



Avaliação da Qualidade da Água Subterrânea no Semiárido Paraibano no Município de Sumé

Thiago Kauã Raimundo da Silva¹., Camilly Witória Silva Bezerra²., José Oliveira de Assis Souza³., Martinho Aparecido Souza Almeida³., Ilza Maria do Nascimento Brasileiro³

1) Introdução

A avaliação da qualidade da água subterrânea em ambientes semiáridos é determinante para a segurança hídrica, a viabilidade agrícola e a durabilidade das infraestruturas de abastecimento, pois a combinação entre chuvas sazonalmente concentradas, altas taxas de evapotranspiração potencial e aquíferos cristalinos/fraturados tende a produzir águas naturalmente mais mineralizadas e frequentemente duras, com forte variabilidade temporal. No Semiárido do Nordeste do Brasil, e em especial no Cariri paraibano, esse quadro se acentua por conta da recarga episódica e dos longos períodos secos, que favorecem a evapoconcentração de sais e a intensificação das interações água-rocha em sistemas fraturados, elementos há muito discutidos pela hidrogeoquímica clássica e pela hidrologia de águas subterrâneas (HEM, 1985; STUMM; MORGAN, 1996; TODD; MAYS, 2005). Nesse contexto, apresenta-se aqui um resumo expandido, em texto corrido, sobre a qualidade da água do poço de João, com base em amostragem e análise laboratorial de julho de 2025, interpretando-se os resultados à luz de referenciais normativos nacionais e internacionais e da literatura técnico-científica (CONAMA, 2005; BRASIL, 2021; WHO, 2017; APHA; AWWA; WEF, 2017). O objetivo é oferecer um panorama crítico e aplicável sobre aptidão de uso, limitações, alternativas de tratamento e diretrizes de monitoramento, de modo a subsidiar decisões técnicas em escala local.

2) Objetivo Geral e Específicos

Analisar água do poço para fins de irrigação.

2) Metodologia

A amostra do poço de João foi coletada no dia 23/07/2025, após procedimentos de purga até estabilização de parâmetros de campo, acondicionamento e preservação adequados, e analisada em laboratório de referência regional. Entre os parâmetros investigados constam pH, condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD), cloretos (Cl^-) e dureza total expressa como CaCO_3 , indicadores integrados de salinidade, agressividade e potencial de incrustação/corrosão em redes e equipamentos.

4) Resultados e Discussões

Os resultados apresentados no laudo registram pH de 7,62 para a amostra coletada em 23/07/2025, um valor que se alinha à faixa usualmente aceitável para águas doces e denota caráter levemente alcalino; esse dado essencial aparece explicitado na tabela analítica do documento, com menção expressa à data de ensaio, de modo que a interpretação temporal dos resultados é inequívoca. Ainda segundo o laudo, a condutividade elétrica é de $3.383 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, também com data analítica de 23/07/2025, sinalizando elevada concentração de íons dissolvidos; esse comportamento coaduna-se com a expectativa para aquíferos do Semiárido onde a circulação lenta, a evapoconcentração e a dissolução cumulativa elevam a mineralização. O mesmo documento informa STD de $1.708 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, igualmente datado de 23/07/2025, o que confirma um corpo hídrico com massa de sais dissolvidos considerável, capaz de afetar tanto a aceitabilidade sensorial quanto o desempenho de diversos usos. Em relação aos íons específicos, destaca-se a concentração de cloretos, quantificada em $1.200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, valor muito acima de patamares de referência para águas destinadas ao consumo humano, e que, do ponto de vista organoléptico e de corrosividade, impõe grande cautela; também aqui a data analítica é a mesma, conferindo consistência temporal ao conjunto de medições. Finalmente, a dureza total medida foi de $570,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ como CaCO_3 , o que coloca a água na categoria de muito dura, com implicações diretas para incrustações e para a ação de

detergentes e sabões, além de perdas de eficiência térmica em trocadores de calor e aquecedores; a data analítica acompanha as demais entradas da planilha, permitindo uma visão coesa do estado químico do recurso naquele momento de amostragem.

O laudo ainda compara, de forma sintética, os resultados a valores máximos permitidos e a padrões de referência, citando a Resolução CONAMA nº 357/2005, bem como a Portaria nº 2.914/2011 e a Portaria GM/MS nº 888/2021, e explicita a data de emissão do documento (12 de agosto de 2025), o que reforça a validade temporal dos dados e a ancoragem normativa do parecer emitido.

Na seção de análise e considerações, o relatório técnico indica que, embora o pH esteja na faixa aceitável para águas doces, os valores de condutividade acima de $2.000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ sugerem elevada concentração de íons dissolvidos, que pode afetar usos sensíveis; informa também que o STD obtido ($1.708 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) excede em muito a recomendação para água doce de $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; que os cloretos ($1.200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) suplantam amplamente o limite de aceitabilidade de $250 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, com consequências para sabor e corrosão; e que a dureza total de $570,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ indica água bastante dura, gerando tendência a incrustações em equipamentos e tubulações. A conclusão do laudo sintetiza, por fim, que se trata de água de alta mineralização e dureza elevada, com limitações para consumo humano direto, irrigação e processos industriais, e que poderá exigir tratamento específico para remoção de sais e amolecimento, encaminhamento que é coerente com a literatura técnico-normativa de referência. Os resultados obtidos são apresentados a seguir para facilitar a leitura e comparação entre parâmetros (ver Tabela 1).

Tabela 1: Parâmetros físico-químicos da água do Poço de João (amostra de 23/07/2025)

Parâmetro	Resultado	Unidade	Data do ensaio	Observação
pH	7,62	—	23/07/2025	Faixa aceitável para água doce ($\approx 6-9$).



Condutividade elétrica (CE)	3.383	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	23/07/2025	Indica elevada mineralização.
Sólidos totais dissolvidos (STD)	1.708	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	23/07/2025	Muito acima de 500 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.
Cloretos (Cl^{-})	1.200	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	23/07/2025	Sabor salgado; maior corrosividade.
Dureza total (como CaCO_3)	570,5	$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	23/07/2025	Água "muito dura"; risco de incrustações.
<i>Fonte: Laudo técnico JULHO 2025 (UFCEG, 2025).</i>				

Fonte: Laudo técnico JULHO 2025 (UFCEG, 2025).

A interpretação desses resultados à luz das normas e dos textos clássicos confirma que, para consumo humano, ainda que o pH se encontre dentro de limites usuais, a combinação entre condutividade elevada, STD muito acima do recomendado e cloretos sobremodo altos torna a água inadequada para ingestão sem condicionamento prévio. No Brasil, a Portaria GM/MS nº 888/2021 define procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, incluindo parâmetros e valores de referência que, embora não estabeleçam um valor máximo para condutividade, dão ênfase à aceitabilidade sensorial e à segurança sanitária, aspectos diretamente afetados por altas cargas de sais (BRASIL, 2021). A Resolução CONAMA nº 357/2005, por sua vez, estabelece diretrizes de enquadramento de corpos de água e condições e padrões de lançamento de efluentes, e, em seu escopo, afirma intervalos de pH para águas doces que se coadunam com a observação do laudo, mas não afastam a preocupação trazida pela salinidade e pelo teor de cloretos (CONAMA, 2005). As diretrizes internacionais da Organização Mundial da Saúde também reforçam que concentrações elevadas de cloretos, mesmo quando não constituem um risco toxicológico direto aos níveis discutidos, impõem barreiras organolépticas sérias (sabor salgado) e problemas de corrosão, devendo ser evitadas em sistemas de abastecimento sem tratamento específico (WHO, 2017). A literatura de engenharia sanitária e ambiental descreve extensamente os efeitos combinados

de STD elevados e cloretos sobre materiais metálicos e ligas, inclusive aços inoxidáveis suscetíveis a pitting em ambientes com cloretos, recomendando seleção criteriosa de materiais, controle de índices de saturação e, quando aplicável, uso de inibidores (AWWA, 2011; CRITTENDEN et al., 2012). A dureza muito alta, por sua vez, é universalmente reconhecida por causar incrustações (precipitação de carbonato de cálcio e magnésio) em tubulações, resistências elétricas e trocadores de calor, reduzindo a eficiência energética e a vida útil dos equipamentos, e interferindo na ação de detergentes (APHA; AWWA; WEF, 2017; WHO, 2017).

Para irrigação, o parâmetro-chave é a salinidade da água, comumente expressa como EC_w (condutividade elétrica da água de irrigação). Os clássicos guias da FAO correlacionam EC_w com perdas potenciais de produtividade e com a necessidade de manejo dedicado, indicando que valores acima de cerca de 3 dS·m⁻¹ (equivalentes a aproximadamente 3.000 μS·cm⁻¹) tendem a impor restrições severas a culturas sensíveis, exigindo adoção de frações de lixiviação, uso de irrigação localizada (gotejamento) e prioridade para espécies/porta-enxertos mais tolerantes (AYERS; WESTCOT, 1985). A CE do poço de João, na ordem de 3,383 dS·m⁻¹, situa-se justamente no patamar de maior cautela agrônômica, em que o estresse osmótico se agrava, dificultando a absorção de água pelas plantas e elevando o risco de salinização secundária do solo quando a drenagem é limitada. A avaliação geoquímica voltada à sodificação do solo, medida por índices como o SAR (Sodium Adsorption Ratio), não pôde ser realizada com os dados disponíveis porque a presente rodada analítica não inclui as concentrações de sódio, cálcio e magnésio separadamente; nesse sentido, uma avaliação mais completa recomendaria a complementação do painel com esses cátions e com alcalinidade, além de sulfatos e nitratos, parâmetros que ajudam a fechar o balanço iônico e a orientar a gestão de risco de dispersão de argilas e colapso estrutural do solo (RHOADES; KANDIAH; MASHALI, 1992).

A nanofiltração (NF), por sua vez, opera em pressões menores e exibe excelente remoção de dureza (Ca^{2+} e Mg^{2+}), sendo útil para reduzir incrustações, mas usualmente apresenta rejeição inferior para cloretos; pode ser avaliada como alternativa intermediária quando a meta é mais proteger a infraestrutura do que produzir água de alta qualidade para ingestão (CRITTENDEN et al., 2012). Em termos de custo e simplicidade, a troca iônica com resinas catiônicas em ciclo sódio ou hidrogênio é uma medida eficaz de amolecimento, que reduz a dureza total e protege equipamentos térmicos e hidráulicos; quando combinada com membranas, melhora desempenho e reduz consumo de antiescalante, ao mesmo tempo em que amplia o intervalo entre limpezas químicas (CRITTENDEN et al., 2012).

A mistura ou diluição com fontes de melhor qualidade é outro caminho técnico de grande valor prático em zonas rurais do Semiárido. Se houver disponibilidade volumétrica de água de chuva adequadamente captada e armazenada em cisternas, ou de outro poço com CE e cloretos mais baixos, uma estratégia de blending pode reduzir a condutividade da água de alimentação das membranas, diminuindo a pressão requerida e o consumo de antiescalantes, com reflexos positivos no OPEX. Do ponto de vista de engenharia sanitária, é crucial que essa mistura seja operada com monitoramento simples, mas contínuo, de condutividade e pH, e que a cisterna pluvial atenda a boas práticas de proteção higiênica, para que o ganho em salinidade não seja comprometido por riscos microbiológicos (WHO, 2017).

Quanto à especificação de materiais e ao controle de corrosão na rede predial, o conjunto de evidências—cloretos muito elevados e dureza muito alta na água bruta, e permeado potencialmente agressivo após dessalinização—recomenda o uso de plásticos técnicos (PVC, CPVC, PEX) e, quando metálicos, aços inoxidáveis adequados ao ambiente com cloretos, além da avaliação de dosagem de ortofosfatos como inibidores de corrosão em condições compatíveis com a potabilidade e com o regime de operação (AWWA, 2011; CRITTENDEN

et al., 2012). Em muitos sistemas, o ajuste de alcalinidade/pH do permeado é medida indispensável, pois águas muito desmineralizadas podem ter índices de saturação negativos, predispondo à corrosão generalizada se não forem estabilizadas.

No desenho de um programa de monitoramento, propõe-se estabelecer uma cadência trimestral no primeiro ano e semestral a partir do segundo, ajustável conforme a variabilidade observada. O painel mínimo deve incluir pH, CE, STD, cloretos e dureza total, tal como já presente no laudo do poço de João, mas, para uma gestão mais refinada, recomenda-se incorporar sódio, cálcio, magnésio, alcalinidade, sulfatos, nitratos, ferro e manganês, além de indicadores microbiológicos (coliformes totais e *Escherichia coli*) quando o destino incluir água potável. As campanhas devem contemplar amostras da água bruta à saída do poço e, quando existente, da água pós-tratamento, de modo a estimar eficiências e ajustar pontualmente a operação. Para confiabilidade metrológica e rastreabilidade, é conveniente seguir a ABNT NBR ISO 5667-11 para amostragem de águas subterrâneas e a ABNT NBR ISO 5667-3 para preservação e manuseio de amostras, incluindo tempos máximos de estocagem, materiais de frascos e condições de refrigeração (ABNT, 2012; ABNT, 2013). É igualmente útil manter diário de operação do poço (tempo de bombeamento, vazões, níveis estático e dinâmico) e do sistema de tratamento (pressões, vazões, SDI, condutividade do permeado, consumo de antiescalante, datas de CIP), pois a análise dessas séries promove correlações e diagnósticos preventivos.

Do ponto de vista socioeconômico, a escolha entre potabilização no ponto de uso (POU), no ponto de entrada (POE) da residência ou por meio de unidade comunitária centralizada dependerá da demanda, do padrão de consumo, da qualidade e constância do fornecimento elétrico, do CAPEX e OPEX disponíveis e da capacidade de operação e manutenção local. Em cenários de renda limitada e baixo consumo de água para ingestão, unidades POU de OR compacta,

instaladas em cozinhas para produção de água de beber e cozinhar, podem apresentar melhor relação custo-efetividade, desde que acompanhadas por treinamento básico de operação e de higienização, calendário de troca de membranas e cartuchos e, principalmente, por estratégias seguras de manejo do concentrado. Em volumes maiores, como pequenas agroindústrias ou equipamentos públicos, arranjos centralizados com pré-tratamento robusto e OR/NF com operação supervisionada podem ser mais indicados por economia de escala, desde que haja gestão responsável do rejeito e transparência tarifária. O manejo do concentrado deve considerar as restrições ambientais locais, evitando-se o lançamento em solos pouco drenados ou em cursos d'água sensíveis; quando possível, soluções de evapoconcentração controlada, valas impermeabilizadas ou aproveitamentos não potáveis compatíveis podem mitigar o impacto (VOUTCHKOV, 2013; WHO, 2017).

Consolidando todo o exposto, a água do poço de João, tal como amostrada em 23/07/2025, apresenta pH adequado e, simultaneamente, salinidade alta (CE em torno de $3.383 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e STD de $1.708 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), com teores de cloretos extremamente elevados ($1.200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) e dureza total muito alta ($570,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ como CaCO_3), o que a caracteriza como água de alta mineralização e alto potencial de incrustação, sensivelmente limitada para consumo humano direto, para parte expressiva dos usos domésticos e para diversos processos industriais sem condicionamento. Esses resultados, e a conclusão correlata sobre limitações e necessidade de tratamento, constam explicitamente do laudo técnico e de suas análises comparativas com a legislação aplicável, formando o alicerce empírico desta interpretação. A recomendação técnica, portanto, é a adoção de dessalinização por osmose reversa para produção de água de beber e cozinhar, com pré-tratamento e controle de incrustação compatíveis com a matriz iônica e com as condições operacionais locais; a avaliação de nanofiltração e troca iônica como etapas complementares para controle de dureza e proteção de ativos; a seleção

criterosa de materiais de rede e eventual uso de inibidores de corrosão no contexto de permeados estabilizados; e, sempre que viável, a mistura com fontes de melhor qualidade para reduzir o ônus energético e químico do tratamento. Para irrigação, recomenda-se manejo conservador centrado em culturas tolerantes, gotejamento, frações de lixiviação quando a drenagem permitir e monitoramento sistemático da salinidade do solo; a complementação analítica para cálculo de SAR e avaliação de risco de sodificação é desejável. Finalmente, um programa de monitoramento seriado, guiado pelas normas ABNT de amostragem e preservação, permitirá ajustar continuamente a estratégia, em um ciclo de medir, interpretar e corrigir que aumenta a segurança hídrica e a vida útil das infraestruturas, exatamente como sugere a boa prática internacional consolidada (APHA; AWWA; WEF, 2017; WHO, 2017; CRITTENDEN et al., 2012; BAKER, 2012).

5) Referências (formato ABNT)

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 5667-3: Qualidade da água — Amostragem — Parte 3: Preservação e manuseio de amostras. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 5667-11: Qualidade da água — Amostragem — Parte 11: Orientação para amostragem de águas subterrâneas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

APHA; AWWA; WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23. ed. Washington, DC: APHA, 2017.

AWWA – AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. M58 – Internal Corrosion Control in Water Distribution Systems. Denver: AWWA, 2011.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. Water quality for agriculture. Rome: FAO, 1985. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 29 Rev. 1).

BAKER, R. W. Membrane Technology and Applications. 3. ed. Chichester: Wiley, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Brasília, DF: MS, 2021.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília, DF: MMA, 2005.

CRITTENDEN, J. C.; TRUSSELL, R. R.; HAND, D. W.; HOWE, K. J.; TCHOBANOGLIOUS, G. MWH's Water Treatment: Principles and Design. 3. ed. Hoboken: Wiley, 2012.

HEM, J. D. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. 3. ed. Washington, DC: U.S. Geological Survey, 1985. (Water-Supply Paper, 2254).

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance—current assessment. Journal of the Irrigation and Drainage Division (ASCE), v. 103, n. IR2, p. 115–134, 1977.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. The Use of Saline Waters for Crop Production. Rome: FAO, 1992. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 48).

STUMM, W.; MORGAN, J. J. Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters. 3. ed. New York: Wiley, 1996.

TODD, D. K.; MAYS, L. W. Groundwater Hydrology. 3. ed. Hoboken: Wiley, 2005.

UFMG – UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido. Laboratório de Qualidade de Água. Laudo técnico JULHO 2025. Sumé, PB, 12 ago. 2025. (Resultados analíticos do Poço de João; interpretação comparativa e conclusão).

Laudo técnico JULHO 2025

VOUTCHKOV, N. Desalination Engineering: Planning and Design. New York: McGraw-Hill, 2013.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for Drinking-water Quality. 4th ed. incorporating 1st addendum. Geneva: WHO, 2017.