

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE POÇOS PROFUNDOS SITUADOS NO MUNICÍPIO DE CAUCAIA – CE E SUAS LIMITAÇÕES DE USOS

* Wesllen Melo da Costa ¹
Ronaldo Ferreira do Nascimento ¹
Fernando José Araújo da Silva ¹

EVALUATION OF THE HYDROGEOCHEMICAL COMPOSITION OF UNDERGROUND WATERS OF DEEP WELLS LOCATED IN THE MUNICIPALITY OF CAUCAIA -CE AND ITS USE LIMITATIONS

Recibido el 12 de diciembre de 2020. Aceptado el 8 de noviembre de 2021

Abstract

The use of underground water resources in northeastern Brazil is an important alternative for meeting multiple uses. However, the quality of this type of water is conditioned to a series of physical-chemical parameters, often providing little information when analyzed in isolation. In this context, this study had as objective to evaluate the hydrogeochemical composition of the water of five deep wells in the Municipality of Caucaia - CE through ionic indexes and reasons aiming to evaluate the limitations of uses of this type of water. The results obtained showed that the samples have high electrical conductivity (2935 to 8350 μ S/cm) and are classified as very hard water ($> 300\text{mgCaCO}_3 / \text{L}$). The indexes studied show that the waters have a tendency to corrosion and are classified as chlorinated sodium. In addition, the analyzed samples have a degree of restriction in relation to sodicity classified as high risk (average RAS > 18) and the samples represent a risk of soil salinization ranging from very high (2250 μ S/cm $< EC < 5000\mu$ S/cm) and exceptionally high ($> 5000\mu$ S/cm). Thus, the use of these waters for drinking purposes presupposes a treatment aimed at removing mainly high concentrations of salts and in irrigated agriculture the need for specific management techniques for the use of waters with these characteristics.

Keywords: groundwater, ionic indexes, multiple uses.

¹ Universidade Federal do Ceará, Brasil.

*Autor correspondente: Universidade Federal do Ceará (UFC), Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental Campus do Pici – Bloco 713 Cep: 60400-900 Fortaleza – Ceará Brasil. Email: wesllen.melo@ifce.edu.br

Resumo

A utilização dos recursos hídricos subterrâneos no Nordeste brasileiro é uma importante alternativa para o atendimento dos usos múltiplos. Entretanto, a qualidade desse tipo de água está condicionada a uma série de parâmetros físico-químicos, muitas vezes fornecendo poucas informações quando analisados isoladamente. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar a composição hidrogeoquímica da água de cinco poços profundos no Município de Caucaia – CE através de índices iônicos e de razões visando avaliar as limitações de usos desse tipo de água. Os resultados obtidos demonstraram que as amostras possuem elevada condutividade elétrica (2935 a 8350uS/cm) e são classificadas como águas muito duras (>300mgCaCO₃/L). Os índices estudados demonstram que as águas possuem tendência à corrosão sendo classificadas como sódicas cloretadas. Além disso, as amostras analisadas possuem grau de restrição em relação à sodicidade classificado como de alto risco (RAS_{médio}>18) e que o risco de salinização dos solos variando entre muito alto (2250uS/cm<C.E<5000uS/cm) e excepcionalmente alto (>5000uS/cm). Desta forma, a utilização dessas águas para fins potáveis pressupõe um tratamento visando a remoção principalmente das elevadas concentrações de sais e na agricultura irrigada a necessidade de técnicas de manejo específicas para utilização de águas com essas características.

Palavras chave: águas subterrâneas, índices iônicos, usos múltiplos.

Introdução

No Brasil, a qualidade das águas ganhou maior evidência com a sanção da Lei nº 9.433/1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos. O instrumento destaca a gestão como fundamento, proporcionando uso múltiplo da água, em consonância com objetivos que assegurem “à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (Brasil, 1997). O estatuto aponta, portanto, a tutela de direito de terceira geração.

Mesquita *et al.* (2016) comentam que a demanda crescente de água resulta do incremento populacional e, por conseguinte, do crescimento dos setores industrial e agrônomo. Tal cenário exige estudos de monitoramento da qualidade e quantidade, sejam superficiais ou de substrato. Esse último tipo manancial tem relevância destacada em razão de sua importância para o abastecimento humano e seus usos diretos.

A qualidade das águas subterrâneas tem estreita relação com os meios por onde elas se infiltram, com o tipo de rocha que elas mantêm interação nos aquíferos, com o tempo de residência no aquífero e com produtos de atividades antropogênicas com os quais as águas subterrâneas mantêm contato (Khanoranga *et al.*, 2018).

A influência dos diferentes fatores sobre a qualidade das águas subterrâneas varia no tempo e no espaço (Mikhlaifi, *et al.* 2003). Em condições naturais, as águas subterrâneas têm sua qualidade dependente da composição das chuvas (Jalali *et al.*, 2007) e de processos de

interação com minerais do aquífero (Narany *et al.*, 2014). Também o uso do solo influencia a qualidade das águas subterrâneas, a depender da configuração geológica (Jalali, *et al.*, 2007) que pode favorecer à interação com águas superficiais. Gonçalves e Giampá (2006) destacam que o maior problema enfrentado para a captação de águas subterrâneas advém da falta de conhecimentos básicos sobre as suas formas de ocorrência e circulação, seus aspectos hidrogeológicos, legais, além da falta de controle e de fiscalização das condições de uso e de proteção deste manancial.

De La Mora - Orozco (2017) sugere que, individualmente, um único parâmetro físico-químico não define necessariamente a qualidade de um determinado recurso hídrico. Entretanto, um conjunto de variáveis pode ser representado em um único número que declara o nível de qualidade da água. Nesse esteio, os índices são ferramentas capazes de transformar um conjunto de dados complexos em informações mais entendíveis. Eles podem identificar distúrbios e tendências na qualidade da água em um corpo hídrico em tempo específico (Sreedhar *et al.*, 2017).

Appelo e Postma (2009) apontam que a classificação hidroquímica pode orientar as autoridades gestoras de recursos hídricos, os perfuradores de poços tubulares e outros profissionais, para identificar aquíferos com melhor qualidade de água, além de permitir uma primeira avaliação da relação entre a mineralogia e a composição da água subterrânea de determinado aquífero. Além disso, tais informações podem subsidiar a escolha de alternativas tecnológicas adequadas à realidade das zonas rurais visando dotar essas comunidades de capacidade produtiva é de suma importância para melhorar as condições de vida das pessoas que vivem em regiões com escassez hídrica.

Nesse contexto, o presente estudo trata de avaliar a composição iônica de águas subterrâneas de poços profundos no Município de Caucaia – CE através de índices iônicos visando subsidiar a escolha dos seus potenciais usos.

Metodologia

Descrição do Local de Amostragem

O presente estudo foi desenvolvido utilizando dados de qualidade físico-química da água de cinco (5) poços profundos situados em localidades (Figura 1) na zona rural do Município de Caucaia – CE (Carauçanga, Porteira, Lameirão, Boqueirãozinho e Angico). As informações referente as coordenadas geográficas, vazão, profundidade, nível estático (NE) e nível dinâmico (ND) dos poços estão na Tabela 1.

Os poços do estudo estavam localizados no Município de Caucaia, Ceará. A extensão territorial de Caucaia é de 1.227.9 km², com uma população estimada de 325.441 habitantes (IBGE, 2019). A classificação de Köppen aponta para um clima Aw (tropical com estação seca no inverno). Segundo IPCE (2017) a temperatura média em Caucaia oscila entre 26 a 28°C. A pluviosidade na região estudada durante o período de estudo foi de 445mm.

A área estudada é caracterizada geologicamente pela ocorrência de terrenos cristalinos pré-cambrianos, denominados Complexo Gnaíssico-Migmatíticos, e coberturas sedimentares cenozóicas, representadas pela Formação Barreiras, Coberturas Colúvio-Eluviais, Paleodunas, Dunas Móveis, Depósitos Flúvio-Aluvionares e Mangues (Brandão, 1995). Na região as águas subterrâneas ocorrem em duas províncias hidrogeológicas: nos terrenos cristalinos e nos terrenos sedimentares litorâneos. No domínio dos terrenos cristalinos, o contexto hidrogeológico está intimamente associado aos fendilamentos, pois suas rochas possuem uma porosidade primária quase nula, conferindo-lhes uma permeabilidade extremamente baixa (Aguiar et al. 2000). Mesquita et al. (2016) comentam que nesse tipo de aquífero, a água, em função da falta de circulação e dos efeitos do clima semiárido, é normalmente salinizada.

Tabela 1. Relação de poços profundos do Município de Caucaia-CE.

Poço	Localidade	Lat./Long.	Vazão (l/h)	Prof. (m)	NE(m)	ND (m)
P1	Caraussanga	9575374 - 533047	2200	80	2.2	65.4
P2	Porteira	9586943 - 526441	3500	80	6.5	55
P3	Lameirão	9584028 - 533480	12000	90	4.4	35.8
P4	Boqueirãozinho	9588487 - 525907	3650	80	1.6	51
P5	Angico	9591376 - 512704	2700	60	4.5	42

NE e ND – nível estático e nível dinâmico, respectivamente.

Fonte: Governo Estado do Ceará (2019).

As amostras de água dos poços foram coletadas e analisadas em dezembro de 2019. A coleta utilizando frascos de 5 litros de volume, armazenamento e preservação das amostras seguiram os procedimentos descritos por Nielsen e Nielsen (2007). Os ensaios laboratoriais foram realizados no Laboratório de Processos Avançados Oxidativos – LabPoa da Universidade Federal do Ceará segundo as recomendações de Eaton *et al.* (2005). Os parâmetros físico-químicos avaliados bem como os métodos analíticos e as referências bibliográficas estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Relação dos arâmetros físico-químicos avaliados nas amostras dos poços profundos do Município de Caucaia-CE.

Parâmetro	Método Analítico	Referência
Potencial hidrogeniônico (pH)	Sonda multiparamétrica EC-400 da Extech	APHA, 2005
Condutividade elétrica (C.E.)	Sonda multiparamétrica EC-400 da Extech	APHA, 2005
Temperatura (°C)	Sonda multiparamétrica EC-400 da Extech	APHA, 2005
Sódio (Na ⁺ , mg/L)	Fotometria de chama	APHA, 2005
Potássio (K ⁺ , mg/L)	Fotometria de chama	APHA, 2005
Cálcio (Ca ²⁺ , mg/L),	Titulometria de complexação	APHA, 2005
Magnésio (Mg ²⁺ mg/L)	Titulometria de complexação	APHA, 2005
Cloreto (Cl ⁻ , mg/L)	Titulometria de complexação	APHA, 2005
Carbonato (CO ₃ ²⁻ mg/L),	Titulometria	APHA, 2005
Bicarbonato (HCO ₃ ²⁻ mg/L),	Titulometria	APHA, 2005
Hidróxido (mg OH ⁻ /L)	Titulometria	APHA, 2005
Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ /L)	Espectrofotometria	APHA, 2005
Nitrito (mg N-NO ₂ ⁻ /L)	Espectrofotometria	APHA, 2005
Sulfato (SO ₄ ²⁻ mg/L)	Turbidimetria	APHA, 2005
Ferro (mg Fe ²⁺ /L)	Espectrofotometria	APHA, 2005
Fosfatos (mg PO ₄ ²⁻ /L)	Espectrofotometria	APHA, 2005

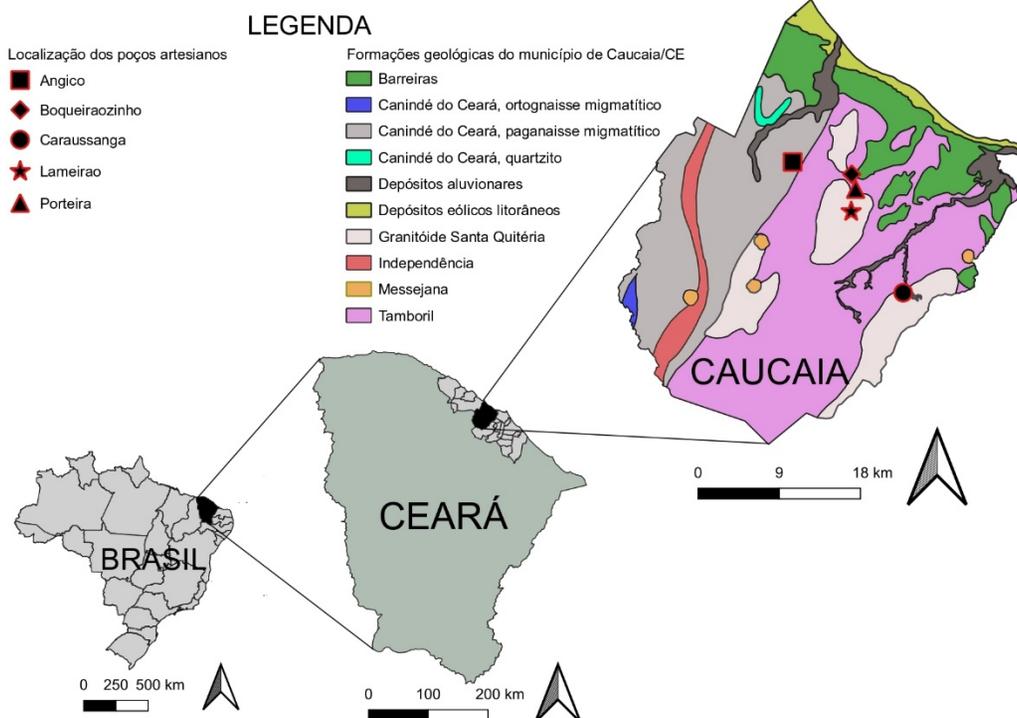


Figura 1. Localização da área estudada e dos pontos amostrados no Município de Caucaia – CE

Tratamento dos Dados

Baseado nos resultados das análises físico-químicas foi realizada a avaliação das águas dos poços utilizando os seguintes índices (Tabela 3): Saturação de Langelier (ISL), Ryznar (IRZ), Larson-Skold (ILS), Puckorius (IPK), Agressividade (IA), Razão de Adsorção de Sódio (RAS), Residual de Carbonato de Sódio (RSC), % de sódio (%Na⁺) e Permeabilidade (IP).

Tabela 3. Equações utilizadas para o cálculo dos índices

Índice	Equação	Valor do Índice	Indicação
<i>Índice de Saturação de Langelier</i>	$LSI = pH - pHs$	LSI > 0	Água tem uma condição de supersaturação e uma tendência a precipitar CaCO ₃
	$pHs = (9.3 + A + B) - (C + D)$		
	$A = (\log_{10} [STD] - 1) / 10$	LSI = 0	Água está numa condição de saturação e não apresenta tendência de precipitar ou dissolver CaCO ₃
	$B = -13.12 \times \log_{10}(T (^{\circ}C) + 273) + 34.55$		
	$C = \log_{10} [Ca^{+2} \text{ como } CaCO_3] - 0.4$	LSI < 0	Água possui uma tendência à corrosão
	$D = \log_{10} [\text{Alcalinidade como } CaCO_3]$		
<i>Índice de Estabilidade de Ryznar</i>	$RSI = 2 \times pHe - pH$	RSI < 6.0	Água tem uma tendência de precipitar CaCO ₃
		$6.0 \leq RSI < 7.0$	Água está numa condição de saturação e não apresenta tendência de precipitar ou dissolver CaCO ₃
		RSI > 7.0	Água possui uma tendência à corrosão
<i>Índice de Incrustação de Puckorius</i>	$pHeq = 1.465 \times \log_{10}(\text{Alcalinidade Total como } CaCO_3) + 4.54$	PSI < 4.5	Tendência à Incrustação
		$4.5 < PSI < 6.5$	Faixa ideal com baixa tendência à incrustação ou corrosão
		PSI > 6.5	Tendência à Corrosão
<i>Índice de Larson - Skold (LSK)</i>	LSK = $[(Cl^{-}) + (SO_4^{2-})] / [(HCO_3^{2-}) + (CO_3^{2-})]$ Concentrações em miliequivalentes/L	LSK < 0.8	Taxa de Corrosão baixa ou desprezível
		$0.8 < LSK < 1.2$	Taxa de corrosão significativa
		LSK > 1.2	Taxa de corrosão muito elevada
<i>Índice de Agressividade</i>	IA = $pH + \log_{10} [(Alcalinidade Total CaCO_3) \times (\text{Dureza de Cálcio em } CaCO_3)]$	IA > 12	Água pouco ou não agressiva (corrosividade baixa ou desprezível)
		$10 < IA < 12$	Água moderadamente agressiva
		IA < 10	Água Agressiva (muito corrosiva)

A partir dos resultados das análises físico-químicas foram elaborados diagramas utilizando add-in do Excel Diagrammes, desenvolvido pelo Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon. Ele é frequentemente utilizado para a classificação e comparação de distintos grupos de águas quanto aos íons dominantes. Baseado nos resultados verificaram-se os potenciais usos e limitações das águas dos poços.

Resultados

Caracterização físico-química das amostras dos poços

O balanço iônico (BI) das águas analisadas é avaliado através do erro prático que segundo Eaton (2005) é o cálculo do erro das análises sendo utilizado para confirmar a consistência dos resultados das análises laboratoriais. Para o presente estudo, o erro prático foi menor que 10%, com valores de: Caraussanga – P₁ (2.5%), Porteira – P₂ (5.8%), Lameirão – P₃ (4.6%), Boqueirãozinho – P₄ (5.1%), Angico - P₅ (6.6%). Schoeller (1962) e Weight (2000) admitem ideal o erro do balanço iônico inferior a 5%. Entretanto, valores abaixo de 10% são apontados como aceitáveis para que a análise possa ser considerada analiticamente correta (Feitosa e Manoel Filho, 2000). Os resultados médios dos parâmetros físico-químicos das amostras dos poços profundos estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados Médios dos parâmetros físico-químicos analisados nas águas dos poços 2019.

Parâmetro	Unidade	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
pH	-	7.31	7.31	7.25	6.98	7.66
Temperatura	(°C)	28	31	32	29	31
Cor	uH	15	14	13	15	4
Turbidez	uT	1.5	0.2	0.2	0.2	0.2
STD	(mg/L)	2370	2876	4359	1532	2981
Condutividade	(µS/cm)	4540	5510	8350	2935	5710
Bicarbonato	(HCO ₃ ⁻ mg/L)	70.7	40	100	36	73.3
Dureza Total	(mg CaCO ₃ /L)	337.6	546.6	770.9	276.6	546.6
Cálcio	(Ca ²⁺ mg/L)	112.22	171.01	173.7	83.7	171.9
Magnésio	(Mg ²⁺ mg/L)	3.8	8	22.5	4.5	7.8
Sódio	(Na ⁺ mg/L)	800.7	1008	1656.5	538	1141
Potássio	(K ⁺ mg/L)	3.3	14	10.5	5.9	19
Ferro	(Fe ²⁺ mg/L)	0.25	< 0.01	0.3	< 0,01	0.32
Nitrito	(mg N-NO ₂ /L)	0.06	0.13	0.02	0.06	0.04
Nitrato	(mg N-NO ₃ /L)	1.9	3.5	0.6	0.5	0.4
Fluoreto	(mg F/L)	6.5	5.2	8.6	5.3	5.4
Sulfato	(mg SO ₄ ²⁻ /L)	91.9	115.2	29.9	36.9	11.9
Cloreto	(mg Cl ⁻ /L)	1234.6	1554.5	2554.2	829.7	1759.5
Fosfato	(mg PO ₄ ³⁻ /L)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.98	< 0.01

Os diagramas de Gibbs (Figuras 2 e 3) mostram que entre os processos que explicam a qualidade dessas águas subterrâneas predomina a evaporação/cristalização. Águas em domínio de evaporação e cristalização tendem a apresentar elevada concentração salina devido aos sólidos totais dissolvidos, resultado da concentração dos íons presentes nas águas associados à evaporação e da cristalização de novos sais (Wen *et al.*, 2005). Mesquita *et al.* (2016) comentam que na evaporação, a salinidade, expressa como Sólidos

Totais Dissolvidos (STD mg/L), aumenta mantendo a relação com os cloretos mais solúveis. A condição de STD acima de 1000 mg/L favorece a cristalização de carbonatos, aumentando as razões $rCl/(rCl + rHCO_3)$ e $rNa/(rNa + rCa)$.

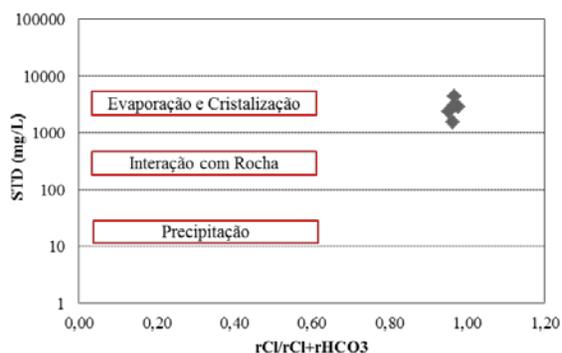


Figura 2. Diagrama de Gibbs

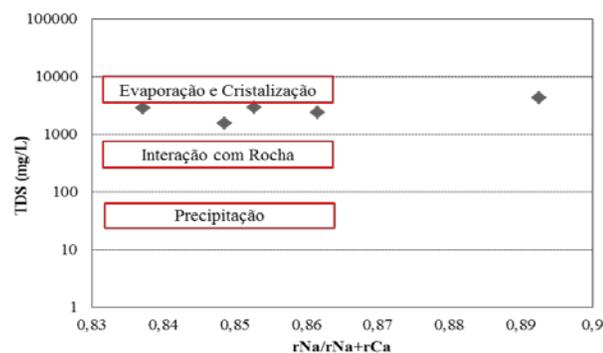


Figura 3. Diagrama de Gibbs

De acordo com o diagrama de Piper (Figura 4), o conteúdo iônico das águas dos poços indica uma predominância das Sódicas – Cloretadas. Em relação aos cátions há uma dominância nas águas de Na^+ e Ca^{2+} enquanto que Cl^- é o ânion predominante. Pode-se constatar que todas as amostras possuem elevado grau de salinidade. A ordem de concentração dos cátions e dos ânions é a seguinte: $rNa^+ > rCa^{2+} > rMg^{2+} > rK^+$ e $rCl^- >> rHCO_3^{2-} > SO_4^{2-}$. O diagrama de Chadha é utilizado para estudar os vários processos hidroquímicos, como troca de cátions base, mistura de águas naturais, sulfatos em águas salinas e outros processos hidroquímicos relacionados às águas subterrâneas (Chadha, 1999). Na Figura 5, as regiões numeradas indicam alguns parâmetros hidroquímicos das águas subterrâneas. As águas dos cinco poços foram classificadas na região 7 do gráfico indicando um tipo de água com problemas para usos doméstico e irrigação devido ao excesso de metais alcalinos (Na^+ e K^+) em relação aos alcalinos terrosos (Ca^{2+} e Mg^{2+}) e dos ânions fortemente ácidos (Cl^- e SO_4^{2-}) sobre os ânions (HCO_3^{2-} e CO_3^{2-}) causando problemas de salinização dos solos que venham a receber água com tais características (Chadha, 1999).

Os valores encontrados para os índices da tabela 5 sugerem que baseado no ISL, 4 poços apresentam uma corrosão considerada de baixa intensidade ($ISL < 0$) estando subsaturadas com carbonato de cálcio e o poço (P₅) com equilíbrio e tendência à precipitação ($0 < LSI < 0.5$). Ressalte-se que a corrosividade das águas subterrâneas analisadas ($LSK > 1.2$) provavelmente é devido às elevadas concentrações do íon cloreto. Abreu *et al.* (2019) comentam que os cloretos induzem a um alto nível de corrosão por ser um íon de diâmetro bastante pequeno, podendo penetrar na estrutura intergranular metálica. Este tipo de ataque resulta, frequentemente, em corrosão do

tipo localizada. Ressalte-se que essas informações são extremamente relevantes sob a ótica de manutenção de bombas submersas e tubulações dos poços profundos que podem necessitar de serviços de manutenção preventivos visando uma maior vida útil dos equipamentos supracitados. O índice de Riznar (IRZ) sugere que a água de quatro dos poços apresenta características corrosivas ($6.8 < IRZ < 8.5$). Isto é corroborado pelos índices de Puckorius (IPK) que também sugere águas com tendência à corrosão ($IPK > 6.5$) e pelo índice de agressividade (IA) que ficou entre 10 e 12. Os resultados dos índices de cloro alcalino (CAI_1 e CAI_2) foram negativos para os cinco poços avaliados indicando a predominância da troca iônica entre Ca^{2+}/Mg^{2+} presentes na água subterrânea e Na^+/K^+ da litologia onde os aquíferos estão localizados.

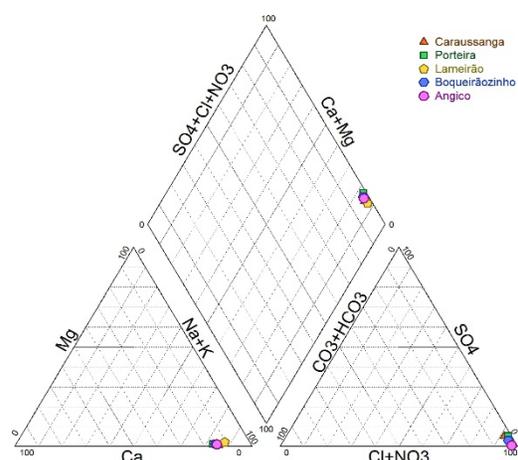


Figura 4. Diagrama de Piper

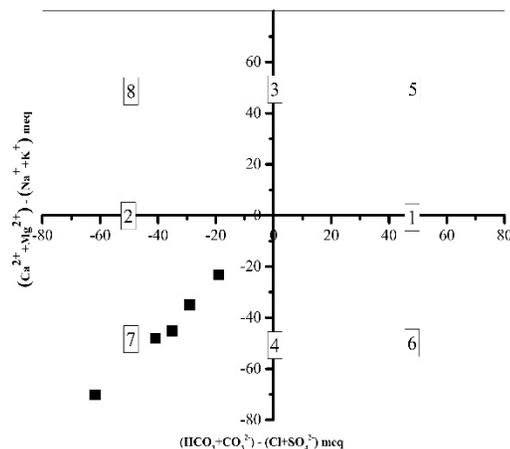


Figura 5. Diagrama de Chadha

Tabela 5. Índices de estabilidade da água dos poços profundos

Poço	ISL	LSK	IRZ	IPK	IA	CAI ₁	CAI ₂
P ₁	-0.36	31.7	6.9	7.2	11.6	-0.0026	-0.0243
P ₂	-0.38	66.8	6.9	6.5	11.5	-0.0083	-0.1061
P ₃	-0.03	44.3	7.2	7.7	11.9	-0.0033	-0.0764
P ₄	-1.07	40.9	5.9	6.7	10.9	-0.0066	-0.0921
P ₅	0.24	41.4	7.9	6.9	12.1	-0.0099	-0.2386

As mostras analisadas indicam um elevado grau de restrição para a agricultura irrigada (Figura 6) representando um risco de salinidade variando entre alto ($2250 < CE < 5000$) e excepcionalmente alto ($5000 < CE < 10000$) e a razão de adsorção de sódio (RAS) das águas dos poços foi classificada como muito forte estando associado ao risco de salinização do solo. Além disso, águas com altas

porcentagens de sódio ou altos valores de RAS tendem a danificar o solo, afetando sua estrutura, diminuindo sua permeabilidade e, conseqüentemente, a infiltração de água, prejudicando, assim, o crescimento e a produtividade de culturas (Reddy, 2013; Salifu *et al.*, 2013).

Os resultados dos índices referentes à irrigação (Tabela 6) indicam que o percentual de sódio dessas águas são de péssima qualidade (%Na > 80). Khan *et al.* (2013) comentam que o excesso de sódio em águas afetam o solo devido a sua capacidade de realizar trocas iônicas com íons já presentes no solo, provocando alterações na sua estrutura, diminuição da infiltração de água e ar, além de ser prejudicial a plantas.

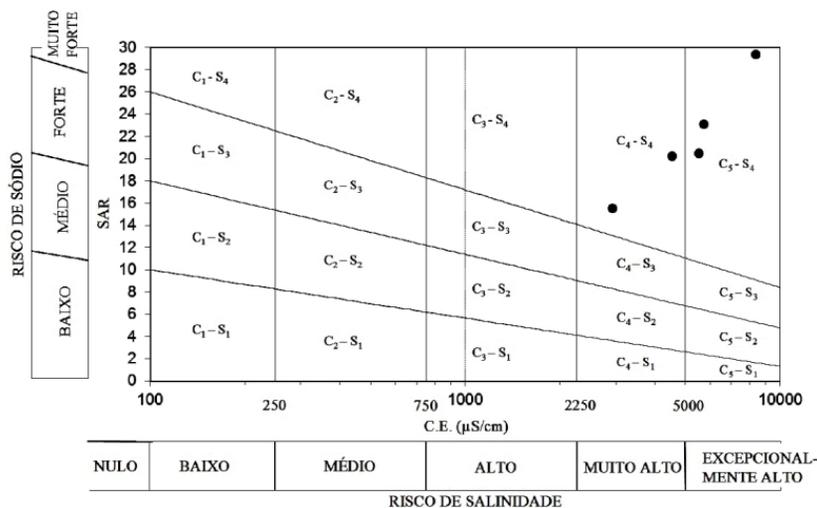


Figura 6. Diagrama USLL para as águas dos cinco poços profundos.

Sobre o índice de permeabilidade, todos os poços possuem águas classificadas como boa (IP>75%) para irrigação. Por fim, o residual de carbonato de sódio foi inferior a 1,25 indicando que as águas são consideradas aceitáveis do ponto de vista de precipitação dos sais de carbonato (CaCO_3 ou MgCO_3) e da conseqüente alcalinização do solo (Alencar, 2019). Quando há um excesso de íons carbonato e/ou bicarbonato ocorre um aumento na concentração de sódio (aumento da RAS) e do pH do solo, causando a redução da infiltração de água no solo, além de dificultar o aporte de nutrientes por parte de cultivos no solo presentes (Reddy, 2013).

Contudo, os resultados conseguidos pelas instituições de pesquisa de países como Emirados Árabes, Paquistão, Índia, Austrália, Holanda, Siri Lanka e até mesmo os Estados Unidos demonstram que o sucesso no uso de água salina, na irrigação, depende de um planejamento cuidadoso, práticas de manejo mais complexas, e procedimentos de controle mais rigorosos

quando comparados ao uso de águas consideradas apropriadas para tal fim (Porto *et al.* 2019). Por fim observa-se que as amostras apresentaram valores de STD superiores a 1000mg/L, teores de cloreto superiores a 250 mg/L e de sódio acima de 200 mg/L. Portanto, com relação aos íons maiores a água bruta desses poços são inadequadas ao consumo humano devido aos elevados teores de sais, necessitando de tecnologias de tratamento visando sua potabilização.

Tabela 6. Índices de Qualidade da Água para Irrigação

Poço	RAS	RCS	%Na+	IP%
P ₁	28.6	-4.2	85.5	88.7
P ₂	28.9	-8.2	82.8	84.5
P ₃	44.4	-8.1	87.3	89.2
P ₄	21.9	-3.7	83.8	87.1
P ₅	32.7	-7.4	84.5	86.6

Considerações finais

As amostras possuem um elevado teor de sais e tendência à corrosão. Portanto, sua potabilização pressupõe o uso de tecnologias de dessalinização. Já os índices para fins agrícolas sugerem que seu uso representa um elevado risco de salinização. Na região em que os poços estão situados não há outra alternativa hídrica, fazendo com que o uso dessas águas subterrâneas esteja condicionado à utilização de técnicas de manejo específicas para águas salobras.

Referências bibliográficas

- Abreu, R. S. de A., Oliveira, R. T., Guimarães, R. F., Parente, R. F., Valente, M. M., Freitas, F. N. C. (2019) Corrosão em tubulações de aço carbono pertencentes ao sistema STU-85 da Base Operacional Geólogo Pedro de Moura (BOGPM) - PETROBRAS / URUCU-AM: estudo de caso. *Matéria* (Rio de Janeiro), **24**(1), 12292. <https://doi.org/10.1590/s1517-707620190001.0629>
- Aguiar, R. B., Santiago, M.M.F., Mendes Filho, J., Frischkorn, H. (2000) A origem dos sais nas águas subterrâneas dos aquíferos costeiros no município de Caucaia-Ceará. *Joint World Congress on Groundwater*, **1**. 1-14.
- Alencar, F. K. M., (2019) *Qualidade de Águas Subterrâneas em Área do Sertão Central do Ceará com base em índices iônicos*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental. Fortaleza.
- Appelo, C.A.J., Postma, D. (2009) *Geochemistry, groundwater and pollution*. 2.ed. 4th corrected reprint. Amsterdam: A.A. Balkema Publisher.
- Brandão, R.L. (1995) Sistema de Informações para Gestão e Administração Territorial da Região Metropolitana de Fortaleza – Projeto SINFOR: Mapa Geológico da Região Metropolitana. Texto Explicativo: CPRM, 34 pp.
- Brasil (1997) *Lei n. 9.433: Política Nacional de Recursos Hídricos*, Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Brasília, Secretaria de Recursos Hídricos, 72 pp.
- Chadha, D. K. (1999) A proposed new diagram for geochemical classification of natural water and interpretation of chemical data. *Hydrogeol J* **7**:431–439.

- Cordeiro, G. G. (2001) *Qualidade de água para fins de irrigação (Conceitos básicos e práticas)* Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido.
- De La Mora-Orozco, C., Flores-Lopez, H., Rubio-Arias, H., Chavezduran, A., Ochoa-Rivero, J. (2017) Developing a Water Quality Index (WQI) for na Irrigation Dam. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **14**(5), 439-440.
- De Mesquita, B. A., Frischkorn, H., Silva, C. M. S. V., Filho, J. M., Santiago, M. M. S. (2016) Qualidade de águas subterrâneas nas dunas e cristalino em Caucaia – CE. *XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas - ABAS*, São Paulo.
- Eaton, A. D., Clesceri, L. S., Rice, E. W., Greenberg, A. B. (eds.) (2005) *Standard methods for examination of water and wastewater*, 21th ed., Washington: American Public Health Association.
- Feitosa, F.A.C., Filho, J.M. (2000) *Hidrogeologia. Conceitos e Aplicações*. Fortaleza: CPRM (Serviço Geológico do Brasil) e LABHID (Laboratório de Hidrogeologia da UFPE), 391 pp.
- Gonçalves, V.G., Giampá, C.E.Q. (Ed.) (2006) *Águas subterrâneas e poços tubulares profundos*. São Paulo: Signus Editora.
- Jalali, M. (2007) Salinization of groundwater in arid and semi-arid zones: an example from Tajarak, western Iran. *Environmental Geology*, **52**(6), 1133-1149.
- Khan, T. A., Adil, A. M. (2013) Synthesis of parameters used to check the suitability of water for irrigation purposes. *International journal of environmental sciences*, **3**(6). 2031-2038.
- Khanoranga., Khalid, S. (2018) Assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Balochistan Province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches. *Journal of geochemical exploration*, **97**, 14 -26
- Narany, T. S., Ramili, M. F, Aris, A. Z., Sulaiman W. N. A, Juahi, H., Fakharian, K. (2014) Identification of the Hydrogeochemical Processes in Groundwater Using Integrated Geochemical Methods and Geostatistical Techniques, in Amol-Babol Plain, Iran. *The Scientific World Journal*, **2014**, Article ID 419058, 15 pp.
- Nielsen, D.M., Nielsen, G.L. (2007) *The essential handbook of ground-water sampling*. CRC Press, Boca Raton, FL, 309 pp.
- Porto, E. R., Hermes, L. C; Ferreira, R. S., Veiga, H. P., Saia, A. (2019) *Agricultura Biossalina: Desafios e Alternativas para o uso de Águas Salobras e Salinas no Semiárido Brasileiro*. p. 39. Embrapa Meio Ambiente.
- Reedy, K. S. K. (2013) Assessment of groundwater quality for irrigation of Bhaskar Rao Kunta watershed, Nalgonda District, India. *International journal of water resources and environmental engineering*, **5**, 418-425.
- Salifu, M., Yidana, S. M., Osae, S., Armah, Y. S. (2013) The influence of the unsaturated zone on the high fluoride contents in groundwater in the Middle Voltaian Aquifers—the Gushegu District, Northern Region of Ghana. *J Hydrogeol Hydrol Eng.*, **2**(2). <https://doi.org/10.4172/2325-9647.1000107>
- Sreedhar, Y., Nagaraju, A. (2017) Groundwater quality around Tummalapalle área, Cuddapah District, Andhra Pradesh, India. *Applied water science*, **7**, 4077-4089.
- Schoeller, H. (1962) *Les Eaux Souterraines. Hydrologie dynamique et chimique. Recherche, exploitation et Évaluation des Ressources*. Paris: Masson & Cie, Éditeurs, 642 pp.
- Weight, W.D., Sonderegger, J.L. (2000) *Manual of applied field Hydrogeology*. New York: McGraw-Hill, 608 pp.
- Wen, X., Wu, Y.; Su, J., Zhang, Y., Liu, F. (2005) Hydrochemical characteristics and salinity of groundwater in the Ejina Basin, Northwestern China. *Environmental geology*, **48**, 665-675.