

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DE FONTES ALTERNATIVAS DE ABASTECIMENTO NA CIDADE DE MOSSORÓ-RN

Anderson Mikael de Souza Silva¹

Lucas Matheus Garcia Tôrres²

Filipe da Silva Peixoto³

INTRODUÇÃO

A qualidade das águas naturais é influenciada diretamente por processos orgânicos e inorgânicos que ocorrem no ciclo hidrológico. A água líquida, devido à sua capacidade de dissolver gases e componentes minerais presentes nas rochas e solos, possui uma composição química derivada de várias fontes, incluindo gases e aerossóis atmosféricos, resíduos do intemperismo e erosão, e atividades humanas (Suguió, 2006; Hem, 1985). A natureza qualitativa da água é essencial para múltiplos usos, pois as a classe química da água e mesmo mudanças nas propriedades físicas químicas e biológicas da água podem inviabilizar o uso da água no abastecimento doméstico, agricultura e indústria (Santos, 2008).

No Brasil, a qualidade da água destinada ao consumo humano é regulada pela Portaria de Consolidação nº 5 de 2017, alterada pela Portaria nº 888 de 2021. Esta legislação define critérios rigorosos para assegurar que a água não ofereça riscos à saúde, abrangendo diferentes sistemas de abastecimento, desde redes coletivas até soluções individuais (Ministério da Saúde, 2017). Além disso, o uso de fontes alternativas de abastecimento, como poços, é uma prática comum em áreas onde o abastecimento público, geralmente com características consideradas os tornam inadequado e subnotificados, como destacado pelo relatório da ONU sobre desenvolvimento hídrico (*United Nations World Water Development Report 2022*). Dentre as fontes alternativas de abastecimento, os poços, sejam eles tubulares ou escavados, estão entre as mais comuns. Foster *et al.* (2022), entretanto apontam que essas captações são essenciais para

¹ Mestre em Geografia pelo Programa de Pós-graduação em Geografia - PPGeo/UERN.

² Doutorando em Geografia pelo Programa de Pós-graduação em Geografia - PPGG/UFPB.

³ Professor do Departamento de Geografia da UERN, do Programa de Pós-graduação em Geografia do PPGeo/UERN e do Programa de Pós-graduação em Ciências Naturais – PPGCN/UERN.

prover água para os moradores das cidades, contudo são em geral invisíveis aos processos de gestão.

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar a qualidade da água dos poços utilizados como fontes alternativas, e sua adequação aos usos doméstico, de irrigação e industrial, na zona urbana de Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil. Para isso foi realizada uma caracterização hidroquímica das amostras de água dos aquíferos livres (Aluvião e Jandaíra), destacando seus usos atuais e potenciais compatíveis com a qualidade analisada. A pesquisa justifica-se pela necessidade de dados e informação necessárias ao estudo da adequação do uso à qualidade da água

METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa foi dividida em etapas. Primeiro, foram levantadas as fichas dos poços na área urbana de Mossoró no Sistema de Informação sobre Águas Subterrâneas (SIAGAS/CPRM). Com esses dados, foi elaborado um mapa de distribuição dos poços por bairros, baseado na divisão do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010), e selecionadas as áreas de interesse (Setor 1 e Setor 2).

A seguir, atualizou-se o cadastro de poços nos setores da pesquisa. Durante a visita de campo, foram verificados os poços já cadastrados e identificados novos poços. Após a atualização e construção do cadastro, foram coletadas amostras de água dos poços tubulares e manuais, as amostras foram analisadas no Laboratório de Eletroquímica e Química Analítica da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (LEQA/UERN). Foram estudados 24 parâmetros físico-químicos, descartando-se quatro parâmetros abaixo do limite de detecção. Os 20 parâmetros restantes foram trabalhados, incluindo Ca, Mg, Na, K, Fe, HCO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Cl^- , Br^- , F^- , NO_3^- , NO_2^- , alcalinidade total, dureza total, condutividade elétrica, pH, sólidos totais dissolvidos (STD), salinidade e turbidez.

Os dados foram tabelados, interpretados e cruzados com estatística multivariada no software Andad 2.0. Classificou-se a água quanto aos íons e cátions no software Qualigraf 1.1, comparando os parâmetros aos padrões de potabilidade do Ministério da Saúde, critérios de irrigação de Richards (1954) e usos industriais segundo Ryznar (1944).

No tratamento estatístico foi aplicada a análise de componentes principais (ACP), que revelou associações entre os parâmetros e mecanismos de evolução hidroquímica. A adequação dos dados foi verificada pelos índices KMO e o teste de esfericidade de Bartlett. A análise explicou 82,8% da variância total em três planos fatoriais, que identificaram as relações entre os parâmetros estudados.

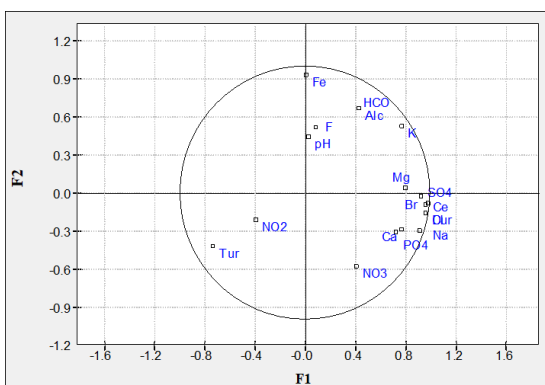
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Similaridades, Hidroquímica e Classificação das Águas

A ACP aplicada foi importante para identificar as associações entre os íons analisados, indicando tendência na evolução hidroquímica, principalmente com relação aos íons maiores, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , SO_4^- , Cl^- e de íons menores Br e PO_4^- que se encontraram agrupados (Figura 1). O K^+ foi, dos íons mais comuns, o único que esteve desagrupado, apesar do K^+ estar mais presente em rochas sedimentares, ele é facilmente incorporado a matriz lamítica ou de sedimentos argilosos (HEM, 1985).

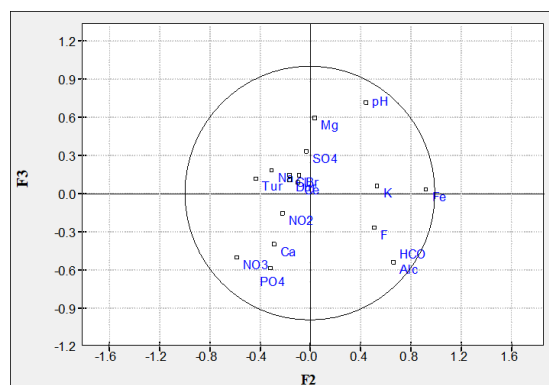
No plano fatorial 2, há associação entre a alcalinidade e o HCO_3^- , a qual pode ser explicada pelo fato de que o carbonato ativo nas análises se dá sobretudo em forma de HCO_3^- , produzindo a capacidade de neutralização de ácidos e determinando os valores de alcalinidade (Hem, 1985). Na relação entre os Planos fatoriais 2 e 3 (Figura 2) se apresentam associação entre NO_3^- e PO_4^- , sendo indicadores de contaminação, evidenciada no poço P32 com concentração acima de 10 mg/L de NO_3^- . Esse poço é o único tubular locado no aluvião, com profundidade de 6 metros, captando, portanto uma vazão em torno de 2 m³/h. Esse poço, ao captar o aquífero aluvionar constata a contaminação por nitrato, o processo de degradação e ocupação da planície fluvial, resultou na necessidade de tricotomização do trecho urbano do rio Apodi-Mossoro, como medida remediadora de inundações, no entanto principalmente os canais construídos foram utilizados como captores de esgotos das moradias ao redor. Com a implantação do sistema de coleta de esgoto no centro e Ilha de Santa Luzia o volume diminuiu, mas ainda sim há fontes de contaminação e aumento da degradação devido a ocupação da planície fluvial (Peixoto, 2018,).

Figura 1 - Relação entre planos fatoriais 1 e 2



Fonte: Autores.

Figura 2 - Relação entre planos fatoriais 2 e 3

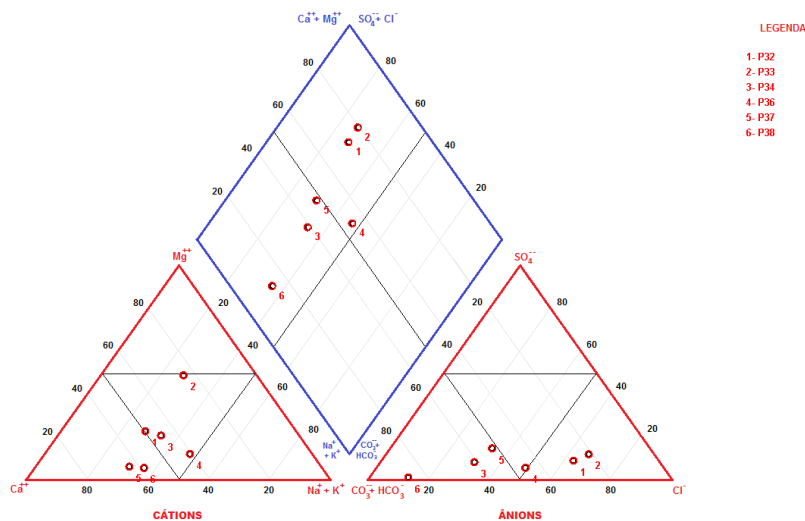


Fonte: Autores.

Pode-se ainda, perceber uma relação inversa desses parâmetros com o pH, indicando o aumento da acidez da água em resultante do processo de nitrificação. Essa condição foi indicada por Peixoto e Cavalcante (2017) ao analisar as influências das fossas sépticas e rudimentares nas concentrações de compostos nitrogenados nas águas subterrâneas na cidade de Fortaleza-CE, e por Tôrres (2023) que analisou na cidade de Apodi-RN o aumento do Nitrato em relação diretamente proporcional às águas com pH ácido, mostrando que esses contaminantes provavelmente possuem os efluentes domésticos como fontes contaminantes das águas.

Conforme a classificação iônica das águas por meio do Diagrama de Piper (Figura 3) as amostras dos poços P32 e P33 que estão localizados geologicamente nos Depósitos Aluvionares do Rio Apodi-Mossoró, foram classificadas como Mistas Cloretadas. O poço P34 também está localizado nos depósitos aluvionares, um pouco mais distante da margem do rio e a montante dos poços P32 e P33, a classificação iônica de sua amostra de água foi Mista Bicarbonatada.

Figura 3 – Classificação iônica das águas segundo o Diagrama de Piper



Fonte: Autores.

Os outros três poços estão localizados no Setor 2 da pesquisa, no bairro Dom Jaime Câmara, numa área de ocorrência da Formação Barreiras. A amostra do poço P36 foi classificada como Mista e as amostras dos poços P37 e P38 foram, ambas, classificadas como Cálcidas Bicarbonatadas. As concentrações de cálcio que resultaram nessa classe, provavelmente evidenciam interação entre o aquífero Jandaíra, pode estar

havendo também interação com sedimentos do Barreirasjá que na área de ocorrência desses poços há níveis freáticos que variam entre 1,5 a 4,0 metros.

Água para o Consumo Humano, agrícola e industrial

Com a crescente demanda de água nos centros urbanos, o uso sustentável dos aquíferos urbanos é uma alternativa, os aquíferos livres localizados nas áreas urbanas podem ser fontes de abastecimento para atividades que não exigem água potável (PAGE et al, 2018).

Todavia, a importância da análise química da água diagnostica a adequação da água, indicando o uso mais adequado frente às concentrações de determinados parâmetros. Quadro 1 reúne os parâmetros analisados nesta pesquisa que apresentam VMP estipulado na Portaria de Consolidação 05/2017 do Ministério da Saúde. Os valores acima dos recomendados estão destacados:

Quadro 1 - Padrão de Potabilidade

Parâmetros	P32	P33	P34	P36	P37	P38	VMP	Unidade
Na	429,70	430,80	181,30	265,40	184,40	194,20	200,00	mg/l
Fe	0,00	0,16	0,63	0,00	0,05	0,00	0,30	mg/l
SO ₄ ²⁻	169,49	202,87	79,66	44,32	54,69	7,56	250,00	mg/l
Cl ⁻	850,55	811,43	209,47	267,80	89,16	47,94	250,00	mg/l
F ⁻	0,78	0,51	1,15	0,45	0,83	0,36	1,50	mg/l
N-NO ₃ ⁻	11,09	1,78	2,02	3,55	6,83	1,64	10,00	mg/l
N-NO ₂ ⁻	0,00	0,00	0,03	0,23	0,02	0,00	1,00	mg/l
Dur. Total	1075,00	948,00	420,00	280,00	410,00	420,00	300,00	mg/l
STD	2797,00	2573,00	1149,00	1161,00	540,00	307,00	500,00	mg/l
Turd.	3,48	3,69	3,48	5,76	13,80	10,35	5,00	Ut

Fonte: Autores, 2022.

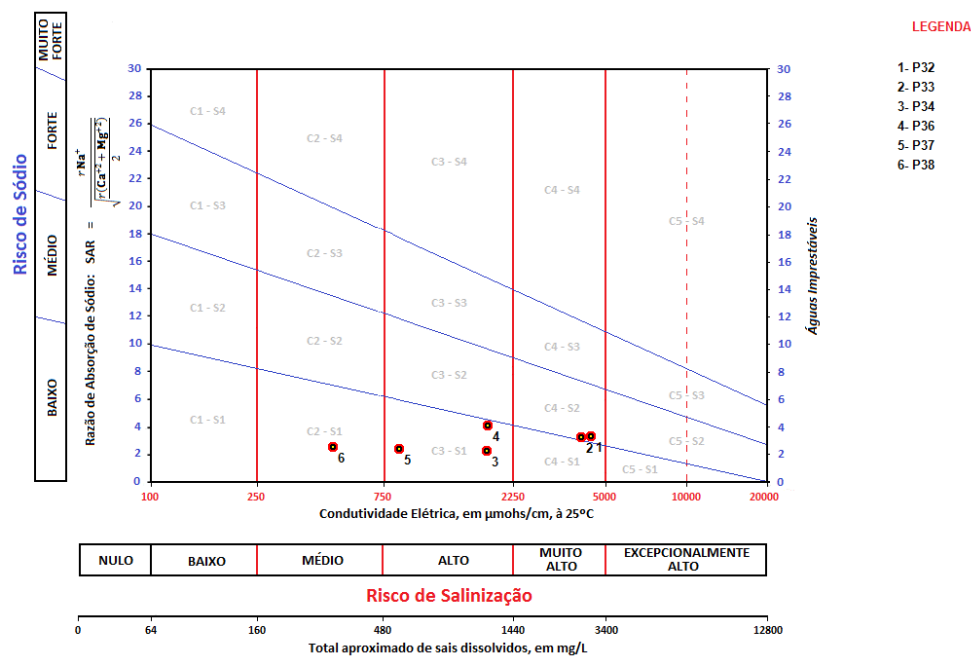
O quadro evidencia que nenhuma das amostras atende todos os requisitos determinados pela portaria que rege os parâmetros de água para consumo humano. Dessa forma, essas águas necessitam passar por tratamentos específicos para poderem ser utilizadas para este fim. Marcon, Martins e Stein (2015) analisando amostras de água do Aquífero Jandaíra em comunidades rurais do RN chegaram à conclusão que consumir água desse aquífero sem um tratamento adequado pode apresentar riscos à saúde pública.

Quando se trata de qualidade da água para irrigação, a classificação é determinada pela concentração de alguns parâmetros como o Na²⁺, Cl⁻, K⁺, SO₄⁻, HCO⁻, Br⁻, STD e a concentração total de cátions que influenciam nos crescimentos das plantas. Além, das características físico-químicas das águas, também deve-se levar em consideração as

características da espécie vegetal que será cultivada (tolerância à salinidade e ciclo de vida) e do solo, tais como permeabilidade, porosidade, composição mineral e textura (SANTOS, 2008).

Uma das classificações mais utilizadas atualmente para averiguar a qualidade da água para agricultura é utilizada pela *United States Salinity Laboratory* — *USSL*, tendo sido proposta por Richards (1964). Essa classificação baseia-se na Razão de Adsorção de Sódio (RAS), como indicador do perigo de alcalinização ou sodificação do solo, e na condutividade elétrica da água (CE), como indicador do perigo de salinização do solo (SANTOS, 2008). O resultado da aplicação desse método para as amostras de água trabalhadas nessa pesquisa está disposto na figura 4.

Figura 4 - Classificação das águas para irrigação segundo o USSL



Fonte: Autores, 2022.

As amostras P32 e P33 foram classificadas como C4-S2, apresentam muito alto risco de salinidade e médio risco de sodicidade. No geral, não são adequadas para irrigação, com exceção em solos bem arenosos permeáveis e com culturas de alta tolerância à salinidade. As amostras P34, P36 e P37 estão na classe C3-S1, com alto risco de salinização e baixo risco de absorção de sódio, por apresentarem alta salinidade também não são indicadas para irrigação, excepcionalmente em solos bem drenados e para plantas de alta tolerância à salinidade. A amostra P38 foi classificada como C2-S1, com baixo risco de absorção de sódio e médio risco de salinização, pode ser usada para

cultivar quase todos os vegetais com baixa tolerância a salinidade de preferência em solos silto-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo.

Devido a grande variedade de atividades industriais existem vários padrões de águas que podem ser utilizadas na indústria a depender da atividade específica. Uma das características mais importantes para uso industrial é a capacidade de ataque químico e de precipitações químicas a partir das águas, nos materiais. Ou seja, se elas têm tendência a corrosão, neutralidade ou inscrustabilidade. Essas características estão ligadas diretamente aos parâmetros de dureza e pH (SANTOS, 2008). Uma forma de analisar o índice de estabilidade de carbonato de cálcio (CaCO_3) (IE) das águas naturais foi formulado por Riznar (1944). Langelier (1936) apud Szikszay (1993) desenvolveu um meio de analisar o índice de saturação do carbonato de cálcio (CaCO_3) (I). Ambos os índices são acompanhados de valores que indicam a capacidade de ataque e incrustação química das águas.

Conforme os resultados de (I) todas as amostras apresentaram tendência a incrustação. Para o IE o resultado é muito semelhante, as amostras P33, P34, P37 e P38 foram classificadas como moderadamente incrustantes, a amostra P32 pouco incrustante ou agressiva e a amostra P32 foi classificada como muito incrustante. Essa tendência de incrustação está relacionada diretamente com a dureza total das águas, que foram classificadas como muito duras conforme a classificação de Custodio e Llamas (1983).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da qualidade das amostra de água dos poços apontaram os parâmetros de STD, Dureza, Cl^- e Na^+ como os principais limitantes para determinados tipos de usos. As águas rasas do aquífero aluvionar e do aquífero Jandaíra se mostraram impróprias para o consumo humano, com indícios de contaminação por N-NO_3^- , sem um tratamento adequado essas águas não podem ser destinadas para abastecimento humano.

. No geral as águas não apresentaram alto risco de salinização para os solos, necessitando de precauções em seus usos, sendo adequadas para solos bem drenados e arenosos para espécies que apresentem boa tolerância à salinidade. Quanto ao uso na indústria as águas apresentaram tendência para incrustações por serem muito duras, necessitando assim, de algum tratamento para serem aplicadas nessa atividade, processo esse que encarece seu uso.

Com a grande abrangência do SAA a maioria das residências e estabelecimentos comerciais possuem ligação com a rede de abastecimento. Os poços cadastrados nessa pesquisa são basicamente obras de captação que foram utilizadas individualmente ou de forma comunitária, antes da chegada do SAA e que resistiram ao tempo sendo mantidas por seus proprietários, comunidade ou usuários para o uso secundário/emergencial.

Palavras-chave: Usos da água; Hidroquímica; Análise de Componentes Principais.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. **Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde**. Ministério da Saúde.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrología subterránea**. 2. ed. Barcelona: Omega, 1983. 2 v.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; EICHHOLZ, M. ALAM, M. Urban Self-Supply from Groundwater-An Analysis of Management Aspects and Policy Needs. **Water** **2022**, v.14, n. 575. <https://doi.org/10.3390/w14040575>

HEM, J. D. **Estudo e interpretação das características químicas da água natural**. Departamento do Interior, Serviço Geológico dos EUA, 1985.

MARCON, A. E.; MARTINS, C. A.; STEIN, P. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUIFERO JANDAÍRA EM SUBSÍDIO AO PROGRAMA ÁGUA DOCE NO RIO GRANDE DO NORTE (PAD/RN). **Águas Subterrâneas**, [S. l.], 2015. Disponível em:

<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28357>. Acesso em: 12 de julho 2022

PAGE, D. et al. Managed aquifer recharge (MAR) in sustainable urban water management. **Water**, v. 10, n. 3, p. 239, 2018.

PEIXOTO, F. S.; FELIX NETO, J. M. ; GOMES, I. N. ; DIAS, G. H. . Índice de saneamento ambiental na área urbana do Município de Mossoró-RN. **REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA FÍSICA**, v. 11, p. 2130-2139, 2018

PEIXOTO, F. S., CAVALCANTE, I. N., SILVEIRA, R. N. M. C. e BESERRA, F. R. S.. O Sistema de Informação Geográfica (SIG) aplicado ao Abastecimento Hídrico e Esgotamento Sanitário. **Revista do Departamento de Geografia**, Volume Especial (1), 20-28

RICHARDS, L. A. (1954). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory. (USDA: Agriculture Handbook,60)

RYZNAR, J. W. A new index for determining amount of calcium carbonate scale formed by a water. **Journal-American Water Works Association**, v. 36, n. 4, p. 472-483, 1944

SANTOS, A. C. Noções de Hidroquímica. *In*: FEITOSA, F. A. C. *et al* (org.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. CPRM, 2008.

SUGUIO, K. **Água**. São Paulo: Holos, 2006.

SZIKSZAY, M. Geoquímica das águas. **Boletim IG-USP. Série Didática**, n. 5, p. 1-166, 1993.

TÔRRES, L. M. G.. **Escassez e contaminação: desafios para conservação das águas subterrâneas em pequenas cidades no semiárido brasileiro**. Dissertação de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais – PPGCN. Mossoró, 2023

United Nations, **The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the invisible visible**. UNESCO, Paris, 2022.