

# Águas subterrâneas no Ceará – poços instalados e salinidade

## Resumo

A exploração de águas subterrâneas no Ceará tem crescido. Entretanto, não é sabido ainda o real potencial de exploração. Até 2003, havia cerca de 23.000 poços perfurados no Ceará. Em torno de 63% estavam no embasamento cristalino, 29% em litologia sedimentar e o restante em aluviões e formações cársticas. Os poços localizados no cristalino cearense possuem vazão específica em torno de 13% do valor observado em poços localizados em bacias sedimentares. Os poços deste tipo litológico são 35% mais profundos que os de embasamento cristalino. A bacia Metropolitana tem maior potencial instalado, seguida da bacia do Salgado. Quanto à vazão específica ( $Q_e$ ), os maiores potenciais de exploração estão instalados no Salgado e no Baixo Jaguaribe. As águas de poços do cristalino possuem maior conteúdo salino que as de litologia sedimentar. Modelos empíricos locais podem ser empregados para estimar o conteúdo salino das águas subterrâneas do Ceará. Os poços são de aproximadamente 1,1 milhão de pessoas servidas por sistema público de abastecimento. A maior parte destes está nas bacias do Salgado e do Acaraú. No cristalino, o grau de conformidade com padrões de potabilidade atinge a 47%, enquanto em bacia sedimentar chega a 90%. Para uso agrônomo, as águas subterrâneas do cristalino são mais restritivas, porém atenção especial deve ser dada à toxicidade do íon cloreto.

**Fernando José Araújo da Silva**  
fjas@unifor.br

**Andréa Limaverde de Araújo**  
a.limaverde@uol.com.br

**Raimundo Oliveira de Souza**  
rsouza@ufc.br

**Palavras-chave:** Hidrogeologia. Salinidade de água. Ceará

## Abstract

*Groundwater exploitation in Ceará, northeast Brazil has grown. However, the actual potential is still unknown. Until year 2003 about 23,000 wells were installed. Around 63% were in the crystalline litology, 29% in the sedimentary, and the remaining in alluvial and karstic formations. Wells located in the crystalline basement showed specific flow ( $Q_e$ ) which represents 13% to those located in the sedimentary basins. Wells from this last litology are 35% deeper than those in the crystalline. The Metropolitan basin has the greatest number of wells installed followed by Salgado's basin. Considering the specific flow, the largest exploitation potential is in the Salgado basin followed by Baixo Jaguaribe. Groundwater from the crystalline possesses a larger saline content than from the sedimentary basin. Local empiric models can be used to predict the saline content in Ceará's groundwater. Wells are the water source which supplies about 1.1 million people. Most of them are in the Salgado's basin and in the Acaraú's. In the crystalline the agreement to potability standards reaches 47% while in sedimentary basin it reaches up to 90%. For irrigation purposes groundwater from crystalline litology shows a higher degree of restriction and special attention should be given to the toxicity of chloride ion.*

**Keywords:** Hydrogeology. Groundwater salinity. Ceará.

## 1 Introdução

As águas subterrâneas ocorrem natural ou artificialmente no subsolo de forma suscetível à extração e utilização pelo homem. O início dessa utilização perde-se no tempo, e o seu crescimento tem acompanhado o desenvolvimento do homem na Terra (COSTA e SANTOS, 2000). Desde os anos cinquenta do século passado, tem-se atribuído aos reservatórios subterrâneos um papel de destaque no equacionamento do problema de água. Praticamente todos os países do mundo, desenvolvidos ou não, utilizam água subterrânea para suprir suas necessidades (REBOUÇAS, 1999). No subsolo brasileiro, estima-se que o volume armazenado deste recurso seja da ordem de 112.000 Km<sup>3</sup> (MMA, 2001). O Quadro 1 mostra aspectos gerais da ocorrência de águas subterrâneas, bem como sua importância.

**Quadro 1:** Ocorrência e importância das águas subterrâneas.

<i>Ocorrência</i>	<i>Importância</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corresponde à fase mais lenta do ciclo hidrológico.</li> <li>• Parcela de chuva que se infiltra no subsolo, migrando vertical e horizontalmente em direção às nascentes, rios, lagos e oceanos.</li> <li>• Preenchem espaços entre grânulos minerais no solo e em fissuras de rochas, constituindo aquíferos.</li> <li>• Os aquíferos atuam no amortecimento de cheias, estão mais protegidos contra poluição e menos sujeitos às perdas por evaporação.</li> <li>• Devido à camada filtrante (matriz solo-rocha) que envolve os aquíferos, a contaminação é mais lenta que em águas superficiais, porém o custo de recuperação é muito elevado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No Brasil, especialmente no Nordeste, as águas subterrâneas são fundamentais no suprimento hídrico de rios e lagos durante os períodos de estio.</li> <li>• Apesar da importância estratégica, as funções dos aquíferos (produção, armazenamento, filtragem, autodepuração e produção energética) não são exploradas apropriadamente.</li> <li>• Os usos múltiplos são crescentes.</li> <li>• No Brasil, estima-se que pelo menos metade do abastecimento de água potável é fornecido por recursos hídricos subterrâneos.</li> <li>• Têm grande significado social. Bem construídos e protegidos, os poços garantem saúde à população e estão associados ao desenvolvimento econômico das comunidades.</li> </ul>

Fonte: MMA (2001).

## 2 Necessidade de conhecer os recursos hídricos subterrâneos

No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (Lei 9.433/97) é importante instituto para a gestão da água. Além de aspectos normativos, este instrumento admite que a mobilização social pode garantir a vigilância necessária para uso e controle racionais dos recursos hídricos. O documento contempla também, ainda que de maneira menos contundente, as águas subterrâneas do país. Quanto a isto, é imperativo observar os seguintes fatos: a) é necessária a gestão integrada das águas subterrâneas dentro da PNRH; b) o controle dos usos e da qualidade das águas subterrâneas é insatisfatório; c) o conhecimento sobre águas subterrâneas é ainda deficiente e exige maior investigação; d) a articulação legal e institucional é ineficiente; e) a legislação existente apresenta falhas e conflitos.

Usos cada vez mais competitivos da água exigem a definição de um perfil de qualidade em concordância com seu fim de aplicação. Os aspectos qualitativos das águas subterrâneas tendem a receber maior atenção em regiões economicamente abastadas ou onde estas constituam a principal, senão a única, fonte de abastecimento. Em localidades menos desenvolvidas é importante que se disponha de uma base de dados, instrumento fundamental à valoração da água, e à tomada de decisões. Inicialmente, é preciso que as informações existentes sejam compiladas, para construção de um cenário-base acerca da qualidade da água subterrânea, além da quantificação do potencial e da efetiva exploração. A carência de estudos específicos, e a falta de políticas regionais são fatores limitantes à aplicação de um modelo crítico e eficaz de gestão da água. Estes são fundamentais para avaliação da ocorrência e da potencialidade de recursos hídricos subterrâneos.

## 3 Sobre a hidrogeologia do Ceará

Os recursos hídricos superficiais são a principal fonte de suprimento de água no Ceará. Entretanto, a exploração de águas subterrâneas vem crescendo significativamente (DA SILVA, ALMEIDA e ARAÚJO, 2001). Pressões de demanda somadas aos períodos de estiagem prolongada impulsionam a exploração de águas subterrâneas. Por outro lado, há dificuldade em se estimar o verdadeiro potencial dos recursos hídricos subterrâneos. O armazenamento no cristalino, litologia dominante no Ceará, é limitado, em razão da alta resistência à infiltração, ocorrendo principalmente quando do preenchimento de regiões abertas, ou fraturas. Para prospecção adequada, é exigido bom reconhecimento estrutural da área, acompanhada de levantamentos geofísicos. Em geral, regiões de cristalino são consideradas inviáveis ou péssimas fontes de água subterrânea. Entretanto, vazões médias apresentadas em alguns estudos (SRH, 1992; CPRM, 2000) sugerem que vários municípios cearenses podem dispor do recurso de maneira significativa.

As regiões onde os recursos hídricos do substrato são notáveis estão representadas pelas áreas sedimentares. Isto ocorre devido à porosidade e permeabilidade destas rochas, que as transformam em excelentes corpos armazenadores.

O Ceará pertence a duas províncias hidrogeológicas: o escudo oriental e a província costeira. Cerca de 70% da área do Ceará é composta de embasamento cristalino (Figura 1), representando 21% do total do cristalino nordestino (500.000 Km<sup>2</sup>), sendo caracterizado por solos de pequena espessura ( $\leq 2$  m). O embasamento cristalino apresenta, em princípio, baixo potencial de exploração, pois a condutividade hidráulica é pequena (1,3

$\times 10^{-1}$  a  $7,5 \times 10^{-2}$  m/s), assim como a porosidade média (0,001 %), a permeabilidade ( $1,2 \times 10^{-8}$  a  $6,9 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>) e a abertura de vazios (0,27 - 0,38 mm) (MANOEL FILHO, 2000).

Há também bacias sedimentares como as de Iguatu, do Apodi, do Araripe e da Ibiapaba. Além dos aquíferos existentes nestas conformações, existem áreas de aluviões, e o sedimento costeiro que é formado por sistemas dunas, paleodunas e formação barreiras.



**Figura 2:** Áreas de sedimento e cristalino no Ceará.  
**Fonte:** IPLANCE (1989).

#### 4 Características dos poços instalados no Ceará

Importantes informações concernentes aos recursos hídricos subterrâneos do Ceará estão contidas em estudo realizado pela CPRM (2000). Foi verificado um destacado esforço para oferecer informações mais precisas, como se observou nos trabalhos de LEITE e MÖBUS (2000a e b). Estimava-se, no final do ano de 2003, que havia cerca de 23.000 poços perfurados no Ceará, estando alguns em funcionamento desde 1903 (MACHADO e DA SILVA, 2004).

As condições de uso de poços do Ceará são apresentadas na Tabela 1. No caso de Fortaleza, capital do Estado, faz uma abordagem separada, por tratar-se do município com maior número de poços, e que concentra 30% da população cearense e 56% do Produto Interno Bruto - PIB (IPLANCE, 2002). Apesar desta particularidade, o fato é que não se sabe o real número de poços instalados no Estado.

Quanto ao tipo de aquífero dos poços, a Tabela 2 apresenta a distribuição no Estado. A tabela sugere potencial ainda não explorado de poços de aquífero sedimentar e de aluviões. Quanto a estes últimos, o

incremento de aproveitamento pode ocorrer através de construção de barragens subterrâneas. A Tabela 3 mostra os tipos de equipamentos empregados na retirada de água e a fonte de energia utilizada para este fim. Nesta tabela, é ressaltado certo grau de mecanização nos poços (bombas eletro-mecânicas e compressores). A expansão da eletrificação no interior do Estado é fator determinante neste caso.

**Tabela 1:** Aspectos gerais das condições de uso de poços existentes no Ceará.

Uso	%	Situação	%	Razão do não funcionamento	%	Tipo de uso	%
Público	53	Em uso	58,1	Improdutivo ou seco	26,4	Doméstico	39,0
		Desativado	16,5	Cimentado	3,3	Industrial	2,4
Privado	47	Abandonado	13,7	Entulhado/soterrado	60,9	Agricultura	2,9
		Não instalado	11,7	Salinizado	9,2	Animal	6,0
				Outras	0,2	Múltiplo	49,7

**Fonte:** adaptado de CPRM (2000).

**Tabela 2:** Tipos de poços no Ceará, quanto ao aquífero e construção.

Tipo de aquífero	%	Tipo de Poço (%)		
		Tubular	Amazonas	Fontes naturais
Sedimentar	29,1	97,4	2,0	0,6
Cristalino	62,5	96,2	3,5	0,3
Cárstico	0,8	87,4	12,6	-
Aluvionar	5,6	11,0	88,2	0,8

**Fonte:** adaptado de CPRM (2000).

**Tabela 3:** Equipamento de retirada de água e fonte de energia utilizada nos poços do Ceará.

Equipamento de retirada de água	%	Fonte de energia	%
Catavento	25,3	Eólica	25,3
Sarrilho	5,3	Solar	0,2
Bomba manual	2,3	Elétrica	67,2
Bomba eletro-mecânica	54,9	Diesel e gasolina	7,3
Compressor	12,2		

**Fonte:** adaptado de CPRM (2000).

Outras características dos poços cearenses estão contidas na Tabela 4, na qual há informações relativas à profundidade dos poços perfurados, capacidade de vazão a ser retirada ( $Q$ ), níveis estático ( $NE$ ) e dinâmico ( $ND$ ) e a produtividade específica ( $Q_e$ ).

Poços de aquífero sedimentar apresentam valores de  $Q$  e  $Q_e$  bem superiores àqueles localizados no cristalino. Porém, os coeficientes de variação ( $CV$ 's) de poços de aquífero sedimentar são bem mais acentuados que os do cristalino. Apesar de maior potencial para exploração, são necessários estudos mais aprofundados em áreas de embasamento sedimentar.

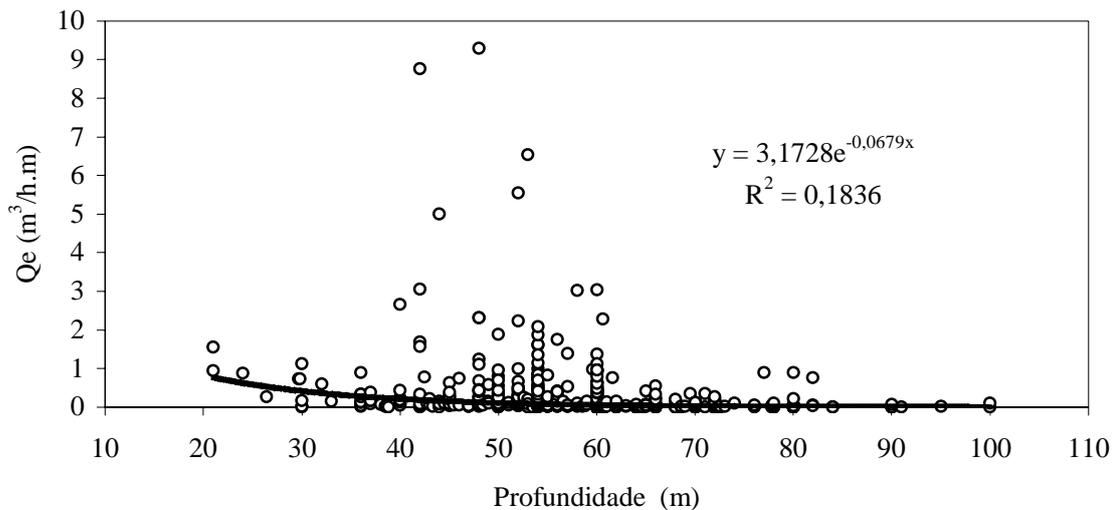
Outro aspecto importante diz respeito à profundidade. Os poços do cristalino são mais rasos. Também, comparativamente, os poços da província costeira são mais rasos e mais produtivos que os poços do cristalino. Isto sugere grande potencial de exploração.

Há diferença quanto à produtividade específica, quando se comparam os poços das litologias cristalina e sedimentar. A análise da produtividade específica de 776 poços do cristalino cearense oferece suporte ao que relata MANOEL FILHO (2000). A permeabilidade das rochas ígneas e metamórficas decresce com a profundidade. Entretanto, a correlação negativa observada mostrou grande variação (Figura 3). No caso de litologia sedimentar, o contrário é notável, de maneira que maiores profundidades implicam em maior produtividade específica, considerando 201 poços (Figura 4).

**Tabela 4:** Características dos poços no Ceará, conforme a litologia dominante.

Parâmetros estatísticos	Fortaleza				
	Profundidade (m)	Q (m <sup>3</sup> /h)	NE (m)	ND (m)	Qe (l/h.m)
Média	47,0	4,1	8,8	26,4	850
Mediana	48,0	3,0	7,4	25,0	201
Min - Max	4,5 - 120,0	<0,1 - 68,0	0,0 - 78,0	1,9 - 93,5	0,00 - 30.000
CV (%)	33,8	97,6	77,3	50,8	258,8
Nº de poços	3.088	2.957	2.972	2.994	2.975
Cristalino					
Média	57,0	2,6	10,4	38,8	259
Mediana	60,0	1,5	8,0	40,0	61
Min - Max	1,5 - 120,0	0,1 - 45,0	1,3 - 55,0	4,0 - 96,0	< 10 - 9.300
CV (%)	27,0	123,1	74,0	35,6	292,3
Nº de poços	6.246	865	865	865	865
Sedimentar					
Média	77,5	19,3	18,8	38,8	2.100
Mediana	76,0	7,0	14,4	36,0	462
Min - Max	5,0 - 248,0	0,1 - 300,0	0,8 - 95,0	4,0 - 108,0	< 10 - 205.710
CV (%)	41,3	50,3	79,8	45,4	438,6
Nº de poços	588	588	588	588	588

Fonte: adaptado de CPRM (2000).



**Figura 3:** Qe em função da profundidade em poços do cristalino cearense.

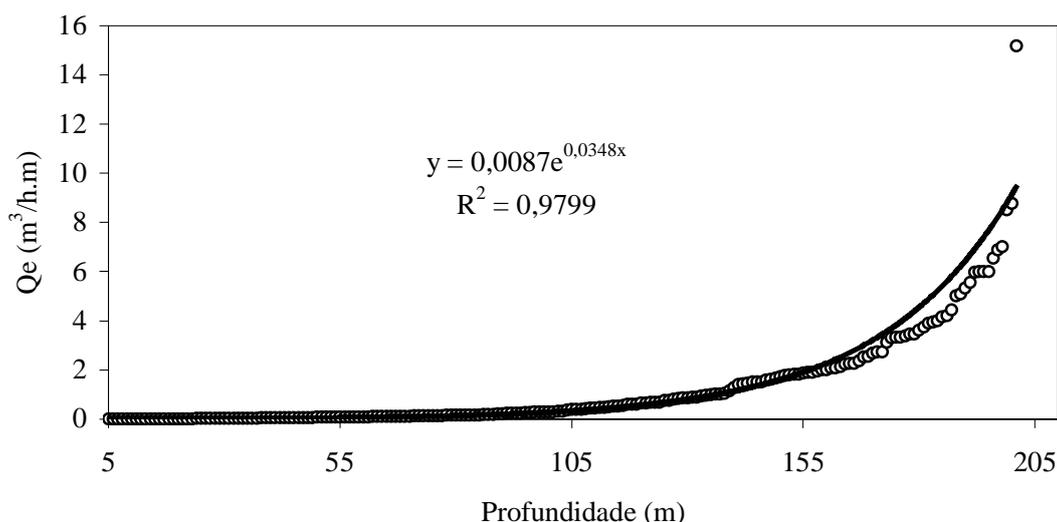


Figura 4:  $Q_e$  em função da profundidade em poços de bacias sedimentares no Ceará.

### 5 Sobre a distribuição de poços

É importante conhecer a distribuição espacial de poços. No Ceará, LEITE e MÖBUS (2000a e b) apresentaram análise do potencial de poços instalados, no período compreendido entre 1991 e 1998. O presente texto segue a proposta destes autores, porém em abordagem mais simples. A Tabela 5 mostra a distribuição percentual de poços em operação nos municípios, a densidade total de poços instalados e a vazão *per capita* dos poços em uso. Os números são relativos ao conjunto de municípios cearenses (184 ao todo).

Tabela 5: Percentuais de poços em operação em relação ao total de municípios do Ceará, densidade e vazão *per capita* nos poços em uso.

Poços em operação (% U)	% de municípios	Densidade de poços $D_p$ (Nº/Km <sup>2</sup> )	%	Vazão “per capita” disponível $Q_d$ (m <sup>3</sup> /hab.ano)	%
Até 20	3,8	Até 0,05	20,6	Até 5	10,0
20 < U ≤ 40	19,7	0,05 < $D_p$ ≤ 0,10	35,9	5 < $Q_d$ ≤ 20	27,6
40 < U ≤ 60	41,0	0,10 < $D_p$ ≤ 0,20	27,2	20 < $Q_d$ ≤ 60	37,0
60 < U ≤ 80	33,3	0,20 < $D_p$ ≤ 0,50	12,0	60 < $Q_d$ ≤ 100	14,9
> 80	2,2	> 0,5	4,3	> 100	10,5

Fonte: ALEXANDRE e DA SILVA (2004).

Os municípios com maior índice de aproveitamento dos poços instalados foram: Aquiraz (88,2%), Eusébio (82,3%) e Horizonte (81,5%). Os municípios com índices mais baixos foram: Itaitira (10,5%), Catarina (11,8%) e Tururu (17,0%).

Dentre os municípios com melhor aproveitamento, destacaram-se os seguintes aspectos: pertenciam à Região Metropolitana de Fortaleza - RMF, estavam localizados no sedimento costeiro e apresentaram PIB *per capita* superior à média dos municípios cearenses, considerando-se dados do IPLANCE (2002). O inverso se aplica aos municípios com baixo aproveitamento. Ou seja: estavam fora de RMF, apresentavam PIB *per capita* inferior à média dos municípios cearenses e estavam em embasamento cristalino.

Na avaliação da densidade de poços, destacaram-se os municípios de Eusébio (5,3 poços/Km<sup>2</sup>), Maracanaú (1,6 poço/Km<sup>2</sup>) e Aratuba (1,2 poço/Km<sup>2</sup>). Os municípios com menor densidade foram: Saboeiro, Santana do Cariri e Granja, todos com 0,01 poço/ Km<sup>2</sup>.

Considerando a população do censo de 2000, os municípios com maior vazão *per capita* disponível ( $Q_d$ ) nos poços em operação foram: Quixeré (251,5 m<sup>3</sup>/hab.ano), Mauriti (398,9 m<sup>3</sup>/hab.ano) e Barbalha (543,2 m<sup>3</sup>/hab.ano). Os menores valores de  $Q_d$  foram observados em Guaiúba (0,3 m<sup>3</sup>/hab.ano), Uruburetama (0,5 m<sup>3</sup>/hab.ano) e Caririáçu (0,7 m<sup>3</sup>/hab.ano). A Tabela 6 apresenta a distribuição da profundidade dos poços, capacidade de vazão a ser retirada ( $Q$ ), e capacidade de produção específica ( $Q_e$ ).

**Tabela 6:** Profundidade, capacidade de exploração e vazão específica distribuída nos municípios do Ceará.

<i>Profundidade - P (m)</i>	<i>%</i>	<i>Q (m<sup>3</sup>/h)</i>	<i>%</i>	<i>Qe (l/h.m)</i>	<i>%</i>
Até 5	2,6	Até 0,5	2,8	Até 30	9,9
5 < P ≤ 20	8,0	0,5 < Q ≤ 1,0	8,3	30 < Qe ≤ 50	14,8
20 < P ≤ 40	8,9	1,0 < Q ≤ 2,0	40,3	50 < Qe ≤ 70	17,6
40 < P ≤ 60	50,5	2,0 < Q ≤ 3,0	26,0	70 < Qe ≤ 100	16,2
60 < P ≤ 80	21,4	3,0 < Q ≤ 4,0	8,8	100 < Qe ≤ 200	26,0
80 < P ≤ 100	5,2	4,0 < Q ≤ 7,0	7,2	200 < Qe ≤ 500	9,2
P > 100	3,4	> 7,0	6,6	> 500	6,3

**Fonte:** ALEXANDRE e DA SILVA (2004).

Os poços mais profundos ficavam na bacia sedimentar do Araripe, região do Cariri cearense. Os municípios com poços mais profundos foram: Mauriti, Porteiras, Abaiara, Barbalha e Missão Velha, todos com médias superiores a 80 m. Os poços mais rasos ( $P < 20$  m) estavam em: Deputado Irapuan Pinheiro, Tauá, Tarrafas, Quiterianópolis e Monsenhor Tabosa. Nestes municípios, destaca-se a predominância de poços tipo Amazonas (> 50% do total de poços instalados).

Os municípios cujos poços apresentaram maior capacidade de produção estão localizados em formações sedimentares, nos municípios de Itaiçaba, Barbalha, Porteiras, Mauriti e Missão Velha, todos com vazões médias maiores que 100 m<sup>3</sup>/h. Guaiúba, Banabuiú e Uruburetama apresentaram as menores vazões (< 0,3 m<sup>3</sup>/h). Estes municípios também apresentaram as menores médias de produção específica (< 0,2 m<sup>3</sup>/h.m). Quanto aos municípios com maiores médias de  $Q_e$ , destacaram-se: Porteiras, Missão Velha, Barbalha e Itaiçaba, com valores entre 1 e 2 m<sup>3</sup>/h.m.

É oportuno observar o potencial de poços instalados e suas características no espaço bacia hidrográfica. Neste contexto, a Tabela 7 apresenta a distribuição de poços instalados nas bacias hidrográficas cearenses. As bacias Metropolitana e do Curu são as com maior índice de uso. No que diz respeito à densidade superficial de poços, a bacia Metropolitana se destaca notadamente de todas as outras. Isto se dá em razão da concentração populacional na área, especialmente Fortaleza. A comparação das profundidades médias dos poços entre as bacias mostra pequena amplitude (cerca de 20 m).

**Tabela 7:** Perfil de poços instalados nas bacias hidrográficas cearenses.

<i>Bacia</i>	<i>Poços em operação (%)</i>	<i>Poços em uso/ 1.000 hab.</i>	<i>Profundidade média (m)</i>	<i>Número de Poços/Km<sup>2</sup></i>
Acaraú	56	1,73	50,3	0,115
Alto Jaguaribe	47	1,28	51,8	0,053
Banabuiú	46	1,51	44,1	0,073
Baixo Jaguaribe	53	1,91	50,9	0,101
Coreaú	52	1,42	48,2	0,114
Curu	54	2,33	53,8	0,140
Litoral	45	1,30	52,2	0,095
Metropolitana	59	2,40	52,2	0,637
Médio Jaguaribe	54	1,77	45,5	0,055
Parnaíba	61	2,00	47,3	0,082
Salgado	53	1,73	68,2	0,160

**Fonte:** MACHADO e DA SILVA (2004).

As características de produção dos poços em uso nas bacias são apresentadas na Tabela 8 (valores médios). Os poços com maior vazão estão nas bacias do Baixo Jaguaribe e do Salgado. A bacia do Salgado é quase que inteiramente de conformação sedimentar, enquanto o Baixo Jaguaribe é predominantemente cristalina. Importa observar que, em razão do maior número de poços, a bacia Metropolitana possui maior vazão superficial instalada.

**Tabela 8:** Características de produção dos poços em uso nas bacias hidrográficas.

<i>Bacia</i>	$Q$ ( $m^3/h$ )	$Q_e$ ( $l/h.m$ )	<i>Vazão superficial disponível</i> ( $m^3/ano.Km^2$ )
Acaraú	1,42	71,8	894
Alto Jaguaribe	1,74	62,6	472
Banabuiú	1,15	48,6	386
Baixo Jaguaribe	4,22	211,2	1.549
Coreaú	2,10	124,6	1.248
Curu	1,50	70,5	1.049
Litoral	1,45	70,0	789
Metropolitana	1,74	85,9	9.760
Médio Jaguaribe	1,16	47,2	351
Parnaíba	2,19	121,1	1.066
Salgado	6,12	412,3	7.006

**Fonte:** MACHADO e DA SILVA (2004).

A distribuição de poços e respectivos tipos litológicos nas bacias hidrográficas do Ceará são mostrados na Tabela 9. Nas bacias Alto Jaguaribe, Parnaíba e Banabuiú, é destacado o aproveitamento de poços aluvionares. No que diz respeito aos poços localizados em litologia sedimentar, a bacia do Salgado conta com maior percentual. Os poços de litologia cristalina se encontram em maior número na bacia Metropolitana.

**Tabela 9:** Distribuição de poços nas bacias hidrográficas cearenses de acordo com o tipo litológico.

<i>Bacia</i>	<b>Característica litológica dos poços (%)</b>			
	Aluvionar	Cárstico	Cristalino	Sedimentar
Acaraú	11,1	-	13,1	10,7
Alto Jaguaribe	28,3	-	9,5	5,8
Banabuiú	20,1	-	11,7	0,1
Baixo Jaguaribe	2,4	93,0	3,8	11,7
Coreaú	0,9	-	3,6	4,5
Curu	4,0	-	9,0	4,2
Litoral	0,5	-	2,9	6,0
Metropolitana	1,7	-	29,1	21,0
Médio Jaguaribe	6,4	7,0	4,5	-
Parnaíba	23,2	-	8,2	8,1
Salgado	1,4	-	4,5	27,9

A Tabela 10 mostra para cada município cearense os valores médios de vazão, profundidade, percentual de poços em operação, produtividade específica e condutividade elétrica das águas dos poços. Este último parâmetro é concernente à salinidade da água e é mais bem tratado no próximo tópico.

**Tabela 10:** Valores médios das principais características de poços instalados em municípios do Ceará.

<b>Município</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Poços em operação (%)</b>	<b>Profundidade (m)</b>	<b>Qe (l/h.m)</b>	<b>Condutividade elétrica (mS/cm)</b>
Abaiara	5,03	74	92,3	279,2	0,45
Acarape	2,05	61	53,9	45,6	2,74
Acaraú	4,88	73	52,3	244,1	0,50
Acopiara	1,26	32	55,5	31,7	1,62
Aiuaba	0,74	49	59,6	41,4	1,84
Alcântaras	1,08	62	61,5	24,6	0,67
Altaneira	0,57	40	60,0	18,0	1,18
Alto Santo	1,41	50	51,2	54,3	2,02
Amontada	1,95	63	38,4	69,2	1,09
Antonina do Norte	1,29	50	68,2	34,2	1,00
Apuiarés	2,60	72	49,3	175,2	2,85
Aquiraz	2,07	88	50,9	94,8	0,41
Aracati	5,53	66	39,7	695,9	1,38
Aracoiaba	2,17	62	53,4	77,0	4,71
Ararendá	2,55	76	61,8	185,6	1,83
Araripe	1,53	29	46,8	44,7	1,10
Aratuba	2,87	64	59,6	124,5	0,64
Arneiroz	1,94	60	61,2	68,9	1,44
Assaré	1,11	33	63,6	49,0	1,63
Aurora	2,89	54	30,6	62,3	0,91
Baixio	2,83	35	57,3	73,5	1,17
Banabuiú	0,28	41	37,2	7,4	2,59
Barbalha	22,75	74	87,8	1.903,6	0,22
Barreira	2,15	79	55,4	94,7	3,53
Barro	5,17	61	71,1	215,1	0,48
Barroquinha	3,22	34	23,3	169,9	0,63

Tabela 10: Continuação...

Município	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Poços em operação (%)	Profundidade (m)	Qe (l/h.m)	Condutividade elétrica (mS/cm)
Baturité	2,38	55	61,3	121,6	1,88
Beberibe	1,58	66	47,4	69,7	1,96
Bela Cruz	1,92	35	52,5	95,2	0,65
Boa Viagem	1,34	50	30,9	62,3	2,30
Brejo Santo	8,67	65	76,6	390,8	0,49
Camocim	3,49	54	38,0	185,2	1,41
Campos Sales	0,60	36	63,0	15,6	1,90
Canindé	1,78	53	48,7	72,6	3,06
Capistrano	1,74	50	56,5	59,1	3,11
Caridade	1,36	60	49,1	45,2	2,68
Cariré	1,64	49	56,7	94,7	1,69
Caririaçu	0,59	19	46,4	19,3	0,65
Cariús	1,78	38	48,5	101,4	0,86
Carnaubal	4,60	60	76,2	248,9	0,50
Cascavel	1,92	54	44,2	69,4	0,73
Catarina	1,36	12	58,7	64,0	2,96
Catunda	0,48	42	56,5	69,0	1,47
Caucaia	1,76	70	44,8	97,4	1,21
Cedro	1,17	52	49,1	35,0	1,24
Chaval	2,10	67	52,8	105,7	2,22
Choró	1,45	15	55,4	68,3	3,14
Chorozinho	2,00	79	56,3	89,1	2,87
Coreaú	2,96	59	57,5	100,4	1,39
Crateús	1,78	61	33,2	155,2	1,36
Crato	7,99	40	74,6	710,5	0,21
Croatá	3,44	73	58,0	347,2	0,46
Cruz	4,31	72	56,3	623,2	0,43
Dep. Irapuan Pinheiro	1,08	55	19,2	40,5	1,15
Ererê	1,98	60	42,1	66,8	1,60
Eusébio	1,53	82	51,4	60,7	0,37
Farias Brito	1,70	42	45,0	81,1	0,90
Forquilha	2,43	51	62,2	106,2	1,99
Fortaleza	2,75	96	43,5	142,7	0,71

**Tabela 10:** Continuação...

<b>Município</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Poços em operação (%)</b>	<b>Profundidade (m)</b>	<b>Qe (l/h.m)</b>	<b>Condutividade elétrica (mS/cm)</b>
Fortim	1,36	64	35,6	144,5	2,06
Freicheirinha	2,70	83	52,1	131,1	1,25
General Sampaio	2,67	52	60,5	138,3	2,76
Graça	2,30	47	61,6	101,2	0,66
Granja	1,24	53	39,7	59,2	0,78
Granjeiro	10,00	29	49,1	396,0	0,53
Groaíras	2,61	80	53,2	133,7	1,58
Guaiúba	0,20	18	57,8	14,0	2,63
Guaraciaba do Norte	6,70	59	53,1	368,7	0,28
Guaramiranga	3,36	64	49,0	114,8	0,45
Hidrolândia	2,23	71	60,0	69,9	1,28
Horizonte	2,30	82	56,6	143,7	0,91
Ibaretama	2,33	64	53,3	77,4	6,74
Ibiapina	2,15	32	46,3	108,3	0,13
Ibicutinga	0,82	39	59,9	20,2	5,75
Icapuí	5,31	50	63,2	331,0	1,10
Iço	1,31	43	49,9	41,7	1,34
Iguatu	2,69	65	61,2	142,3	0,70
Independência	1,78	48	43,5	75,6	1,71
Ipaporanga	2,69	76	51,5	175,5	1,33
Ipaumirim	1,77	48	58,5	70,7	1,09
Ipu	2,42	52	54,7	275,1	0,58
Ipueiras	2,11	67	38,3	151,5	0,94
Iracema	0,77	73	26,6	26,9	1,55
Irauçuba	1,68	51	70,5	81,6	4,83
Itaiçaba	33,00	40	44,9	1.341,1	3,95
Itaitinga	2,66	58	54,8	197,6	1,77
Itapagé	1,14	37	57,3	28,4	2,46
Itapipoca	1,03	34	53,5	29,4	1,94
Itapiúna	3,24	33	49,6	170,8	4,49
Itarema	6,98	56	52,9	312,0	0,65
Itatira	1,32	17	53,0	37,5	2,70
Jaguaretama	0,83	38	46,5	23,7	3,22

Tabela 10: Continuação...

Município	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Poços em operação (%)	Profundidade (m)	Qe (l/h.m)	Condutividade elétrica (mS/cm)
Jaguaribara	1,33	65	51,4	75,9	1,50
Jaguaribe	0,83	28	59,2	21,3	1,48
Jaguaruana	3,01	45	60,8	188,8	2,08
Jardim	2,50	25	65,4	104,3	0,72
Jati	6,69	50	64,2	368,2	1,06
Jijoca de Jericoacara	5,98	42	37,0	327,6	0,00
Juazeiro do Norte	8,48	70	80,0	642,8	0,28
Jucás	7,76	57	40,7	429,5	1,15
Lavras da Mangabeira	1,63	38	58,3	77,2	1,10
Limoeiro do Norte	5,80	51	65,2	374,4	1,78
Madalena	1,34	54	57,4	72,7	3,57
Maracanaú	0,80	38	58,9	31,1	1,29
Maranguape	1,22	29	61,6	37,5	2,67
Marco	2,05	46	56,9	103,1	1,25
Martinópolis	2,27	39	44,8	115,2	1,94
Massapê	1,74	39	55,9	70,1	1,67
Mauriti	13,44	73	113,2	617,2	0,26
Meruoca	1,25	48	54,8	47,9	2,34
Milagres	8,05	72	92,4	446,0	0,29
Milhã	1,71	48	50,3	101,5	3,28
Miraíma	1,35	19	57,5	62,7	0,47
Missão Velha	12,83	34	84,7	1.125,7	0,36
Mombaça	1,54	56	37,1	54,8	1,30
Monsenhor Tabosa	1,04	70	13,6	24,1	1,80
Morada Nova	1,46	47	54,0	62,0	5,17
Moraújo	1,85	59	53,4	212,2	1,66
Morrinhos	1,84	50	32,4	76,3	3,24
Mucambo	3,07	71	26,4	161,4	0,89
Mulungu	3,16	65	57,3	166,1	0,90
Nova Olinda	0,99	50	47,3	19,9	0,88
Nova Russas	1,80	54	53,2	88,5	1,38
Novo Oriente	1,66	57	28,7	50,2	1,37
Ocara	2,26	69	55,4	121,7	5,83

**Tabela 10:** Continuação...

<b>Município</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Poços em operação (%)</b>	<b>Profundidade (m)</b>	<b>Qe (l/h.m)</b>	<b>Condutividade elétrica (mS/cm)</b>
Orós	3,41	76	55,7	193,2	1,23
Pacajus	2,72	77	54,6	112,4	0,97
Pacatuba	2,10	42	62,1	52,0	2,21
Pacoti	2,29	74	43,4	80,4	0,54
Pacujá	1,27	75	60,4	42,7	1,24
Palhano	1,32	45	58,7	61,1	7,61
Palmácia	1,05	27	54,9	45,4	1,89
Paracuru	3,81	63	49,8	377,1	0,51
Paraipaba	1,32	59	56,8	67,9	0,54
Parambu	1,69	59	25,2	60,4	1,28
Paramoti	1,23	65	49,8	72,5	2,53
Pedra Branca	1,07	51	34,5	50,1	2,13
Penaforte	3,76	79	77,3	203,0	0,70
Pentecoste	3,06	52	58,0	199,3	4,12
Pereiro	0,98	48	65,3	22,3	2,38
Pindoretama	1,65	61	59,3	80,0	0,24
Piquet Carneiro	1,97	44	33,5	71,3	1,99
Pires Ferreira	2,88	54	58,8	165,9	1,32
Poranga	3,80	66	52,5	186,5	0,26
Porteiras	15,13	24	92,5	1.088,3	0,51
Potengi	3,74	30	53,3	199,5	1,00
Potiretama	2,58	59	50,3	123,5	2,57
Quiterianópolis	1,72	69	15,8	40,9	1,25
Quixadá	0,96	51	40,8	37,4	3,50
Quixelô	2,58	67	55,0	115,8	0,64
Quixeramobim	1,51	43	36,5	61,3	2,99
Quixeré	9,97	64	41,8	555,7	1,51
Redenção	1,34	63	39,7	49,9	1,16
Reriutaba	2,61	53	64,9	155,5	1,28
Russas	2,60	51	46,2	116,7	4,79
Saboeiro	0,95	27	63,7	40,2	0,85
Salitre	1,07	52	63,3	38,2	1,15
Santa Quitéria	1,69	44	48,9	57,3	1,69

**Tabela 10:** Continuação...

Município	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Poços em operação (%)	Profundidade (m)	Qe (l/h.m)	Condutividade elétrica (mS/cm)
Santana do Acaraú	1,68	37	50,3	54,0	2,92
Santana do Cariri	2,13	64	58,1	107,5	0,98
São Benedito	1,56	73	59,4	135,9	0,27
S. Gonçalo do Amarante	1,86	67	36,7	67,2	1,94
São João do Jaguaribe	2,60	59	23,3	99,9	3,67
São Luís do Curu	2,41	26	59,2	123,7	2,35
Senador Pompeu	3,09	45	48,9	126,0	1,68
Senador Sá	2,23	32	42,4	112,5	1,76
Sobral	2,04	58	54,3	85,1	1,87
Solonópole	1,05	31	49,7	35,6	2,26
Tabuleiro do Norte	2,57	74	66,1	169,5	1,22
Tamboril	2,18	66	24,8	58,0	1,25
Tarrafas	0,45	50	18,6	11,3	0,61
Tauá	2,04	67	19,2	79,1	1,54
Tejuçuoca	1,59	64	58,1	52,0	4,90
Tianguá	1,96	46	58,3	58,3	0,42
Trairi	1,24	56	46,7	47,3	1,23
Tururu	0,66	11	54,6	23,3	3,81
Ubajara	4,05	51	48,9	449,5	0,33
Umari	2,50	60	46,2	123,1	1,47
Umirim	1,49	45	41,9	35,8	3,20
Uruburetama	0,27	25	47,8	11,9	1,05
Uruoca	3,58	54	42,9	156,0	1,85
Varjota	1,89	57	54,3	93,7	0,66
Várzea Alegre	0,88	38	55,4	47,2	0,81
Viçosa do Ceará	2,81	70	48,2	119,5	0,38

Fonte: adaptado de CPRM (2000).

## 6 Qualidade das águas subterrâneas no Ceará

A qualidade das águas subterrâneas é investigada quanto às impurezas dissolvidas. O contato da água precipitada com compostos e materiais diversos existentes na atmosfera e na crosta terrestre podem ser solubilizados, compondo o conteúdo dissolvido nas águas de substrato. O processo pode ser descrito como uma separação iônica.

O estudo da matriz iônica da água é essencial ao planejamento e à sustentabilidade das diversas atividades de consumo hídrico. Apesar de haver diferentes referências sobre a classificação da água quanto à salinidade, e que estão associadas ao uso, opta-se aqui por apresentar uma tabela de gradação da salinidade quanto aos parâmetros condutividade elétrica, dureza total, sódio e cloreto (Tabela 11).

**Tabela 11:** Graus de salinidade da água.

Parâmetro	Tipo de água quanto à salinidade				
	1	2	3	4	5
Condutividade elétrica (mS/cm)	Baixa até 0,30	Média 0,31 – 0,75	Crítica 0,76 – 2,25	Alta 2,26 – 4,50	Muito alta > 4,50
Dureza total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	Água Branda até 50	Baixa 51 – 100	Média 101 – 150	Alta 151 – 300	Muito alta > 300
Sódio (mg Na <sup>+</sup> /L)	Baixo até 35	Médio 36 – 70	Crítico 71 - 150	Alto 151- 230	Muito alto > 230
Cloreto (mg Cl <sup>-</sup> /L)	Baixo até 50	Médio 51 – 100	Crítico 101 - 200	Alto 201 - 350	Muito alto > 350

Fonte: DA SILVA, ALMEIDA e FERNANDES. (2002).

### Salinidade de águas subterrâneas no cristalino cearense

As águas de litologia cristalina tendem a apresentar conteúdo iônico maior. Na Tabela 12, são apresentados os percentuais de distribuição de salinidade referentes a amostras de água de 254 poços localizados em 53 municípios cearenses, nas diferentes bacias hidrográficas do Estado. Houve predominância de águas do tipo 4 e 5, considerando a Tabela 11. Na Tabela 13, são apresentadas características das águas subterrâneas localizadas em cristalino cearense.

**Tabela 12:** Predominância de salinidade nas águas subterrâneas do cristalino cearense.

Parâmetro	Predominância do grau de salinidade (%)				
	1	2	3	4	5
Condutividade elétrica	2,8	8,3	28,1	22,9	37,9
Dureza total	2,4	2,4	2,0	16,2	77,0
Sódio	4,0	7,1	24,5	13,0	51,4
Cloreto	5,9	5,5	11,1	12,2	65,3

Fonte: DA SILVA, ALMEIDA e FERNANDES. (2002).

**Tabela 13:** Caracterização de águas subterrâneas do cristalino cearense.

Parâmetro	Média	Mediana	Varição	Desvio padrão
Temperatura (°C)	32,5	32,6	30,1 - 34,3	1,5
pH (unidades)	7,80	7,85	6,15 - 8,78	0,43
Bicarbonato (mg HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	297,2	294,5	13,4 - 1.324,4	174,6
Carbonato (mg CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /L)	2,8	1,6	0,0 - 24,7	3,6
Condutividade elétrica (mS/cm)	5,27	3,18	0,11 - 32,82	0,56
Sódio (mg Na <sup>+</sup> /L)	410,1	246,0	14,1 - 2.764,0	451,2
Potássio (mg K <sup>+</sup> /L)	18,8	13,2	1,9 - 136,0	19,6
Dureza total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	1.179	788	17 - 8.340	1.222
Cálcio (mg Ca <sup>2+</sup> /L)	186,7	121,0	1,6 - 1.472,0	193,7
Magnésio (mg Mg <sup>2+</sup> /L)	170,8	97,4	1,4 - 1.118,4	199,3
Sulfato (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L)	69,9	26,8	0,2 - 1.975,0	176,3
Cloreto (mg Cl <sup>-</sup> /L)	1.241,7	667,0	13,0 - 8.015,0	1.476,5
Nitrato (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	14,5	6,79	0,1 - 126,0	19,7

Fonte: DA SILVA, ALMEIDA e FERNANDES. (2002).

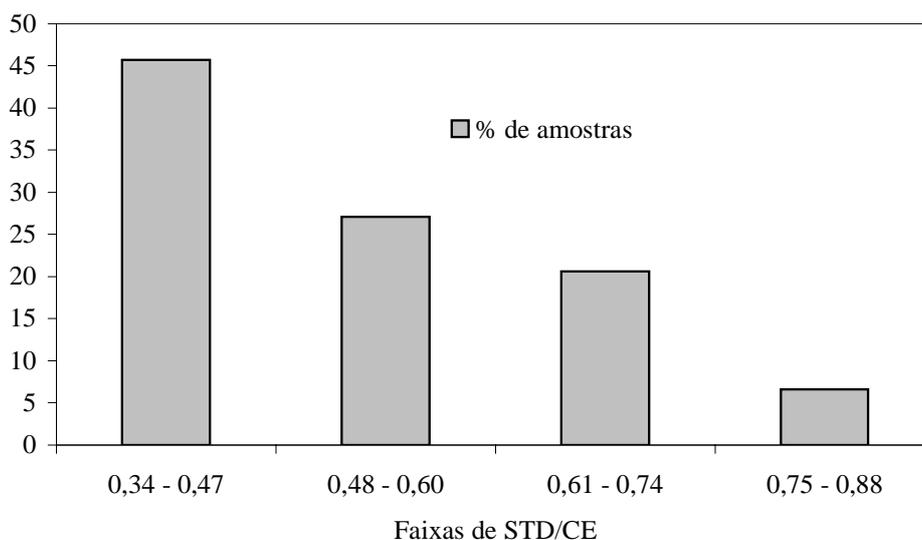
A Tabela 14 apresenta as principais equações representativas de correlações entre parâmetros de salinidade em águas subterrâneas localizadas em litologia cristalina do Ceará. As equações são recomendadas para águas com condutividade elétrica entre 0,75 e 12,0 mS/cm.

**Tabela 14:** Equações representativas de correlações entre parâmetros de salinidade observados nas águas de poços localizados em litologia cristalina no Ceará.

Equação	Valor de r	Unidades dimensionais das variáveis	
		Variável independente	Variável dependente
Dureza = 241,24 CE <sup>0,9459</sup>	0,9592	mS/cm	mg CaCO <sub>3</sub> /L
Na = 88,876 CE <sup>0,8857</sup>	0,9068	mS/cm	mg Na <sup>+</sup> /L
Cl = 254,13 CE - 113,68	0,9845	mS/cm	mg Cl <sup>-</sup> /L
Ca = 40,447 CE <sup>0,8824</sup>	0,8584	mS/cm	mg Ca <sup>2+</sup> /L
Mg = 33,137 CE - 4,62	0,9285	mS/cm	mg Mg <sup>2+</sup> /L
Ca = 0,225 DRZ <sup>0,9445</sup>	0,9046	mg CaCO <sub>3</sub> /L	mg Ca <sup>2+</sup> /L
Mg = 0,158 DRZ - 14,21	0,9611	mg CaCO <sub>3</sub> /L	mg Mg <sup>2+</sup> /L
Cl = 1,114 DRZ - 59,98	0,9208	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Mg Cl <sup>-</sup> /L
Na = 0,361 Cl - 24,70	0,9045	mg Cl <sup>-</sup> /L	mg Na <sup>+</sup> /L
STD = 1,655 CE <sup>0,8532</sup>	0,9834	μS/cm	mg/L
Na = 0,0937 STD <sup>1,0664</sup>	0,9408	mg/L	mg Na <sup>+</sup> /L
Dureza = 0,255 STD <sup>1,0741</sup>	0,9406	mg/L	mg CaCO <sub>3</sub> /L
Cl = 0,642 STD - 305,47	0,9840	mg/L	Mg Cl <sup>-</sup> /L

Fonte: adaptado de CPRM (2000).

A razão entre os sólidos totais dissolvidos (STD em mg/L) e a condutividade elétrica (μS/cm), chamada *K*, varia entre 0,34 e 0,88. Para as águas do cristalino cearense, o valor médio de *K* foi de 0,522, com mediana de 0,492 e média geométrica de 0,507. Uma prática corrente é admitir o valor de *K* (entre 0,5 e 0,7), predefinido em equipamentos para medição de CE e STD (i.e. condutivímetros). Uma vez que o cálculo aqui efetivado não considerou a concentração de sílica, conforme recomenda HOUNSLOW (1995), pode-se admitir que o valor de *K* médio acima referido é aceitável para fins práticos. A Figura 5 mostra a distribuição da razão STD/CE entre as amostras de águas de poços localizados em litologia cristalina no Ceará.



**Figura 5:** Percentuais de distribuição das faixas de razão entre STD e CE nas águas de poços do cristalino cearense.

### Salinidade de águas subterrâneas em bacias sedimentares do Ceará

No Ceará, as águas de litologia sedimentar possuem conteúdo salino menor que as de origem cristalina. Há predominância de águas tipo 1 e 2, considerando para os parâmetros contidos na Tabela 11. A distribuição de percentuais de salinidade é mostrada na Tabela 15, com amostras de água de 97 poços localizados em 16 municípios cearenses, nas diferentes bacias hidrográficas do Estado. A Tabela 16 mostra os resultados de estatística descritiva dos componentes de águas subterrâneas localizadas em litologia sedimentar cearense.

**Tabela 15:** Predominância de salinidade nas águas subterrâneas do sedimento cearense.

Parâmetro	Predominância do grau de salinidade (%)				
	1	2	3	4	5
Condutividade elétrica	33,0	37,9	20,2	5,8	3,1
Dureza total	23,9	30,5	15,3	16,7	13,6
Sódio	45,9	26,8	15,8	4,4	7,1
Cloreto	21,4	30,1	24,8	11,1	12,6

Fonte: DA SILVA e ALMEIDA (2004).

**Tabela 16:** Caracterização de águas subterrâneas do sedimento cearense.

Parâmetro	Média	Mediana	Variação	Desvio padrão
Temperatura (°C)	31,5	31,2	25,0 – 39,9	2,34
pH (unidades)	7,53	7,63	6,06 - 8,55	0,55
Bicarbonatos (mg HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	137,6	95,9	5,7 – 461,4	123,5
Carbonatos (mg CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /L)	1,4	0,4	0,0 - 12,3	2,7
Condutividade elétrica (mS/cm)	3,44	1,20	0,02 – 27,14	6,18
Sódio (mg Na <sup>+</sup> /L)	361,0	128,0	1,3 - 3.785,0	731,0
Potássio (mg K <sup>+</sup> /L)	26,7	12,3	0,7 – 222,0	40,1
Dureza total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	694	169	3 – 6.661	1.280,0
Cálcio (mg Ca <sup>2+</sup> /L)	100,8	39,6	1,8 – 976,0	182,5
Magnésio (mg Mg <sup>2+</sup> /L)	107,4	25,4	0,9 - 1.012,8	203,4
Sulfato (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L)	48,9	17,8	0,8 – 287,5	73,7
Cloreto (mg Cl <sup>-</sup> /L)	836,0	259,0	3,5 - 7.077,0	1.630,4
Nitrato (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	8,2	3,8	0,1 - 37,3	9,4

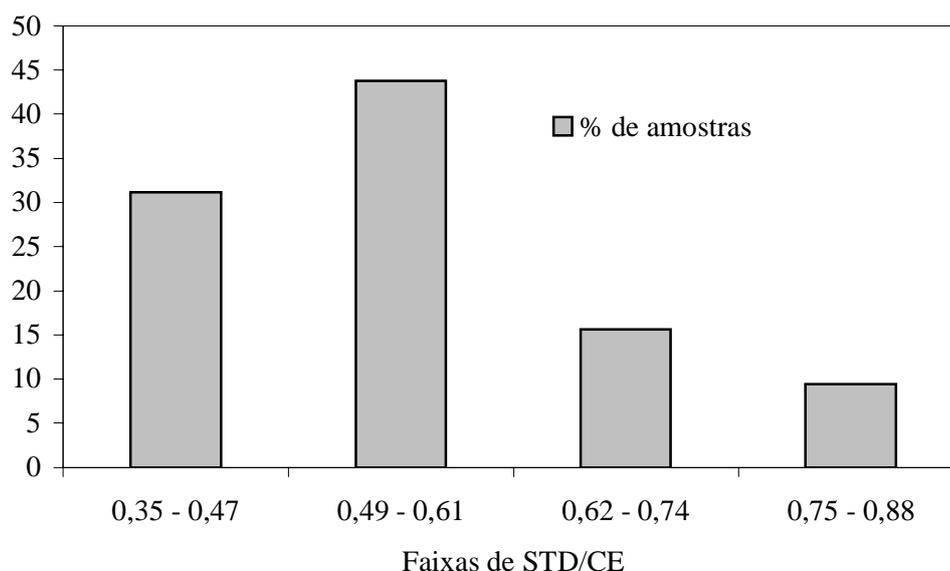
Fonte: DA SILVA e ALMEIDA (2004).

A Tabela 17 mostra as principais equações representativas de correlações positivas entre parâmetros de salinidade observados nas águas subterrâneas localizadas em litologia sedimentar no Ceará. Os modelos são praticáveis para valores de condutividade elétrica entre 0,5 e 7,0 mS/cm.

**Tabela 17:** Equações representativas de correlações entre parâmetros de salinidade observados nas águas subterrâneas localizadas em litologia sedimentar no Ceará.

Equação	Valor de r	Unidades dimensionais das variáveis	
		Variável independente	Variável dependente
Dureza = 212,96 CE	0,9117	mS/cm	mg CaCO <sub>3</sub> /L
Na = 94,021 CE + 25,14	0,9361	mS/cm	mg Na <sup>+</sup> /L
Cl = 230,78 CE	0,9659	mS/cm	mg Cl <sup>-</sup> /L
Ca = 33,097 CE - 2,80	0,8261	mS/cm	mg Ca <sup>2+</sup> /L
Mg = 32,145 CE	0,8968	mS/cm	mg Mg <sup>2+</sup> /L
Ca = 0,152 DRZ + 1,54	0,9046	mg CaCO <sub>3</sub> /L	mg Ca <sup>2+</sup> /L
Mg = 0,15 DRZ	0,9707	mg CaCO <sub>3</sub> /L	mg Mg <sup>2+</sup> /L
Cl = 0,978 DRZ	0,8745	mg CaCO <sub>3</sub> /L	mg Cl <sup>-</sup> /L
Na = 2,17 Cl	0,9324	mg Cl <sup>-</sup> /L	mg Na <sup>+</sup> /L
STD = 0,425 CE + 104,8	0,9834	μS/cm	mg/L
Na = 0,198 STD	0,8688	mg/L	mg Na <sup>+</sup> /L
Dureza = 0,033 STD <sup>1,3391</sup>	0,8941	mg/L	mg CaCO <sub>3</sub> /L
Cl = 0,502 STD	0,9659	mg/L	mg Cl <sup>-</sup> /L

A razão média entre os sólidos totais dissolvidos e a condutividade elétrica foi de 0,554. A mediana e a média geométrica apresentaram praticamente os mesmos resultados (0,535 e 0,541, respectivamente). O valor de K variou entre 0,35 e 0,88 (Figura 6).



**Figura 6:** Percentuais de distribuição das faixas de razão entre STD e CE nas águas de poços em bacias sedimentares do Ceará.

### Salinidade de águas subterrâneas presentes em outras litologias

Os depósitos aluvionares são representados por sedimentos areno-argilosos recentes, que ocorrem margeando as calhas dos principais rios e riachos que drenam uma bacia de drenagem, e constituem, em geral, boa alternativa como manancial. Sua importância é maior em regiões semi-áridas, com predomínio de rochas cristalinas (MANOEL FILHO, 2000). Normalmente, a boa permeabilidade dos terrenos arenosos compensa pequenas espessuras que porventura ocorram. Tipicamente são encontrados solos podzólicos, cambissolos, aluviais e vertissolos, recobertos pela vegetação de caatinga arbustiva densa, com trechos mais arbóreos e espinhosos. Os estudos acerca de poços aluvionares exigem ainda um maior aprofundamento e estão associados à investigação da qualidade junto aos cursos d'água (QUESADO Jr., CORDEIRO e TEIXEIRA, 2004).

As formações cársticas são consideradas de potencial moderado para exploração (MACDONALD, DAVIES e DOCHARTAIGH, 2002). Os aquíferos cársticos estão em grande parte em conformações cristalinas (FEITOSA, 2000). Portanto, os poços localizados neste tipo litológico tendem a apresentar elevado conteúdo de sais dissolvidos. As águas destes poços apresentam teores elevados de íons de cálcio e magnésio (HOUNSLOW, 1995). Estudos sobre as formações aluvionares e cársticas são menos frequentes que os relativos às outras conformações. Mesmo assim, a condutividade elétrica destes litotipos em território cearense pode ser observada na Tabela 18.

**Tabela 18:** Condutividade elétrica em poços aluvionares e cársticos do Ceará.

Parâmetro estatístico	Litotipo	
	Aluvionar	Cárstico
Média	1,35 mS/cm	1,50 mS/cm
Mediana	1,00 mS/cm	1,51 mS/cm
CV (%)	87	23
Número de poços	778	111

Fonte: adaptado de CPRM (2000).

### Potabilidade das águas de substrato no Ceará

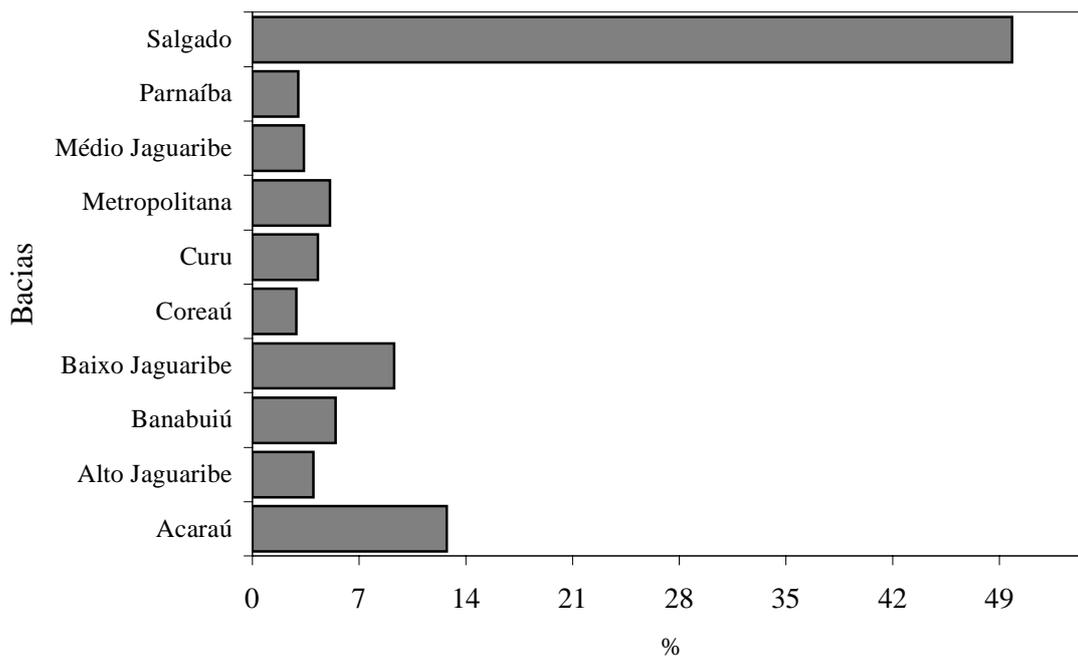
Os padrões de potabilidade da água para consumo humano são estabelecidos pela Portaria 518/04 do Ministério da Saúde. Há um grande número de componentes físicos, químicos (orgânicos e inorgânicos) e microbianos. Para efeito de controle básico, os parâmetros de qualidade de água para consumo humano são: odor, sabor, cor aparente, turbidez, presença de organismos indicadores de patógenos (bactérias do grupo coliforme) e componentes da matriz salina.

Conforme já mencionado, o processo de armazenamento da água no subsolo permite a filtração da mesma, de maneira que, em princípio, as águas de substrato estão bem protegidas da poluição natural. Portanto, a adequação da qualidade das águas ao consumo humano está praticamente ligada à composição salina. É claro que é exigido um tratamento mínimo, com simples desinfecção ou filtração direta seguida de desinfecção.

Uma investigação documental junto à maior concessionária de serviços de água e esgoto do Ceará, a Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), mostrou que, em junho de 2004, cerca de 41% dos mananciais empregados nos sistemas públicos de abastecimento eram poços, que atendiam 103 localidades urbanas. A vazão total explorada era de 8.915 m<sup>3</sup>/hora, com perdas médias de 40% na distribuição e demanda *per capita* de 120 l/hab.dia Estimou-se que os sistemas atenderam quase 1,1 milhão de habitantes. Isto define a importância das águas de substrato no Ceará.

A Figura 7 apresenta, para as bacias hidrográficas do Ceará, o percentual de sistemas de abastecimento que utilizam poços como manancial. Nota-se aproveitamento mais expressivo das águas de substrato na bacia do Salgado, que é de litologia sedimentar.

A distribuição dos sistemas existentes tem maior relação com o binômio disponibilidade-demanda. Frente a isto, a qualidade pode ser um fator secundário. Isto é constatado na Tabela 19, que mostra a comparação do percentual de amostras que atenderam aos padrões determinados pela norma do Ministério da Saúde, considerando as litologias dominantes.



**Figura 7:** Distribuição, nas bacias hidrográficas cearenses, dos sistemas públicos de abastecimento de água que têm poços como manancial.

**Tabela 19:** Poços do cristalino e de bacias sedimentares do Ceará em que as amostras de água atenderam às exigências dos padrões de potabilidade em relação aos principais parâmetros de salinidade, conforme a Portaria 518/04.

Parâmetro	Padrão exigido	% que atendeu ao padrão	
		Cristalino	Sedimentar
Dureza total (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	≤ 500	37	83
Sódio (mg Na <sup>+</sup> /L)	≤ 200	44	91
Cloreto (mg Cl <sup>-</sup> /L)	≤ 250	28	82
Sulfato (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /L)	≤ 250	96	97
Nitrato (mg N/L)	≤ 10	64	99
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	≤ 1.000	36	89

No cristalino, as maiores limitações recaem sobre cloreto, sólidos totais dissolvidos, dureza total e sódio. Isto exigiria dessalinização da água, caso fossem cumpridos os estatutos da Portaria 518/04, do Ministério da Saúde. Enquanto no cristalino a média de conformidade atinge a 47%, no caso de poços presentes em bacia sedimentar, esta chega a 90%.

O conteúdo de ferro também é um parâmetro relevante, principalmente em mananciais subterrâneos, e vem recebendo atenção crescente. O ferro é considerado um constituinte menor das águas, com concentrações entre 0,01 e 10,00 mg/L. Este é responsável por interferência estética, tais como: manchar peças sanitárias e roupas, causar incrustações e incrementar o crescimento de bactérias de ferro no interior das tubulações. Uma prática útil

consiste em pré-clorar a água, para eliminar ou diminuir tais efeitos (VIESSMAN Jr. e HAMMER, 1998). Em APHA (1992), é lembrado que muitas vezes as concentrações de ferro são originárias de tubulações e equipamentos de captação e transporte de água.

O conteúdo de Fe é importante para as concessionárias de serviço de abastecimento de água e o limite normativo é de 0,3 mg/L. Apesar da importância, no Ceará, o controle sobre este parâmetro ainda é sofrível, sendo relevante quando o poço já está implantado e algum dano causado pelo uso da água é verificado. Em geral, os resultados se restringem ao conteúdo de ferro férrico (Fe<sup>3+</sup>). Apenas em ambientes com potencial redox reduzido é que se encontra a forma ferrosa (Fe<sup>2+</sup>).

A sílica (SiO<sub>2</sub>) é outro parâmetro que tem recebido atenção, provavelmente para fins de melhor caracterização da rocha matriz dos aquíferos e estudos mineralógicos. A sílica é derivada essencialmente do intemperismo dos silicatos presentes em arenitos, argilas minerais e silicatos ferro-magnesianos (HOUNSLOW, 1995). Em águas subterrâneas, a sílica é encontrada normalmente em concentrações superiores a 5 mg/L (entre 1 e 30 mg/L). O conteúdo de sílica não tem significado sanitário, porém é indesejado em muitas atividades industriais (APHA, 1992).

No Ceará, alguns resultados foram obtidos nas bacias do Jaguaribe, apresentados na tabela a seguir. Os achados são relativos a 37 poços no Alto Jaguaribe, 17 no Médio Jaguaribe e 23 no Baixo Jaguaribe.

**Tabela 20:** Conteúdo de Fe<sup>3+</sup> e SiO<sub>2</sub> nas águas de poços localizados nas bacias do Jaguaribe.

Parâmetro estatístico	Alto Jaguaribe		Médio Jaguaribe		Baixo Jaguaribe	
	Fe <sup>3+</sup> (mg/L)	SiO <sub>2</sub> (mg/L)	Fe <sup>3+</sup> (mg/L)	SiO <sub>2</sub> (mg/L)	Fe <sup>3+</sup> (mg/L)	SiO <sub>2</sub> (mg/L)
Média	0,69	27,1	0,12	28,6	1,14	34,7
Mediana	0,06	31,0	0,04	31,0	0,05	38,7
CV (%)	351,5	43,4	202,8	50,4	290,9	80,9

Cor e turbidez são provavelmente os parâmetros mais básicos de controle de qualidade de água para abastecimento humano. Os limites estabelecidos pelo Ministério da Saúde são de 15 UH (unidades de Hazen) e 5 UT (unidades de turbidez), respectivamente. De uma maneira geral, tanto cor quanto turbidez atendem às exigências normativas. Os resultados de 83 poços localizados nas diferentes litologias do estado são apresentados na Tabela 21. Valores extremos são observados quando há mau funcionamento do pré-filtro de poços tubulares, proteção inadequada ou poluição.

**Tabela 21:** Cor e turbidez nas águas de poços do Ceará.

Parâmetro estatístico	Cor (UH)	Turbidez (UT)
Média	22	4
Mediana	10	2
CV (%)	150	147

A presença de bactérias do grupo coliforme é importante, principalmente quando há uma fonte de contaminação (e.g. esgotos sanitários). A “cloração do poço” é procedimento usual para eliminar estes organismos reduzindo, portanto, o risco da presença de patógenos (AWWA, 1990).

### Salinidade das águas subterrâneas do Ceará para irrigação

O uso agrônomico da água requer estudo cuidadoso sobre o conteúdo salino. Toxicidade dos íons às culturas vegetais e a salinização do solo exigem atenção a partir da qualidade da água pretendida para irrigação (HILLEL, 2000). Assim, a interpretação não é dissociada de uma caracterização do conjunto solo-água-planta. Entre inúmeros parâmetros de interesse, os mais relevantes são: condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), razão de adsorção de sódio (RAS) e cloreto. A CE e o STD são indicadores diretos do conteúdo salino e tais parâmetros correlacionam positivamente com parte dos íons contidos na água (apresentado nas Tabelas 14 e 17).

A razão de adsorção de sódio (RAS) mede o grau em que o sódio substitui o Ca e o Mg adsorvidos no solo, tendo implicação sobre o processo de salinização. Águas com valores de RAS elevados implicam em diminuição da permeabilidade do solo (AYERS e WESTCOT, 1992). O íon cloreto, por sua vez, tem efeito tóxico sobre as culturas. O nível de tolerância varia diferentemente entre as espécies vegetais. Há diferentes referências para orientação do uso da água na irrigação, no que concerne à salinidade. Uma abordagem simplificada é baseada na restrição de uso, que é mostrada na Tabela 22.

**Tabela 22:** Classificação dos níveis de restrição de uso de água na irrigação de acordo valores de CE, RAS e cloreto.

Parâmetro	Nível de restrição ao uso e valores orientadores		
	Nenhuma	Ligeira ou moderada	Severa
Condutividade elétrica (mS/cm)	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
Razão de adsorção de sódio (RAS)	< 3	3 – 9	> 9
Cloreto (mg/L)	< 106	106 – 319	> 319

Fonte: AYERS e WESTCOT (1992).

A classificação da água deve considerar o uso de longo prazo e os riscos de salinização e sodicização do solo. A avaliação dos valores de RAS e CE, empregando diagrama ou tabela de orientação, constitui o procedimento mais difundido no meio técnico. A idéia é simples, de maneira que os resultados de RAS e de CE são divididos em faixas, conforme o risco de sodicização e de salinização do solo. O conteúdo de STD é também empregado como referência. A Tabela 23 mostra as faixas de valores empregados na caracterização da água para irrigação.

**Tabela 23:** Classificação da água para irrigação quanto à salinidade (CE e STD) e sodicidade.

Classes de CE	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
Condutividade elétrica (mS/cm)	< 0,25	0,25 – 0,75	0,76 – 2,25	> 2,25
<b>Classes de RAS</b>	<b>S<sub>1</sub></b>	<b>S<sub>2</sub></b>	<b>S<sub>3</sub></b>	<b>S<sub>4</sub></b>
Razão de adsorção de sódio	< 10	11 - 18	19 - 26	> 26
<b>Classes de STD</b>	<b>STD<sub>1</sub></b>	<b>STD<sub>2</sub></b>	<b>STD<sub>3</sub></b>	<b>STD<sub>4</sub></b>
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	< 160	161 - 480	481 – 1.440	> 1.440

Fonte: adaptado de HILLEL (2000).

As Tabelas 24 e 25 mostram a distribuição de salinidade e sodicidade das águas de poços do Ceará, considerando as classes acima referidas. Foram apreciados 2.778 poços em aquífero cristalino e 995 em aquífero sedimentar. No caso de aquífero aluvionar e cárstico, o resultado é referente apenas à condutividade elétrica, representando 778 e 111 poços dos respectivos aquíferos.

**Tabela 24:** Classificação e distribuição (%) da salinidade das águas de poços do Ceará quanto à condutividade elétrica.

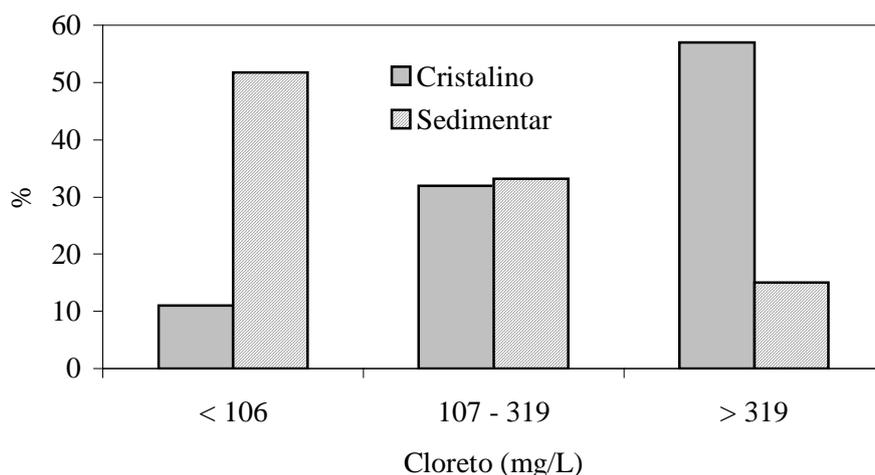
Classes de CE	Tipo de aquífero			
	Cristalino	Sedimentar	Aluvionar	Cárstico
C <sub>1</sub>	1,2	25,1	4,7	-
C <sub>2</sub>	13,9	44,8	29,3	4,8
C <sub>3</sub>	38,9	20,3	51,4	87,8
C <sub>4</sub>	46,0	9,8	14,6	7,4

**Tabela 25:** Classificação e distribuição (%) da sodicidade e salinidade das águas de poços do Ceará quanto à RAS e STD.

Classes de RAS	Aquífero		Classes de STD	Aquífero	
	Cristalino	Sedimentar		Cristalino	Sedimentar
S <sub>1</sub>	98,3	98,2	STD <sub>1</sub>	0,6	8,1
S <sub>2</sub>	0,8	1,5	STD <sub>2</sub>	15,0	67,2
S <sub>3</sub>	0,9	0,3	STD <sub>3</sub>	45,9	18,3
S <sub>4</sub>	-	-	STD <sub>4</sub>	38,5	6,4

Em princípio, o risco de sodicização é baixo (RAS < 10) tanto para os poços localizados em aquífero cristalino, quanto em sedimentar. No que diz respeito à CE, a maior parte dos poços de aquífero cristalino apresenta águas com alta salinidade (C<sub>4</sub>). O mesmo pode ser declarado em relação a sólidos totais dissolvidos (STD<sub>3</sub>). Já os poços de aquífero sedimentar são do tipo C<sub>2</sub> e STD<sub>2</sub>.

Quanto ao conteúdo de cloreto, a Figura 6.8 mostra a distribuição em relação à classificação da Tabela 22, comparando poços de aquíferos cristalino e sedimentar.



**Figura 8:** Distribuição das faixas de concentração do íon cloreto nas águas de substrato do Ceará, em aquíferos cristalino e sedimentar.

## 7 Considerações finais

No Ceará, apesar da predominância de embasamento cristalino, que sugere baixa disponibilidade de águas de substrato, a exploração deste recurso vem aumentando continuamente em razão de pressões de demanda. Além disto, períodos de estiagem prolongada impõem a necessidade de fontes suplementares de água.

Não é sabido ainda o real potencial de utilização de águas subterrâneas no Ceará. Estudos de prospecção adequada ainda não estão plenamente disseminados. Também, o reconhecimento estrutural e levantamentos geofísicos pertinentes ainda estão concentrados no espaço acadêmico. A exploração de águas subterrâneas ainda carece de atenção no contexto local, porém com evolução consistente.

Estimava-se, no final do ano de 2003, que havia cerca de 23.000 poços perfurados no Ceará, estando alguns em funcionamento desde 1903. Cerca de 63% destes estavam no embasamento cristalino, 29% em litologia sedimentar e o restante em aluviões e formações cársticas. Pelo menos 95% dos poços são do tipo tubular e o grau de mecanização atinge 55%. O uso de poços é quase paritário, entre público e privado, mas cerca de 30% estão desativados ou abandonados. Isto sugere falta de planejamento para instalação e deficiência no suporte para exploração adequada. Os poços localizados no cristalino cearense possuem vazão específica em torno de 13% do valor observado em poços localizados em bacias sedimentares. Os poços deste tipo litológico são 35% mais profundos que os de embasamento cristalino.

Quanto às bacias hidrográficas do Ceará, a Metropolitana tem maior potencial instalado, seguida da bacia do Salgado. No que concerne à vazão específica ( $Q_e$ ), os maiores potenciais de exploração estão instalados no Salgado e no Baixo Jaguaribe.

As águas de poços do cristalino possuem maior conteúdo salino que as de litologia sedimentar. Foram desenvolvidos modelos empíricos simples que podem ser empregados para estimar o conteúdo salino das águas subterrâneas do Ceará.

Cerca de 41% dos sistemas públicos de abastecimento de água empregam poços como mananciais, atendendo aproximadamente 1,1 milhão de pessoas. A maior parte destes está nas bacias do Salgado e do Acaraú. No cristalino, o grau de conformidade com padrões de potabilidade atinge a 47%, enquanto em bacia sedimentar chega a 90%.

Para uso agrônômico, as águas subterrâneas do cristalino são mais restritivas, porém o risco de sodicização do solo não é tão alto. Maior atenção deve ser dada à toxicidade do íon cloreto nas águas desta litologia. Exige-se um manejo cuidadoso, com cultivo de culturas adequadas e monitorização do solo.

## Referências

ALEXANDRE, A. M. B.; DA SILVA, F. J. A. Perfil de exploração de águas subterrâneas no Ceará. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 11, Natal, 2004. *Anais...* Natal: ABES, 2004, 1 CD-ROM.

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18th ed. Washington, DC, 1992. 1100 p.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. *Water quality and treatment*. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 1990. 1194 p.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. *A qualidade da água na agricultura*. Traduzido por H. R. Ghevy, J. F. de Medeiros e F. A. V. Damasceno. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1992. 218 p. (Estudos FAO – Irrigação e Drenagem, n. 29).
- BRASIL. Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos hídricos. *Diário Oficial da União*, Poder Executivo, Brasília, DF, 09 jan. 1997.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n.º 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Poder Executivo, Brasília, DF, 26 mar. 2004.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Programa de águas subterrâneas*. Brasília, DF. 2001. 21 p.
- CEARÁ. Secretaria de Recursos Hídricos. *Plano estadual dos recursos hídricos*. Fortaleza: 1992.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. *Atlas digital de recursos hídricos subterrâneos do Ceará*. 2. ed. Fortaleza: ABAS, 2000. 1 CD-ROM.
- COSTA, A. C. M.; SANTOS, M. A. A gestão dos recursos hídricos no Brasil e a questão da água subterrânea. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, Fortaleza, 2000. *Anais...* Fortaleza: ABES, 2000. 1 CD-ROM.
- DA SILVA, F. J. A.; ALMEIDA, M. M. M. Salinidade de águas subterrâneas nas bacias sedimentares do Ceará. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 11., Natal, 2004. *Anais...* Natal: ABES, 2004. 1 CD-ROM.
- DA SILVA, F. J. A.; ALMEIDA, M. M. M.; ARAÚJO, L. F. P. Indicadores hidroquímicos obtidos a partir da condutividade elétrica em alguns poços do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: ABES, 2001. 1 CD-ROM.
- DA SILVA, F. J. A.; ALMEIDA, M. M. M.; FERNANDES, A. L. C. Hidroquímica de águas subterrâneas do cristalino no trópico semi-árido nordestino, Brasil. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 10., Braga, 2002. *Anais...* Braga, 2002. 1 CD-ROM.
- FEITOSA, E. C. Pesquisa de água subterrânea. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Ed.). *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. Fortaleza: CPRM, 2000. p. 53-80.
- HILLEL, D. *Salinity management for sustainable irrigation: integrating science, environment and economics*. Washington: The Word Bank, 2000. 91 p.
- HOUNSLOW, A. W. *Water quality data: analysis and interpretation*. Boca Raton: CRC Lewis, 1995. 387 p.
- IPLANCE. *Anuário estatístico do Ceará*. Fortaleza, 2002. 1 CD-ROM.
- IPLANCE. *Atlas do Ceará*. Fortaleza, 1989. 57 p.
- LEITE, C. E. S.; MÖBUS, G. Análise da densidade de poços tubulares no estado do Ceará: 1991-1998. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1., Fortaleza, 2000. *Anais...* Fortaleza: ABAS, 2000b. 1 CD-ROM.
- LEITE, C. E. S.; MÖBUS, G. Estimativa do potencial instalado de água subterrânea no estado do Ceará: 1991-1998. In: CONGRESSO MUNDIAL INTEGRADO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 1, Fortaleza, 2000. *Anais...* Fortaleza: ABAS, 2000a. 1 CD-ROM
- MACDONALD, A. M.; DAVIES, J.; DOCHARTAIGH, B. É. Ó. *Simple methods for assessing groundwater resources in low permeability areas of Africa*. Nottingham: British Geological Survey, 2002. 71 p. Commissioned Report CR/01/168N, 2002.
- MACHADO, A. P.; DA SILVA, F. J. A. Poços e condutividade elétrica das águas de substrato nas bacias hidrográficas do Ceará, Nordeste brasileiro: limitações ao consumo humano. In: ENCONTRO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIFOR, 4., 2004, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: Universidade de Fortaleza, 2004. 1 CD-ROM
- MANOEL FILHO, J. Ocorrência das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Ed.). *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. Fortaleza: CPRM, 2000. p. 13-33.

QUESADO JÚNIOR, N.; CORDEIRO, W.; TEIXEIRA, Z. A. Qualidade das águas armazenadas nas aluviões e perenizações do rio Banabuiú em Limoeiro do Norte e Morada Nova, Estado do Ceará. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7., 2004, São Luís. *Anais...* São Luís: ABRH, 2004. 1 CD-ROM.

REBOUÇAS, A. C. Águas subterrâneas. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. *Águas doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escrituras, 1999. p. 117-151.

VISSMAN JUNIOR, W.; HAMMER, M. J. *Water supply and pollution control*. 6th ed. Menlo Park, CA: Addison-Wesley, 1998. 827 p.

## **SOBRE OS AUTORES**

### **Fernando José Araújo da Silva**

Engenheiro Civil pela Universidade de Fortaleza – UNIFOR. Mestre em Engenharia Civil, área de Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba. Professor Adjunto do Centro de Ciências Tecnológicas da UNIFOR. Doutorando do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – DEHA, na Universidade Federal do Ceará – UFC, desde março de 2006.

### **Andréa Limaverde de Araújo**

Geóloga pela Universidade Federal do Ceará – UFC. Mestre em Engenharia, área de Engenharia Hidráulica e Ambiental – DEHA/UFC. Consultora nas áreas de Meio Ambiente e Hidrogeologia.

### **Raimundo Oliveira de Souza**

Engenheiro Civil. Doutor pela Universidade de São Paulo – USP. Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – DEHA da Universidade Federal do Ceará – UFC.