DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/82

Diagnóstico Geoquímico e Vulnerabilidade Hidrogeotécnica das Águas Subterrâneas em Boa Viagem, Recife-PE.

Raiza Silva Bezerra
Mestre em Engenharia Civil, UFPE, Recife, Pernambuco, rbraizabezerra@gmail.com

Eduardo Antonio Maia Lins
Professor Adjunto, IFPE, Recife, Brasil, eduardomaialins@gmail.com

Ana Gabriella dos Santos Batista de Menezes
Pós doc- PPGEC, UFPE, Recife, Brasil, gabriella.batista@ufpe.br

Lília Albuquerque da Silva
Doutoranda, UNESP, Rio claro, Brasil, lilia.albuquerque@unesp.br

José Fernando Thomé Jucá
Professor Titular, UFPE, Recife, Brasil, jftjucah@gmail.com

RESUMO: Este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade e a vulnerabilidade das águas subterrâneas do bairro de Boa Viagem, Recife-PE, sob a perspectiva da geotecnia ambiental, com ênfase nos processos de mobilidade do ferro e salinização por cloretos em aquíferos rasos urbanos. A metodologia baseou-se na análise de dados físico-químicos de poços cadastrados, aplicando filtros espaciais, temporais e de profundidade para garantir homogeneidade hidroestratigráfica, além de interpretação estatística e geoquímica dos parâmetros pH, potencial redox, condutividade elétrica, ferro total, cloreto e sódio. Foram investigados os mecanismos de oxirredução, dissolução mineral e possível intrusão marinha, relacionando os resultados às condições de uso e ocupação do solo e à sobreexploração do aquífero. Observou-se a ocorrência pontual de concentrações de ferro acima dos limites de potabilidade, associadas a ambientes redutores e baixa oxigenação, que favorecem a forma ferrosa mais solúvel e móvel. Também foram identificados teores elevados de cloreto e aumento da condutividade elétrica em setores próximos à costa, indicando mistura entre água doce e marinha e tendência de salinização. A integração entre análise espacial, hidrogeológica e geoquímica permitiu mapear áreas de maior vulnerabilidade e compreender a influência de fatores antrópicos na degradação da qualidade hídrica. Conclui-se que o aquífero apresenta suscetibilidade média a alta à contaminação, demandando monitoramento sistemático e medidas preventivas de gestão para assegurar a proteção e o uso sustentável dos recursos subterrâneos.

PALAVRAS-CHAVE: Águas subterrâneas; Geoquímica; Ferro; Salinização; Geotecnia ambiental..

ABSTRACT: This study aimed to assess the quality and vulnerability of groundwater in the Boa Viagem neighborhood, Recife, Brazil, from an environmental geotechnical perspective, focusing on iron mobility and chloride-related salinization in shallow urban aquifers. Physicochemical data from registered wells were analyzed using spatial, temporal, and depth consistency criteria to ensure hydrostratigraphic comparability. Parameters including pH, redox potential, electrical conductivity, total iron, chloride, and sodium were evaluated through statistical and geochemical interpretation. The investigation addressed oxidation–reduction processes, mineral dissolution, and potential seawater intrusion associated with intense urbanization and groundwater overexploitation. Results indicated localized iron concentrations exceeding drinking water standards, linked to reducing environments that favor soluble ferrous species. In contrast, oxidizing conditions promoted ferric forms with lower mobility. Elevated chloride levels and increased electrical conductivity were detected near the coastline, suggesting mixing between freshwater and saline water and early salinization. The integrated spatial and hydrogeochemical approach enabled the identification of critical zones and the influence of anthropogenic pressures on groundwater degradation. Overall, the aquifer showed moderate to high vulnerability, emphasizing the need for systematic monitoring and preventive management to ensure sustainable groundwater use in densely urbanized coastal areas.

KEYWORDS: Groundwater; Geochemistry; Iron; Salinization; Environmental geotechnics.

1. INTRODUÇÃO

A explotação de águas subterrâneas em zonas costeiras urbanizadas constitui importante alternativa de abastecimento hídrico, porém está frequentemente associada à degradação hidroquímica dos aquíferos, sobretudo em contextos de superexploração e elevada densidade urbana. Na planície costeira do Recife, os aquíferos rasos vêm sendo intensamente utilizados há décadas, o que tem resultado em alterações sistemáticas na qualidade da água, com registros de aumento da condutividade elétrica, elevação de cloretos e evidências de intrusão salina em diversos setores da Região Metropolitana (Montenegro *et al.* 2009).

Estudos hidrogeoquímicos específicos para a área de Recife demonstram que a salinização das águas subterrâneas decorre principalmente da mistura entre água doce continental e água de origem marinha ou estuarina, processo favorecido pela redução do nível potenciométrico causada pelo bombeamento contínuo. Cary *et al.* (2015), utilizando abordagem multi-isotópica (δ^2H, $\delta^{18}O$, ^{34}S, $^{87}Sr/^{86}Sr$), confirmaram que a composição química das águas subterrâneas urbanas do Recife reflete a contribuição simultânea de intrusão marinha, dissolução de sais e influência antrópica, evidenciando a complexidade dos processos de salinização em aquíferos costeiros.

No caso específico do Aquífero Boa Viagem, Costa Sobrinho *et al.* (2015) aplicaram o índice GALDIT para avaliar a vulnerabilidade à intrusão salina, identificando áreas classificadas como de média a alta suscetibilidade, especialmente em setores próximos à linha de costa e com intensa explotação de poços. Esses autores ressaltam que características como baixa profundidade do aquífero, elevada condutividade hidráulica e intensa captação aumentam significativamente o risco de avanço da cunha salina.

Além disso, Bernardino (2014) demonstrou que a dinâmica de recarga natural na planície do Recife é limitada pela impermeabilização urbana e pela ocupação antrópica, reduzindo a capacidade de diluição dos sais e favorecendo a concentração de íons dissolvidos. Resultados técnicos apresentados por Paiva *et al*. (2023) também registram a ocorrência de poços com tendência à salinização progressiva, associada à alteração do balanço hidráulico e à conectividade com águas salobras costeiras.

Embora a intrusão salina seja o principal processo de degradação regionalmente documentado, a alteração das condições geoquímicas do meio subterrâneo também pode influenciar a mobilidade de constituintes naturais, como o ferro, cuja solubilidade é controlada por reações de oxirredução e interação água–sedimento. Dessa forma, a análise integrada entre parâmetros hidroquímicos, condições hidráulicas e características geológicas torna-se fundamental para o diagnóstico da qualidade das águas subterrâneas em ambientes costeiros urbanos.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a qualidade hidrogeoquímica das águas subterrâneas do bairro de Boa Viagem, com ênfase na distribuição espacial de ferro e cloreto, buscando identificar indícios de salinização, vulnerabilidade do aquífero e áreas críticas de risco ambiental, contribuindo para o planejamento e a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos na planície costeira do Recife.

2. METODOLOGIA

2.1 Delineamento metodológico e abordagem do estudo

O presente estudo adotou abordagem quantitativa, de caráter descritivo-analítico, combinando técnicas de análise espacial, avaliação hidroquímica e interpretação hidrogeológica para diagnóstico da qualidade das águas subterrâneas no bairro de Boa Viagem, Recife-PE. A estratégia metodológica foi fundamentada em procedimentos consolidados em investigações de salinização de aquíferos costeiros, conforme empregado Cary *et al.* (2015) na identificação de fontes de sais por meio de indicadores hidrogeoquímicos e por Costa; Sobrinho *et al.* (2015) na avaliação da vulnerabilidade à intrusão marinha. O método integrou informações físicas, químicas e espaciais com o objetivo de reconhecer padrões de distribuição de contaminantes, inferir processos geoquímicos dominantes e classificar setores mais suscetíveis à degradação da qualidade hídrica.

2.2 Área de estudo e contexto hidrogeológico

A área de estudo compreende o bairro de Boa Viagem, localizado na zona sul do município do Recife, inserido na planície costeira da Região Metropolitana do Recife. Do ponto de vista hidrogeológico, o setor é caracterizado por aquíferos livres e semiconfinados desenvolvidos em sedimentos arenosos quaternários de elevada permeabilidade, com nível freático raso e forte interação com sistemas estuarinos e marinhos adjacentes. Estudos regionais indicam que essas condições favorecem elevada conectividade hidráulica e maior sensibilidade a alterações no regime de bombeamento, resultando em suscetibilidade à intrusão salina e aumento da mineralização das águas subterrâneas (Montenegro *et al.* 2009; Bernardino, 2014). A intensa impermeabilização superficial decorrente da urbanização reduz a recarga direta e contribui para a modificação do balanço hídrico local, potencializando processos de concentração de sais dissolvidos.

2.3 Base de dados, critérios de seleção e consistência amostral

A base de dados utilizada foi composta por registros de poços tubulares cadastrados em sistemas institucionais de monitoramento e relatórios técnicos regionais, contendo informações de localização geográfica, profundidade, datas de amostragem e parâmetros físico-químicos da água. Para garantir homogeneidade hidroestratigráfica, foram selecionados apenas poços com profundidade máxima de 60 m, representativos do aquífero freático, conforme critérios empregados por Bernardino (2014) para caracterização do sistema costeiro do Recife. Também foi aplicado filtro temporal, mantendo-se análises realizadas em período recente e com intervalo máximo de doze meses entre coletas, reduzindo interferências sazonais e assegurando comparabilidade entre os dados. Registros incompletos, valores inconsistentes ou amostras isoladas sem repetição espacial foram excluídos, visando aumentar a robustez estatística do conjunto amostral.

2.4 Caracterização hidroquímica e indicadores de qualidade

A avaliação hidroquímica concentrou-se nos parâmetros pH, condutividade elétrica, ferro total, cloreto e sódio, selecionados por sua relevância como indicadores de processos geoquímicos e de salinização costeira. O cloreto foi empregado como traçador conservativo de intrusão marinha, por apresentar baixa reatividade química e comportamento essencialmente advectivo, característica amplamente discutida em estudos regionais e confirmada por Cary *et al.* (2015). A condutividade elétrica foi utilizada como medida indireta do teor total de sólidos dissolvidos, refletindo o grau de mineralização da água. O ferro total foi analisado como elemento sensível às condições redox do aquífero, permitindo inferir ambientes oxidantes ou redutores associados à mobilização geoquímica natural. Para cada variável foram calculadas estatísticas descritivas, incluindo médias, desvios padrão e valores extremos, e os resultados foram comparados com os padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação brasileira vigente.

2.5 Análise integrada e interpretação hidrogeoquímica

Os dados obtidos foram analisados de forma integrada por meio de correlações bivariadas, gráficos comparativos e interpretação conjunta dos parâmetros químicos e espaciais. A associação entre elevação de cloretos, aumento de condutividade elétrica e proximidade da costa foi interpretada como indicativa de salinização progressiva, conforme padrões descritos para a planície do Recife por Montenegro *et al.* (2009). Paralelamente, a ocorrência de ferro elevado foi analisada à luz de possíveis condições redutoras locais, relacionadas à presença de matéria orgânica e à dinâmica geoquímica do meio poroso. A interpretação final considerou o contexto hidrogeológico regional, a intensidade de bombeamento e as limitações de recarga natural descritas por Bernardino (2014) permitindo classificar setores quanto ao grau relativo de vulnerabilidade.

2.7. Tratamento Estatístico dos Dados

A análise estatística descritiva dos parâmetros hidroquímicos foi realizada com o objetivo de caracterizar a tendência central, a dispersão e a incerteza associada às concentrações observadas nos poços monitorados. Considerando que o conjunto amostral foi composto por apenas nove poços ($n = 9$), adotou-se procedimento estatístico específico para amostras pequenas, empregando a distribuição t de Student em substituição à aproximação normal (z), recomendada apenas para grandes amostras ($n \geq 30$).

Para o cálculo dos intervalos de confiança de 95% (IC95%), utilizaram-se graus de liberdade iguais a gl = n − 1, resultando em gl = 8. O valor crítico da distribuição t para nível de significância de 5% (bicaudal) foi $t_{0,975,8}$ = 2,306. O intervalo de confiança foi estimado conforme a seguinte expressão:

$$IC95\% = \bar{x} \pm t \cdot (DP / \sqrt{n}) \quad (1)$$

em que $\bar{x}$ representa a média amostral, DP o desvio-padrão e n o número de observações. Esse procedimento fornece estimativas mais conservadoras e estatisticamente robustas da variabilidade dos dados, ampliando os limites de incerteza quando comparado ao método normal, sendo mais apropriado para bases amostrais reduzidas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados espaciais e hidroquímicos foram integrados para identificação de áreas críticas e delimitação de zonas com maior suscetibilidade à degradação da qualidade da água subterrânea. Essa síntese metodológica possibilitou reconhecer padrões de salinização e alterações geoquímicas associadas ao uso urbano do território, fornecendo subsídios técnicos para o monitoramento sistemático e para estratégias de gestão preventiva do aquífero costeiro. A adoção de abordagem interdisciplinar, articulando ferramentas de geoprocessamento, análise estatística e interpretação hidrogeológica, mostrou-se adequada para o diagnóstico ambiental de sistemas freáticos urbanos complexos como o de Boa Viagem.

A distribuição espacial dos poços, organizada por agrupamentos geográficos, é apresentada na Figura 1, permitindo visualizar a formação de clusters com características hidrogeológicas semelhantes. Essa setorização serviu de base para a análise comparativa por grupos espaciais, reduzindo interferências locais e possibilitando interpretação regional dos padrões hidroquímicos.

A caracterização hidroquímica foi realizada com base em nove poços com dados completos de localização e parâmetros físico-químicos. A estatística descritiva, conforme Tabela 1, indicou condutividade elétrica média de 762 µS/cm (DP = 486 µS/cm; IC95%: 388–1.137 µS/cm), variando entre 146,9 e 1.690 µS/cm, o que evidencia águas desde fracamente mineralizadas até condições salobras pontuais. O cloreto apresentou média de 150 mg/L (DP = 171 mg/L; IC95%: 19–282 mg/L), com valores máximos de 517,7 mg/L, enquanto o ferro dissolvido registrou média de 0,80 mg/L (DP = 0,80 mg/L; IC95%: 0,18–1,42 mg/L), atingindo 2,0 mg/L em alguns poços. Observa-se que aproximadamente um terço das amostras excede o limite de 0,30 mg/L estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/2021, indicando restrições à potabilidade.

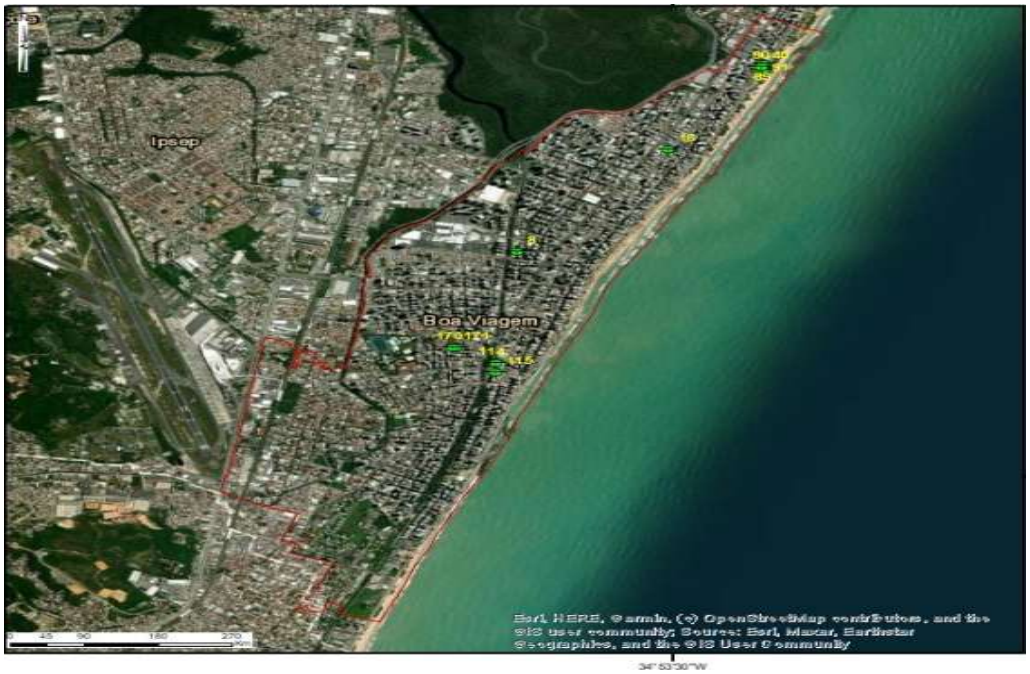


Figura 1. Distribuição espacial dos poços. Fonte: Adaptado do Google Earth (2026).

Tabela 1 – Estatísticas descritivas completas dos parâmetros hidroquímicos (n = 9 poços)

Parâmetro	Unidade	Média	DP	IC95%	Q1	Mediana	Q3	Mín	Máx
Condutividade elétrica	µS/cm	762	486	388 – 1.137	388	735	1.032	146,9	1.690
Cloreto (Cl^-)	mg/L	150	171	19 – 282	51,5	81,0	184,0	0,0	517,7
Ferro dissolvido (Fe)	mg/L	0,80	0,80	0,18 – 1,42	0,00	1,02	1,28	0,00	2,00

Legenda: DP = desvio padrão; IC95% calculado pela distribuição t de Student (gl = 8); Q1–Q3 = quartis.

3.1. Relação entre condutividade elétrica e cloreto

A análise da correlação entre condutividade elétrica (CE) e concentração de cloreto revelou comportamento linear positivo forte, conforme apresentado na Figura 2. O coeficiente de correlação de Pearson foi elevado (r = 0,867), com coeficiente de determinação $R^2 = 0,751$, indicando que aproximadamente 75% da variabilidade observada na condutividade pode ser explicada exclusivamente pela variação das concentrações de cloreto. O valor de p (0,0116) confirma significância estatística da relação, mesmo considerando o número reduzido de amostras (n = 7).

Esse resultado demonstra que o cloreto constitui o principal íon controlador da mineralização total do sistema aquífero. Do ponto de vista hidrogeoquímico, tal comportamento é esperado, uma vez que o cloreto é reconhecido como íon conservativo, apresentando baixa reatividade química, pouca participação em processos de adsorção e ausência de precipitação significativa em condições naturais. Assim, sua concentração reflete predominantemente processos físicos de mistura e aporte salino externo (FREEZE; CHERRY, 1979; APPELO; POSTMA, 2005). Em aquíferos costeiros, correlações elevadas entre CE e Cl^- são frequentemente associadas à intrusão marinha, deposição de aerossóis salinos e evapoconcentração, fenômenos que promovem aumento direto da salinidade da água subterrânea (HEM, 1985).

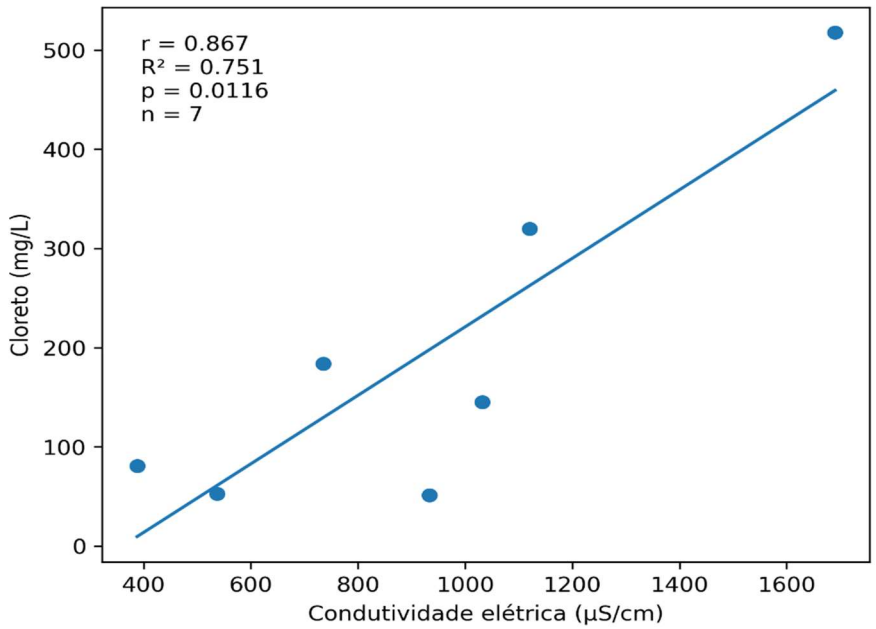


Figura 2 – Correlação entre condutividade elétrica e cloreto.

Na Região Metropolitana do Recife, a salinização por intrusão marinha e/ou por conectividade com canais, estuários e fontes salinas urbanas tem sido descrita como um processo recorrente associado à intensa explotação e ao rebaixamento piezométrico, com incremento de condutividade e cloreto em áreas mais vulneráveis (COELHO *et al.* 2018). Nesse sentido, o padrão CE×Cl^- nos seus dados é plenamente compatível

com o modelo hidrogeoquímico regional: o aumento de CE acompanha diretamente o aumento de Cl^-, sugerindo mineralização controlada por mistura com água salina (BERTRAND et al., 2022).

3.2 Relação entre sódio e cloreto

A dispersão entre sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-), apresentada na Figura 3, evidenciou tendência linear crescente, indicando proporcionalidade entre esses íons. Essa associação é característica de águas cuja mineralização é controlada pela dissolução ou mistura de halita (NaCl), liberando ambos os íons em proporções estequiométricas semelhantes.

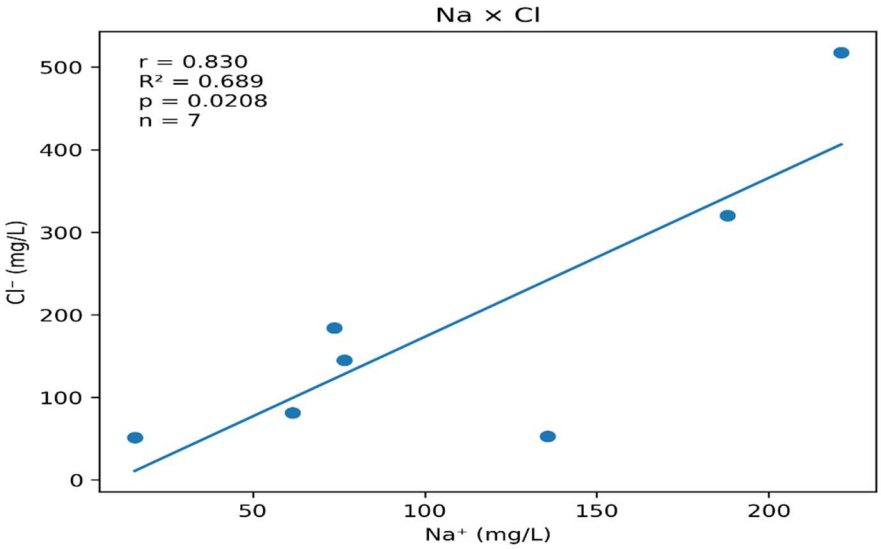


Figura 3 – Correlação entre sódio e cloreto.

Segundo Drever (1997) e Stumm; Morgan (1996), a correlação positiva entre Na^+ e Cl^- constitui indicador robusto de águas pertencentes à facies sódica-cloretada, comumente associada à influência marinha ou a sais evaporíticos. Esse padrão sugere que a composição iônica do aquífero não é dominada por reações de intemperismo silicatado ou carbonático, mas por processos de mistura com águas salinas ou por aporte de sais de origem oceânica. Em ambientes costeiros tropicais, esse comportamento é amplamente descrito como evidência de intrusão marinha ou recarga com aerossóis marinhos transportados pelo vento (APPELO; POSTMA, 2005). Portanto, a forte associação observada reforça o diagnóstico de que a salinidade do sistema possui origem predominantemente externa, vinculada à proximidade do ambiente marinho.

Em sistemas costeiros urbanos, como Recife, a literatura aponta que a intrusão salina pode ocorrer de forma localizada no aquífero raso e/ou em contatos hidrodinâmicos complexos entre unidades aquíferas (multi-layer aquifer system), amplificados por bombeamento contínuo e variabilidade climática (COELHO *et al.* 2018). O estudo de CARY et al. (2015), com abordagem multi-isotópica, descreve explicitamente intrusão marinha atual em porções superficiais associadas ao sistema costeiro urbano, o que é coerente com uma assinatura Na–Cl refletida por relações lineares Na×Cl.

3.3 Relação entre sólidos totais dissolvidos e condutividade

A relação entre sólidos totais dissolvidos (STD) e condutividade elétrica, ilustrada na Figura 3, apresentou correlação linear positiva consistente, demonstrando proporcionalidade direta entre ambas as variáveis. Esse comportamento confirma que a condutividade elétrica reflete adequadamente a carga iônica total da água, sendo um bom estimador indireto da mineralização.

A relação entre sólidos totais dissolvidos (STD) e condutividade elétrica apresentada na Figura 4 é uma validação operacional importante: quando a dispersão é baixa e o padrão é aproximadamente linear, reforça-se que a CE está efetivamente respondendo ao conteúdo iônico dissolvido (e não predominantemente a interferências analíticas, coloides ou matéria orgânica). Estudos aplicados em Recife demonstram que o

monitoramento espaço-temporal de CE é um instrumento sensível para detectar avanço/recuo da cunha salina e apoiar estratégias de gestão (COELHO *et al.* 2018), e o seu gráfico STD×CE vai na mesma direção ao mostrar coerência entre "proxy rápido" (CE) e carga dissolvida (STD).

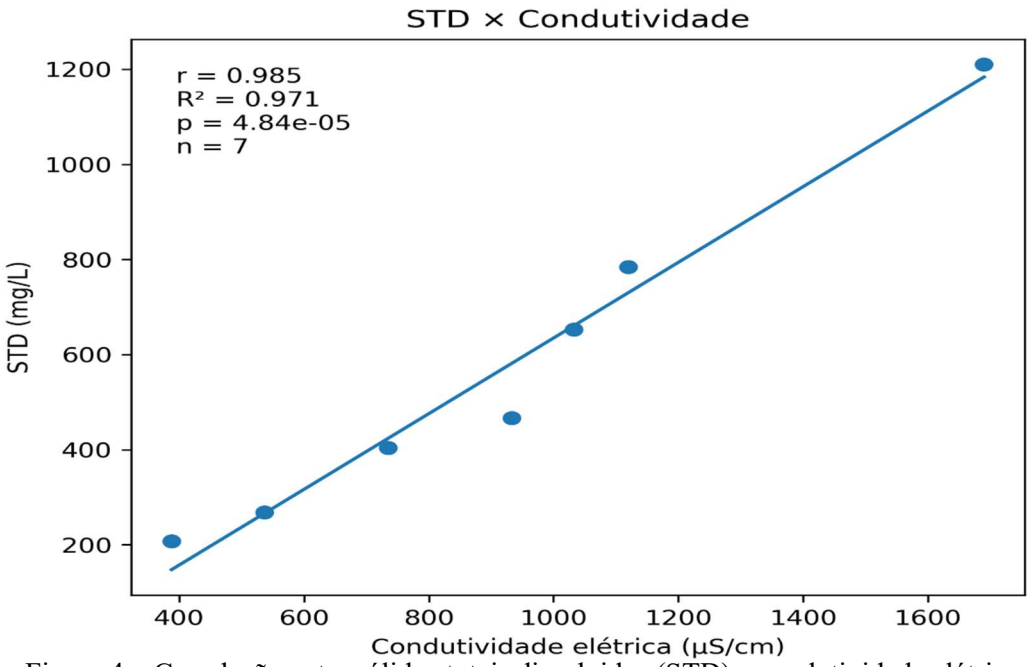


Figura 4 – Correlação entre sólidos totais dissolvidos (STD) e condutividade elétrica.

Em termos de interpretação de processos, esse resultado é compatível com o que foi documentado para o sistema costeiro urbano de Recife: a variabilidade de salinidade responde a pressões hidroclimáticas e antrópicas (bombeamento, densidade de poços, proximidade do mar/canais), e CE funciona como variável sentinela para triagem de risco e zoneamento de vulnerabilidade (BERTRAND *et al.* 2022; PETELET-GIRAUD *et al.* 2018).

3.4 Comportamento do ferro dissolvido

As concentrações de ferro dissolvido apresentaram variação entre aproximadamente 0,05 e 2,0 mg·L^{-1}, com valores frequentemente superiores ao limite de 0,30 mg·L^{-1} estabelecido pelo Ministério da Saúde do Brasil para potabilidade. Entretanto, os diagramas de correlação entre ferro e cloreto e entre ferro e condutividade indicaram ausência de relação linear significativa, evidenciando que o ferro não acompanha o padrão de salinização observado para os demais íons majoritários. Esse comportamento sugere que o ferro é controlado por processos geoquímicos distintos daqueles que governam a mineralização total. Conforme descrito por Appelo; Postma (2005), a solubilidade do ferro é fortemente dependente das condições de Eh e pH do meio. Em ambientes redutores, a redução de Fe^{3+} para Fe^{2+} aumenta significativamente sua solubilidade, promovendo elevação das concentrações dissolvidas. Tais condições são típicas de aquíferos rasos com presença de matéria orgânica, solos hidromórficos ou zonas saturadas com baixa oxigenação, favorecendo a redução bacteriana de óxidos férricos (FREEZE; CHERRY, 1979). Dessa forma, a elevação do ferro observada nas amostras está associada a controles redox locais e não à intrusão salina ou à mistura marinha, evidenciando a atuação de processos hidrogeoquímicos independentes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração dos resultados indica que a química das águas subterrâneas é dominada por dois controles geoquímicos independentes. O primeiro, associado à salinidade, é governado por íons conservativos (Cl^- e Na^+), fortemente correlacionados com condutividade e STD, caracterizando influência marinha ou mistura

salina. O segundo, representado pelo ferro dissolvido, é controlado por processos redox locais, sem relação direta com a mineralização total. Esse padrão dual é amplamente documentado em aquíferos costeiros, onde a salinização resulta de processos físicos de mistura, enquanto metais traço respondem às condições geoquímicas específicas do meio poroso.

Assim, conclui-se que a qualidade das águas é condicionada simultaneamente por processos de salinização e por mobilização redutora de ferro, demandando abordagens de monitoramento e gestão distintas para cada grupo de parâmetros.

REFERÊNCIAS

APPELO, C. A. J.; POSTMA, D. *Geochemistry, groundwater and pollution*. 2. ed. Rotterdam: Balkema, 2005.

BERTRAND, G. et al. Delineating groundwater contamination risks in southern coastal metropoles through implementation of geochemical and socio-environmental data in decision-tree and geographical information system. *Water Research*, v. 209, 117877, 2022. DOI: 10.1016/j.watres.2021.117877.

BRASIL. *Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021*. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, 2021.

CARY, L. et al. Origins and processes of groundwater salinization in the urban coastal aquifers of Recife (Pernambuco, Brazil): a multi-isotope approach. *Science of the Total Environment*, v. 530–531, p. 411–429, 2015. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.05.015.

CHATTON, E. et al. Glacial recharge, salinisation and anthropogenic contamination in the coastal aquifers of Recife (Brazil). *Science of the Total Environment*, v. 569–570, p. 1114–1125, 2016. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.180.

COELHO, V. H. R. et al. Piezometric level and electrical conductivity spatiotemporal monitoring as an instrument to design further managed aquifer recharge strategies in a complex estuarial system under anthropogenic pressure. *Journal of Environmental Management*, v. 209, p. 426–439, 2018. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.12.078.

COSTA SOBRINHO, A. F. et al. Uso do índice GALDIT para avaliação da vulnerabilidade à salinização do aquífero Boa Viagem – Região Metropolitana do Recife. *Águas Subterrâneas*, 2015.

DREVER, J. I. *The geochemistry of natural waters*. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1997.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. *Groundwater*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1979.

HEM, J. D. *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water*. 3. ed. Washington: USGS, 1985.

MONTENEGRO, S. M. G. L. et al. Águas subterrâneas na zona costeira da planície do Recife: risco de salinização por intrusão marinha. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 14, n. 3, 2009.

PAIVA, A. L. R.; CABRAL, J. J. S. P.; FARIAS, V. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Problemas de salinização nos aqüíferos costeiros da região central da cidade de Recife. *In:* II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, Recife, 2003.

PETELET-GIRAUD, E. et al. Multi-layered water resources, management, and uses under the impacts of global changes in a southern coastal metropolis: crossed analysis in Recife, NE Brazil. *Science of the Total Environment*, v. 618, p. 645–657, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.07.228.

STUMM, W.; MORGAN, J. J. *Aquatic chemistry*. 3. ed. New York: Wiley, 1996.