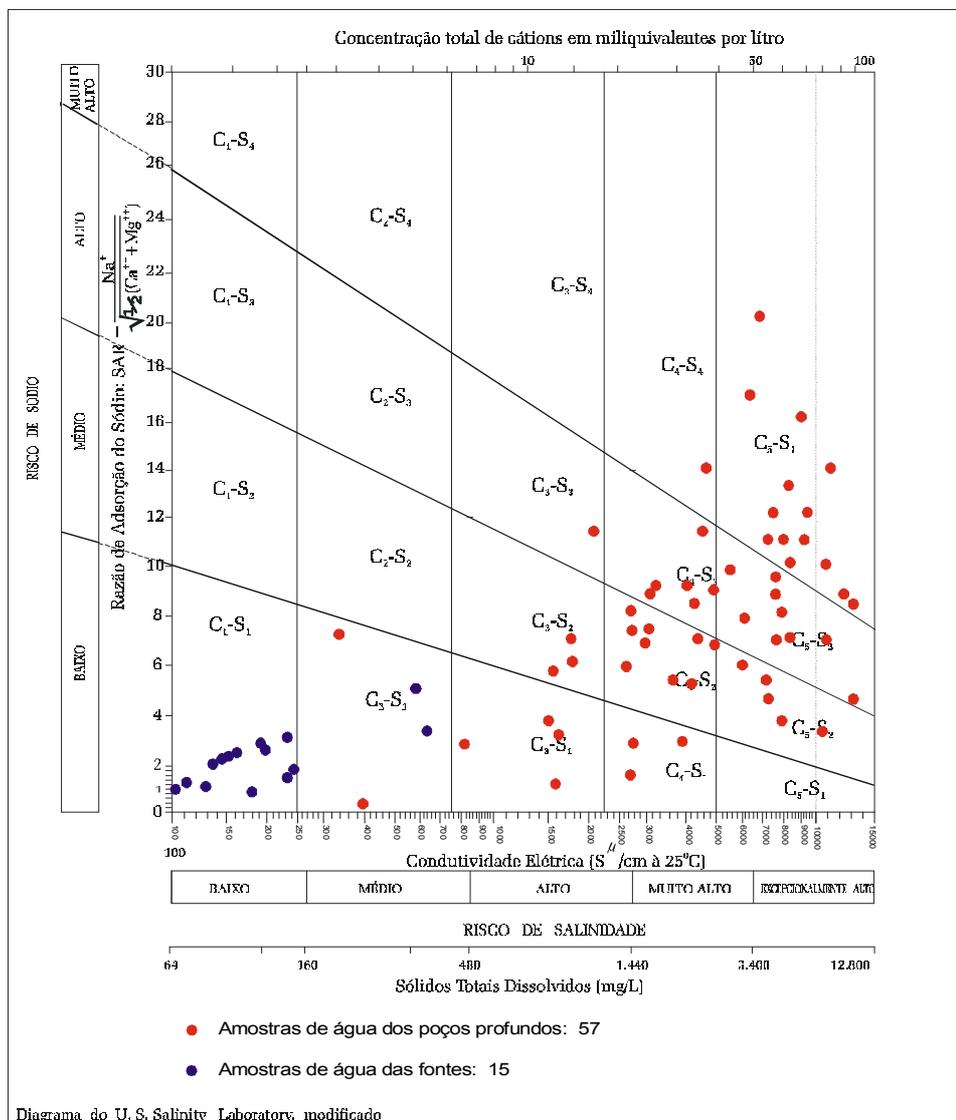


Figura 8 – Classificação das águas dos poços profundos e das fontes para uso na irrigação

Para as águas das fontes foi verificado que 13 (88%) estão concentradas na classe C₁ S₁, identificando águas de baixa salinidade, situando-se na faixa de baixo conteúdo de sódio, podendo ser utilizadas na maioria das culturas e solos. As duas fontes restantes estão dentro da classe C₂ S₁,

identificando uma água de salinidade média e baixo conteúdo de sódio, podendo ser utilizada em culturas com tolerância ao sal e quase todos tipos de solos.

CONCLUSÕES

- A dureza das águas subterrâneas, no geral, é do tipo “muito dura”.
- O valor do STD médio encontrado nos poços tubulares (3.361mg/L) é muito comum no contexto cristalino.
- O valor médio do pH (7,7) identificou águas de caráter pouco básico.
- A condutividade elétrica está representada por 87% dos poços tubulares com valores acima de 1.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25 °C. Os valores mais baixos de condutividade elétrica foram identificados nas águas de poços localizados em rochas granitóides.
- A contribuição do aporte das águas de chuvas às águas subterrâneas pode justificar a diminuição do valor da condutividade elétrica em alguns poços através da diluição da água. O aumento na condutividade elétrica pode ser explicado pelos poços estarem localizados em solos de alta concentração de íons cloretos e/ou em zonas de fraturas são fechadas, aumentando o tempo de fluxo e diminuindo a recarga do aquífero.
- A relação iônica entre ânions e cátions identificou águas cloretadas sódicas. Mesmo com a diluição das águas foi observado que não ocorreram maiores alterações nas relações entre os compostos, permanecendo águas cloretadas do tipo sódica.
- Para o consumo humano as águas variam de boa a má qualidade, com apenas 8% apresentando potabilidade boa a passável. Na comparação das duas amostragens a diluição das águas não chegou a reverter a potabilidade dos poços.
- Todas as amostras analisadas são aceitas para consumo animal.
- Os altos valores de dureza e STD impõem restrições para o uso na indústria.
- Para o uso das águas na irrigação essas apresentaram salinidade oscilando de baixa a muito alta e teor de sódio variando de baixo a alto, mostrando uma dispersão das amostras pelas diversas classes existentes no solo, caracterizando uma anisotropia das rochas cristalinas.
- Todas as águas das fontes estão dentro dos padrões do Ministério da Saúde, quanto aos aspectos físico-químicos e de potabilidade.

BILBIOGRAFIA CONSULTADA

IPLANCE – 1997. *Atlas do Ceará* – Fortaleza. Mapas coloridos. 65p. il.

LIMA, L. C.; SOUZA, M. J. N. de & MORAES, J. O. de – 2000. *Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará*. FUNECE - Fortaleza. 268p. il.

SOUZA FILHO, O. A. de, - 1998. *Geologia e mapa de previsão de ocorrência de água subterrânea – Folha SA.24-Y-D-V – Irauçuba, Ceará*. Dissertação de Mestrado – Departamento de geologia, escola de Minas – UFOP. Minas Gerais. 99 p. il.

VERÍSSIMO, L. S. & FEITOSA, F. A. C – 2001. *Características das águas subterrâneas na região de Irauçuba, norte do Estado do Ceará, Brasil*. IV SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO NORDESTE, ABAS, Anais, p. 191-201