



INDICADORES DE SALINIDADE EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: UMA ABORDAGEM BASEADA NOS NÍVEIS DE CLORETOS

Viviane S. Viana¹, Erilândia S. da Silva²; Christiane G. S. Gurgel²; Érika A. S. Braga¹; Gisele S. Lopes¹, Paula L. R. de Sousa².

¹ UFC - Universidade Federal do Ceará;

² Nutec - Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará.
vivi-vianaa@hotmail.com

Palavras-Chave: Águas Subterrâneas. Cloretos. Salinidade.

Introdução

A água é um elemento essencial para a manutenção da vida humana, sendo utilizada não apenas para consumo direto, mas também em atividades produtivas como a agricultura, a pecuária e os processos industriais. Apesar de sua importância, os recursos hídricos disponíveis para consumo são limitados. Apenas uma pequena fração, cerca de 2,5% da água existente no planeta, é doce e, portanto, potencialmente potável (Brito *et al.*, 2004). Além da escassez natural, a interferência humana nos ecossistemas hídricos têm dificultado ainda mais o acesso seguro a esse recurso vital.

A hidrogeologia do Ceará é marcada por uma complexa interação entre clima semiárido, geologia cristalina e recursos hídricos subterrâneos. O estado possui predominância de rochas do embasamento cristalino, que dificultam a infiltração e o armazenamento de água, tornando os aquíferos pouco produtivos e de baixa capacidade de recarga. Apesar disso, os aquíferos fissurais e fraturados desempenham papel essencial no abastecimento de comunidades rurais, especialmente em períodos de estiagem prolongada. A escassez de chuvas e a evaporação intensa exigem estratégias de gestão hídrica que valorizem o uso sustentável das águas subterrâneas, complementando os reservatórios superficiais como açudes e barragens (SILVA, 2021).

No Sertão Central, essa realidade se acentua. A região é caracterizada por solos rasos e rochas cristalinas, o que limita a formação de aquíferos profundos e contínuos. Os poços escavados frequentemente apresentam baixa vazão e águas com teores elevados de sais, o que pode comprometer seu uso para consumo humano e agricultura. Ainda assim, iniciativas de mapeamento hidrogeológico e perfuração orientada têm permitido identificar zonas com maior potencial hídrico, favorecendo o desenvolvimento local. A convivência com o semiárido passa, portanto, pelo conhecimento técnico da hidrogeologia regional e pela valorização das águas subterrâneas como recurso estratégico para a resiliência hídrica do Sertão Central cearense (SÁ & SILVA, 2010).

Diante desse cenário, a perfuração de poços para captação de água subterrânea tem se tornado uma alternativa recorrente, especialmente em regiões do Nordeste brasileiro, onde a escassez hídrica é mais acentuada. Embora estejam menos expostas à contaminação direta, as águas subterrâneas são fortemente influenciadas pelas características geológicas do solo em que se encontram. A interação da água com os minerais presentes pode resultar na dissolução ou precipitação de substâncias, alterando sua composição química (FITTS, 2012).



Entre os parâmetros utilizados para avaliar a qualidade dessas águas, destaca-se a concentração de íons cloreto. Esse componente é responsável, em muitos casos, pelo sabor salgado da água, o que pode levar à rejeição por parte da população. Além disso, os níveis de cloretos estão diretamente relacionados à salinidade, cuja classificação é regulamentada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). A partir dessa classificação, é possível determinar em quais condições a água pode ser utilizada de forma segura.

Dessa maneira, o presente trabalho tem como objetivo classificar a salinidade de águas de poços em três municípios do Ceará com base na concentração de cloretos.

Material e Métodos

Para este trabalho foram coletadas amostras de 15 poços em 3 municípios do estado Ceará (cinco por município) durante março-junho de 2020, seguindo o Guia Nacional de Coletas da ANA (2011). Para investigação do teor salino dessas amostras foram analisados os parâmetros condutividade e cloretos, de acordo com a metodologia descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017).

A condutividade elétrica foi medida a 25 °C com condutivímetro, marca Digimed (modelo DM-3P), onde o eletrodo foi imerso em uma alíquota da amostra até estabilização da leitura. O resultado foi expresso em $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$.

A concentração de cloretos foi determinada pelo método argentométrico de Mohr, o qual se baseia na titulação da amostra com solução de Nitrato de Prata 0,0141 N na presença de Cromato de Potássio 5% até atingir o ponto de viragem, onde ocorre mudança de coloração da amostra de amarelo para vermelho-tijolo. A concentração de cloretos foi obtida pela equação a seguir, sendo expressa em $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$:

$$[\text{Cl}^-] = (V - V_b) \times N \times 35450 / A$$

Onde:

V = volume de nitrato de prata (AgNO_3 – 0,0141 N) gasto na titulação da amostra;

V_b = volume de nitrato de prata (AgNO_3 – 0,0141 N) gasto na titulação da água destilada;

N = Normalidade da solução nitrato de prata (AgNO_3 0,0141 N);

A = volume da amostra em mL.

A salinidade foi calculada a partir do teor de cloretos, através da equação a seguir:

$$S(\text{‰}) = (1,80655 \times [\text{Cl}^-]) / 1000$$

As classificações das amostras tiveram como referências as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 396/08 para águas subterrâneas (Brasil, 2008) e nº 357/05 para salinidade (Brasil, 2005).

Resultados e Discussão

As Tabela 1 e 2, a seguir, apresentam, respectivamente, os resultados obtidos para as amostras e a classificação das amostras quanto ao teor de salinidade, tendo como referência a Conama 357/2005.



Tabela 1: Resultados das análises de condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$), Cloretos (mg.L^{-1}) e Salinidade (‰).

Parâmetros	Amostras				
	A1	A2	A3	A4	A5
Condutividade	5077,0 \pm 0,07	5022,1 \pm 0,11	4615,4 \pm 0,07	3538,7 \pm 0,21	1230,9 \pm 0,14
Cloretos	2523,9 \pm 0,01	1582,6 \pm 0,28	901,4 \pm 0,00	2604,0 \pm 0,07	490,9 \pm 0,21
Salinidade	4,56	2,86	1,63	4,70	0,89
Parâmetros	B1	B2	B3	B4	B5
Condutividade	813,9 \pm 0,02	1996,2 \pm 0,01	1006,7 \pm 0,4	2941,0 \pm 0,01	1875,0 \pm 0,05
Cloretos	65,1 \pm 0,02	195,3 \pm 0,04	190,3 \pm 0,06	831,2 \pm 0,01	530,8 \pm 0,01
Salinidade	0,12	0,35	0,34	1,5	0,96
Parâmetros	C1	C2	C3	C4	C5
Condutividade	1656,6 \pm 0,02	1535,5 \pm 0,02	2261,0 \pm 0,02	1121,0 \pm 0,02	2720,0 \pm 0,02
Cloretos	285,4 \pm 0,02	196,3 \pm 0,02	429,6 \pm 0,02	146,2 \pm 0,02	595,9 \pm 0,02
Salinidade	0,52	0,35	0,78	0,26	1,08

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2: Classificação das amostras quanto a salinidade.

Amostras	A1	A2	A3	A4	A5
Classificação	Salobra	Salobra	Salobra	Salobra	Salobra
Amostras	B1	B2	B3	B4	B5
Classificação	Doce	Doce	Doce	Salobra	Salobra
Amostras	C1	C2	C3	C4	C5
Classificação	Doce	Doce	Salobra	Doce	Salobra

Fonte: Autoria própria.

Com base nos dados obtidos no município A, observou-se que todos os cinco poços analisados apresentaram concentrações de cloretos superiores ao limite máximo permitido para consumo humano, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº 396/08 ($\leq 250,0 \text{ mg.L}^{-1}$). O poço A4 registrou o maior valor, com $2.604,0 \text{ mg.L}^{-1}$, enquanto o poço A5 apresentou o menor, com $490,9 \text{ mg.L}^{-1}$. Embora essa resolução não defina um valor específico para condutividade elétrica, a Resolução CONAMA nº 357/05 classifica as águas segundo a salinidade: doces ($\leq 0,5 \text{ ‰}$), salobras ($> 0,5$ e $< 30,0 \text{ ‰}$) e salinas ($\geq 30,0 \text{ ‰}$). De acordo com os dados de salinidade apresentados na Tabela 1, todas as amostras do município A se enquadram como águas salobras.

Diante disso, torna-se essencial avaliar a qualidade da água destinada ao uso da população, especialmente para consumo. Nas localidades analisadas, a água não é apropriada



para ingestão sem tratamento prévio para redução da salinidade. A maioria dos poços está situada em áreas de rochas cristalinas, conforme o mapeamento hidrogeológico da CPRM (1998), que são conhecidas por baixa vazão e elevada salinidade. Estudos realizados por Costa *et al.* (2012) também identificaram concentrações de cloretos acima dos limites legais em poços da região nordeste do estado.

No município B, os poços B4 e B5 apresentaram concentrações de cloretos de 831,2 mg/L e 530,8 mg/L, respectivamente, ultrapassando o limite estabelecido pela CONAMA nº 396/08. Isso indica que essas águas não são adequadas para consumo humano sem tratamento prévio. Com base na salinidade calculada a partir dos cloretos, essas amostras foram classificadas como salobras (1,49 ‰ e 0,96 ‰), enquanto as demais foram consideradas doces, conforme os critérios da CONAMA nº 357/05.

A predominância de estruturas cristalinas no município B contribui para a salinização das águas subterrâneas. No entanto, a presença de sedimentos da Formação Serra Grande oferece uma alternativa mais viável para abastecimento, devido ao melhor potencial hidrogeológico e à qualidade superior da água (Correia Filho *et al.*, 2010).

No município C, três amostras (C1, C3 e C5) apresentaram concentrações de cloretos acima do valor de referência da CONAMA nº 396/08, com valores de 285,4 mg/L, 429,6 mg/L e 595,9 mg/L, respectivamente. Essas águas requerem tratamento antes de serem utilizadas para consumo. As amostras C2 e C4 foram classificadas como águas doces, enquanto as demais foram consideradas salobras, conforme os critérios da CONAMA nº 357/05.

Segundo a CPRM (1998), a maioria dos poços no município C está localizada em áreas de rochas cristalinas, que geralmente apresentam baixa vazão e qualidade insatisfatória da água. Os depósitos aluvionares existentes na região representam uma alternativa mais promissora, com maior vazão e melhor qualidade, embora poucos poços estejam instalados nessas formações. Costa *et al.* (2012) também identificaram altos níveis de salinidade em águas subterrâneas de municípios da região central do Ceará.

Conclusões

Os resultados das análises realizadas evidenciam que a qualidade da água subterrânea no estado do Ceará é fortemente condicionada pela geologia local. No município A, inserido em área de predominância cristalina, todas as amostras apresentaram altos teores de cloretos, sendo classificadas como salobras. Essa salinização está diretamente relacionada à baixa capacidade de armazenamento das rochas cristalinas, que favorecem a concentração de sais nos pequenos volumes de água disponíveis.

Já no município B, embora duas amostras tenham ultrapassado os limites estabelecidos pelas resoluções do CONAMA, as demais apresentaram qualidade satisfatória. Isso se deve à presença de formações sedimentares da Serra Grande e coberturas aluvionares, que contribuem para a ocorrência de águas subterrâneas mais doces e com menor concentração de cloretos.



No município C, a situação é intermediária: três das cinco amostras foram classificadas como salobras, enquanto as demais indicam melhor qualidade. A coexistência de estruturas cristalinas e depósitos aluvionares na região explica essa variação.

De modo geral, observa-se que a maioria das amostras coletadas apresenta níveis elevados de cloretos, o que compromete seu uso direto para consumo humano. Assim, torna-se necessário o emprego de técnicas de tratamento, como troca iônica ou osmose reversa, para garantir a potabilidade da água e a segurança hídrica das populações que dependem desses recursos subterrâneos.

Referências

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS; CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Brasília, DF: ANA; São Paulo: CETESB, 2011. 327 p.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23th ed. Washington: APHA, 2017.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 396**, de 3 de abril de 2008.

BRITO, L. T. L.; ANDRADE, E. P.; CASTRO, A. L. A.; UGAYA, C. M. L.; FIGUEIREDO, M. C. B. Escassez hídrica. In: CASTRO, A. L. A. et al. **Avaliação da escassez hídrica no Brasil: modelos de caracterização e recomendações**. Brasília, DF: Embrapa, 2004.

CORREIA FILHO, W. L.; DANTAS, E. W.; CAVALCANTE, F. S. A.; SOUSA, R. A. Modelo tectônico e hidrogeologia da borda sudeste da Bacia do Parnaíba. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 40, n. 2, p. 267–280, 2010.

COSTA, C. L.; LIMA, R. F.; PAIXÃO, G. C.; PANTOJA, L. D. M. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas em poços do Ceará. **Revista Semina**, v. 33, n. 2, p. 171 – 180, 2012.

CPMR – SERVIÇO GEOLOGICO DO BRASIL, **Diagnóstico dos municípios do Ceará**. Fortaleza 1998, Mapas e publicações – Ceará. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Ceara---Atlas-Digital-dos-Recursos-Hidricos-Subterraneos-588.html>> Acesso em 20 de junho de 2020.

FITTS, C. R. **Groundwater Science**. 2nd ed. Elsevier, 2012.

SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. **Semiárido brasileiro: pesquisa desenvolvimento e inovação**. 402 p. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.