OCORRÊNCIA DE COMPOSTOS NITROGENADOS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM SÃO CRISTÓVÃO – ESTUDO DE CASO NO SEHRES

Gustavo Nunes de Araújo[1]; Maria Itamara dos Santos [2]; Joel Marques da Silva [3]; Adnívia Santos Costa Monteiro[4]; Silvânio Silvério Lopes da Costa[5]; Roger Dias Gonçalves[6]

RESUMO – A contaminação de aquíferos rasos por compostos nitrogenados constitui um importante indicador de influência antrópica em áreas urbanas, especialmente onde há elevada conectividade entre a superfície e o nível freático. Este estudo avaliou a dinâmica espacial e sazonal do N-amoniacal, nitrato e nitrito em águas subterrâneas do *Sergipe Hydrogeological Research Site* (SEHRES), localizado no campus da Universidade Federal de Sergipe, em São Cristóvão-SE. Foram realizadas quatro campanhas sazonais entre 2024 e 2025, em períodos secos e chuvosos, com amostragem em 15 poços tubulares e determinação analítica por cromatografia iônica. Os resultados indicaram variações expressivas das concentrações entre campanhas, refletindo a interação entre aporte antrópico, condições hidrogeoquímicas e recarga pluviométrica. O N-amoniacal e o nitrito sugerem entradas recentes de compostos nitrogenados e processos de transformação do nitrogênio no aquífero, enquanto o nitrato apresentou comportamento sazonal contrastante, com aumento expressivo em 2024 e redução generalizada no período chuvoso de 2025, possivelmente associada à diluição e renovação das águas subterrâneas. Os resultados evidenciam a vulnerabilidade do aquífero raso urbano e reforçam a necessidade de monitoramento contínuo e ações de gestão para redução das fontes difusas de contaminação.

ABSTRACT – The contamination of shallow aquifers by nitrogen compounds is an important indicator of anthropogenic influence in urban areas, especially where there is strong connectivity between the land surface and the water table. This study evaluated the spatial and seasonal dynamics of ammoniacal nitrogen, nitrate, and nitrite in groundwater from the Sergipe Hydrogeological Research Site (SEHRES), located on the campus of the Federal University of Sergipe, in São Cristóvão, northeastern Brazil. Four seasonal campaigns were conducted between 2024 and 2025, covering dry and rainy periods, with groundwater sampling from 15 tubular wells and analytical determination by ion chromatography. The results indicated marked variations in concentrations among the sampling campaigns, reflecting the interaction between anthropogenic inputs, hydrogeochemical conditions, and rainfall recharge. Ammoniacal nitrogen and nitrite suggest recent inputs of nitrogen compounds and nitrogen transformation processes within the aquifer, whereas nitrate showed a contrasting seasonal pattern, with a marked increase in 2024 and a generalized decrease during the 2025 rainy period, possibly associated with dilution and groundwater renewal.

[1]) Universidade Federal de Sergipe, Av. Marcelo Deda Chagas, Rosa Elze, São Cristóvão - SE, (79)3194-6600, geo_gustavo.na@hotmail.com
[2]) Universidade Federal de Sergipe, Av. Marcelo Deda Chagas, Rosa Elze, São Cristóvão - SE, (79) 3194-6600, itamara.santos92@gmail.com
[3]) Universidade Federal de Sergipe, Av. Marcelo Deda Chagas, Rosa Elze, São Cristóvão - SE, (79) 3194-6600, marquesengpetro@gmail.com
[4]) Universidade Federal de Sergipe, Av. Marcelo Deda Chagas, Rosa Elze, São Cristóvão - SE, (79) 3194-6600, adnivia@academico.ufs.br
[5]) Universidade Federal de Sergipe, Av. Marcelo Deda Chagas, Rosa Elze, São Cristóvão - SE, (79) 3194-6600, silvaniolc@gmail.com
[6]) Departamento de Geologia, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, Av. Marcelo Deda Chagas, Rosa Elze, São Cristóvão - SE, (79) 3194-6600, roger.dias@academico.ufs.br

The results highlight the vulnerability of this shallow urban aquifer and reinforce the need for continuous monitoring and management actions aimed at reducing diffuse sources of contamination.

Palavras-Chave – Aquífero raso; Nitrato; Compostos nitrogenados.

1 – INTRODUÇÃO

A degradação da qualidade das águas subterrâneas tem se consolidado como um dos principais desafios ambientais e de saúde pública do século XXI, especialmente em áreas urbanas sujeitas à intensa pressão antrópica. Nesse contexto, as águas subterrâneas constituem um dos mais importantes reservatórios estratégicos de água doce do planeta, desempenhando papel essencial na manutenção dos ciclos hidrológicos e no suporte às atividades humanas. Estima-se que representem a maior parcela de água doce líquida disponível, sendo fundamentais para o abastecimento público, agrícola e industrial, além de contribuírem para a estabilidade de ecossistemas aquáticos e terrestres (Hirata et al., 2019; Yasser *et al*., 2021). No Brasil sua relevância é ampliada pela ampla ocorrência de aquíferos e pela crescente dependência dessas fontes diante da variabilidade climática e da pressão sobre os mananciais superficiais (ANA, 2022).

Apesar da aparente proteção natural dos aquíferos, ainda persiste a percepção equivocada de que esses sistemas são inesgotáveis e intrinsecamente protegidos, o que favorece práticas inadequadas de uso e ocupação do solo. A intensificação da urbanização, aliada à deficiência de infraestrutura sanitária e ao aumento das atividades antrópicas, tem provocado alterações significativas na qualidade hidroquímica das águas subterrâneas, sobretudo em ambientes urbanos (ANA, 2021; Howard, 2023). nesse cenário, aquíferos rasos apresentam maior vulnerabilidade à contaminação, devido à sua elevada conectividade com a superfície e à suscetibilidade à infiltração de poluentes provenientes de fontes difusas e pontuais (Foster *et al*., 2006)

Entre os principais indicadores de degradação da qualidade da água subterrânea destacam-se os compostos nitrogenados, especialmente o amônio (NH_4^+), o nitrato (NO_3^-) e o nitrito (NO_2^-), que representam diferentes estágios do ciclo biogeoquímico do nitrogênio. O amônio está frequentemente associado a fontes recentes de contaminação, como a decomposição de matéria orgânica, infiltração de efluentes domésticos e resíduos animais. O nitrato, por sua elevada mobilidade e estabilidade em condições oxidantes, tende a se acumular em aquíferos rasos, sendo amplamente relacionado à lixiviação de fertilizantes e à infiltração de esgoto. Já o nitrito constitui uma forma intermediária e instável, sendo rapidamente oxidado a nitrato, que o torna um importante indicativo de processos recentes de transformação de nitrogênio. Além de indicarem contaminação, esses compostos

representam riscos à saúde humana, como a metahemoglobinemia, contribuindo para impactos ambientais, como a eutrofização de corpos hídricos (Silva *et al*., 2024).

Apesar da relevância do monitoramento hidroquímico, ainda existem lacunas significativas no conhecimento científico, sobretudo em escala local. No estado de Sergipe, a escassez de estudos sistemáticos voltados à avaliação de aquíferos urbanos limita a compreensão dos processos de contaminação e dificulta a implementação de estratégias eficazes de gestão dos recursos hídricos (DE Vargas et al., 2022; Ruggiero et al., 2022). Além disso, a ausência de séries históricas consistentes e de abordagens integradas evidencia a necessidade de investigações mais profundas.

Diante desse cenário, esta pesquisa tem como objetivo compreender em que medida as concentrações de compostos nitrogenados – com ênfase em amônio, nitrato e nitrito – em águas subterrâneas urbanas do *Sergipe Hydrogeological Research Site* (SEHRES), localizado na Universidade Federal de Sergipe (UFS), refletem processos de contaminação antrópica, bem como identificar suas possíveis fontes e avaliar sua conformidade com os padrões estabelecidos pela legislação vigente. Espera-se, assim, contribuir para o avanço do conhecimento sobre a dinâmica hidrogeoquímica em aquíferos rasos urbanos, fornecendo subsídios técnicos para a gestão sustentável dos recursos hídricos e para a proteção da saúde pública, em consonância com a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), a Resolução CONAMA nº 396/2008 (BRASIL, 2008), a Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021) e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, com destaque para o ODS 6 (ONU, 2015).

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada consistiu na avaliação da dinâmica dos compostos nitrogenados (NH_4^+, NO_3^- e NO_2^-) em um aquífero raso urbano, por meio de quatro campanhas sazonais. As amostras foram coletadas em 15 poços tubulares, distribuídos no campus da UFS (Figura 1), contemplando períodos seco e chuvoso entre 2024 e 2025. A coleta foi realizada com amostrador tipo *bailer*, garantindo a purga prévia dos poços para obtenção de água representativa do aquífero. As amostras foram acondicionadas em frascos apropriados, identificadas e mantidas sob refrigeração até as análises laboratoriais.

As determinações das concentrações de amônio, nitrato e nitrito foram realizadas por cromatografia iônica, utilizando o cromatógrafo iônico Dionex ICS-3000, com base na resposta analítica dos picos obtidos em cromatogramas e quantificação por curvas de calibração com padrões certificados.

A interpretação dos dados envolveu análises estatísticas e espaciais, com foco na variabilidade temporal e na distribuição das concentrações de amônio, nitrato e nitrito. Foram aplicadas estatísticas descritivas para identificar padrões e possíveis fontes de contaminação. Para o processamento estatístico, foi utilizado o software Microsoft Excel, enquanto a elaboração dos mapas temáticos foi realizada com auxílio do sistema de informação geográfica e o software QGIS 3.34 Prizren.

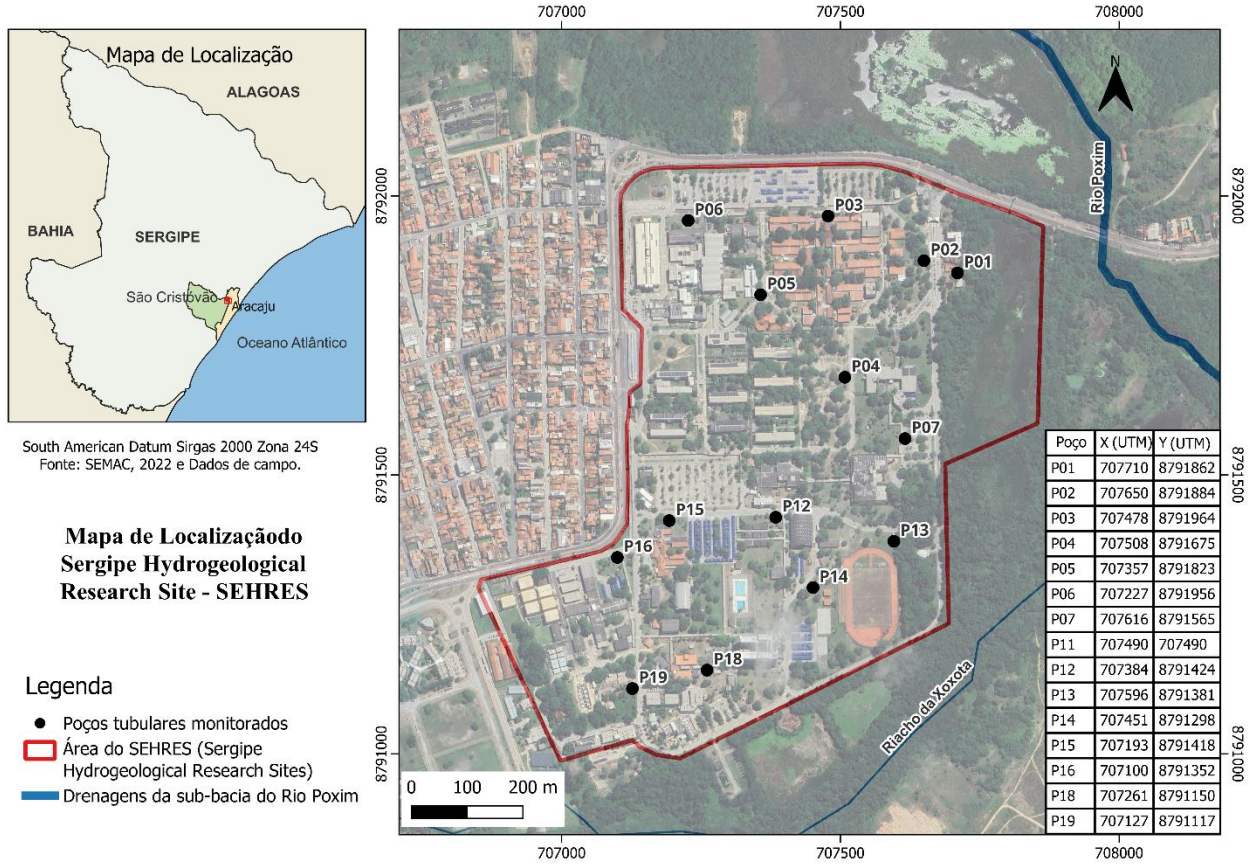


Figura 1 – Mapa de localização dos pontos amostrados no SEHRES, dentro da UFS, campus São Cristóvão – SE. (Fonte: autor)

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

N-AMONIACAL

A análise do N-amoniacal indica forte influência da sazonalidade e da posição no fluxo subterrâneo, com altas concentrações no período seco de 2024, sobretudo nas regiões norte e centrais, evidenciando condições de aporte recente de fonte de nitrogenados. No período chuvoso de 2024, há redução parcial, principalmente ao sul, sugerindo maior oxigenação e início da nitrificação, entretanto no norte teve persistência nas concentrações. Em 2025 seco, observa-se diminuição geral das

concentrações, indicando menor aporte. Contudo, no período chuvoso de 2025 ocorre aumento expressivo e generalizado, inclusive no setor sul, indicando entrada recente e intensa de contaminantes de fontes difusas (Figura 2).

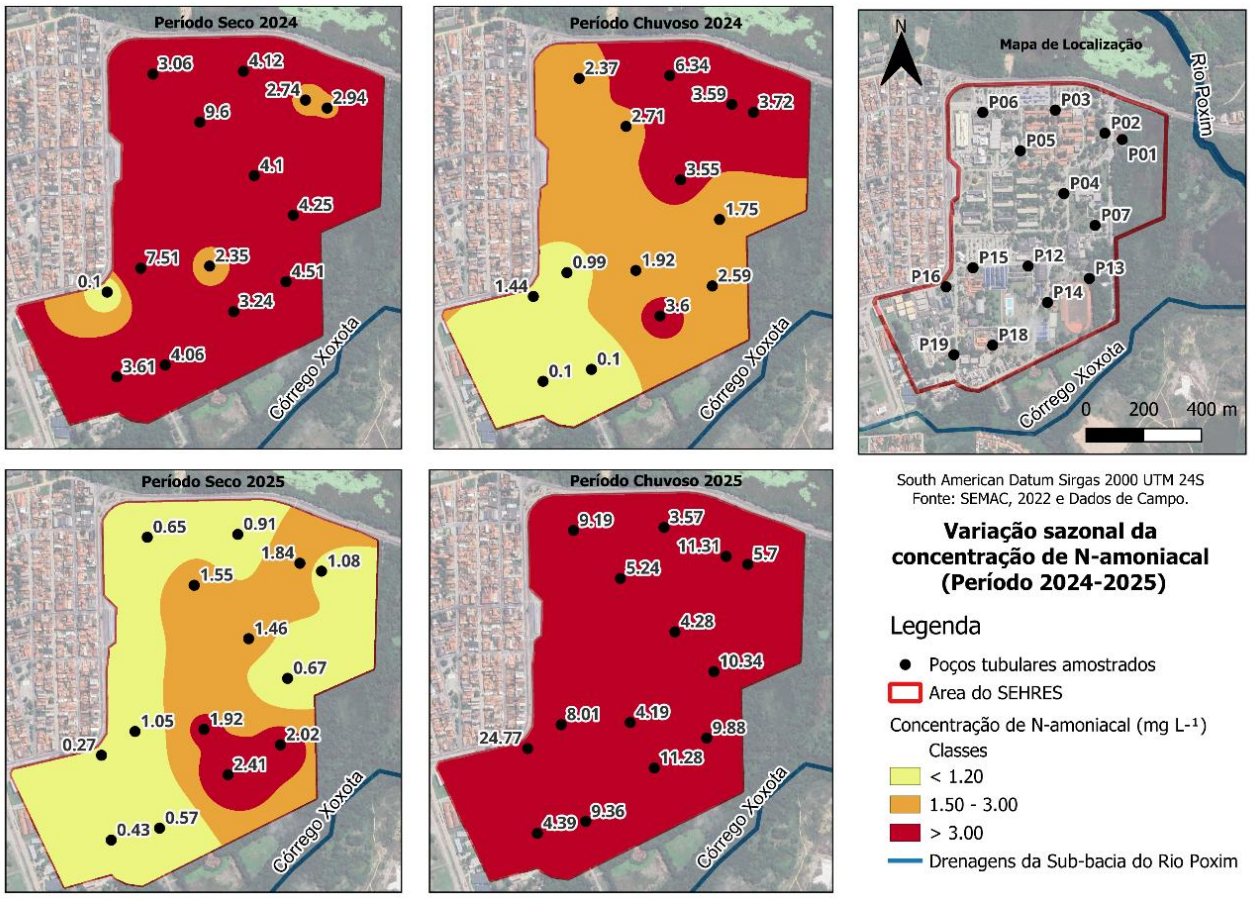


Figura 2 – Resultados da interpolação do parâmetro N-amoniacal do período seco e chuvoso para 15 poços tubulares (Fonte: autor).

NITRITO

A concentração de nitrito apresentou forte influência da sazonalidade. No período seco de 2024, predominam concentrações mais altas (> 0,05 mg L^{-1}) nos setores centrais, sul e sudoeste, indicando nitrificação parcial, e aporte recente de contaminantes de origem antrópica. No período chuvoso de 2024, ocorre expansão das áreas com altas concentrações, principalmente nas regiões norte, central e jusante, evidenciando intensificação da nitrificação. Já no período seco de 2025, observa-se redução das concentrações no norte e centro, sugerindo maior conversão do nitrito para nitrato, enquanto o setor sul/sudoeste mantém valores elevados, indicando persistência de fontes ativas de contaminação. No período chuvoso de 2025, as concentrações voltam a aumentar de forma generalizada, com valores entre 0,1 e 0,14 mg L^{-1}, indicando novo aporte recente de contaminantes nitrogenados (Figura 3).

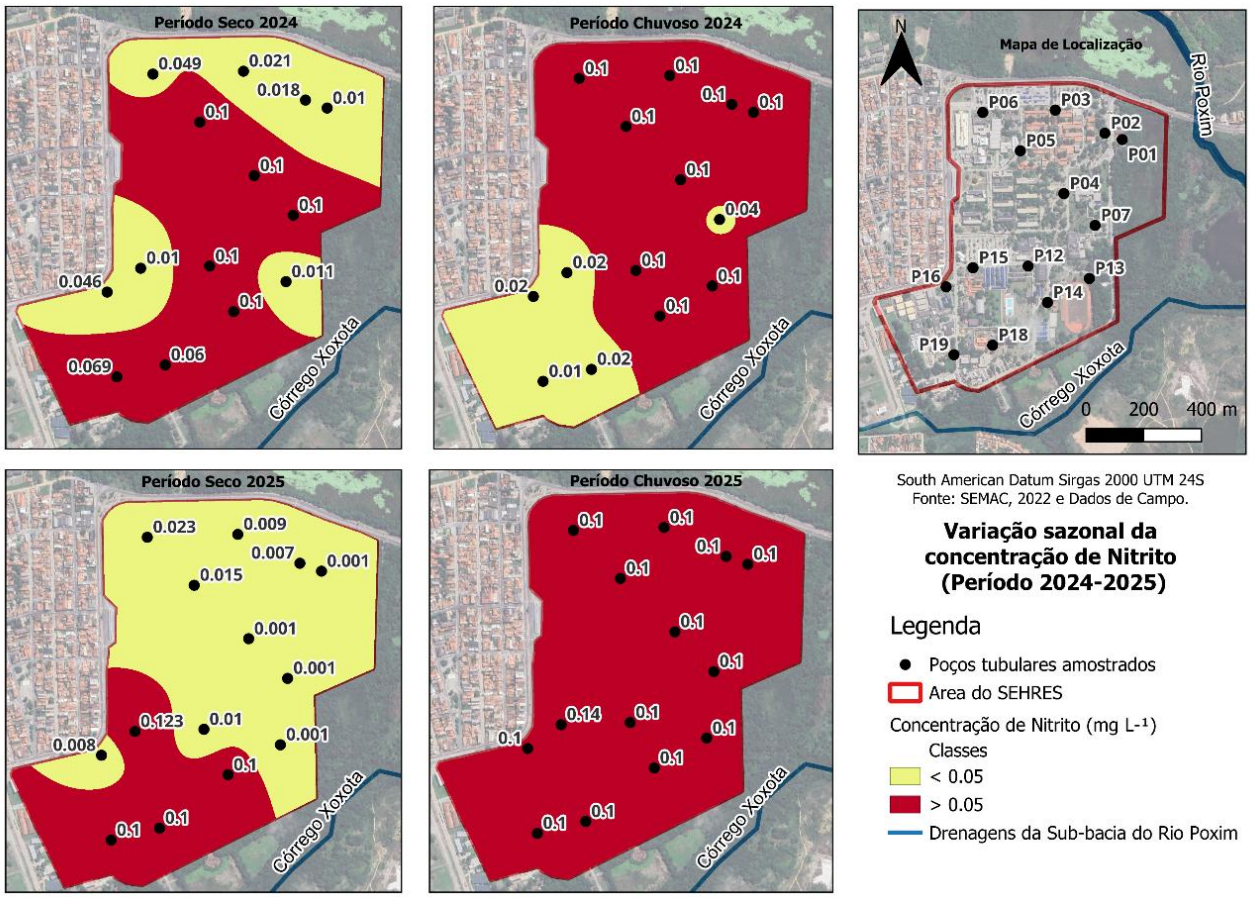


Figura 3 – Resultados da interpolação do parâmetro nitrito do período seco e chuvoso para 15 poços tubulares (Fonte: autor).

NITRATO

A análise da concentração de nitrato evidencia forte influência da sazonalidade e do fluxo subterrâneo na dinâmica do nitrogênio no aquífero. No período seco de 2024, predominam concentrações baixas a moderadas, com maiores valores na região montante, indicando presença. No período chuvoso de 2024, ocorre aumento expressivo das concentrações principalmente no setor norte/nordeste, com valores superiores a 60 mg L^{-1}, devido à maior mobilização e lixiviação promovidas pela recarga hídrica. Em 2025 seco, observou-se elevadas concentrações nas áreas montante, indicando o transporte do nitrato ao longo do fluxo subterrâneo entre montante e jusante, devido a sua persistência química. Já no período chuvoso de 2025 ocorre redução abrupta e generalizada das concentrações, com valores próximos de 0,1 mg L^{-1}, indicando diluição pela recarga (Figura 4).

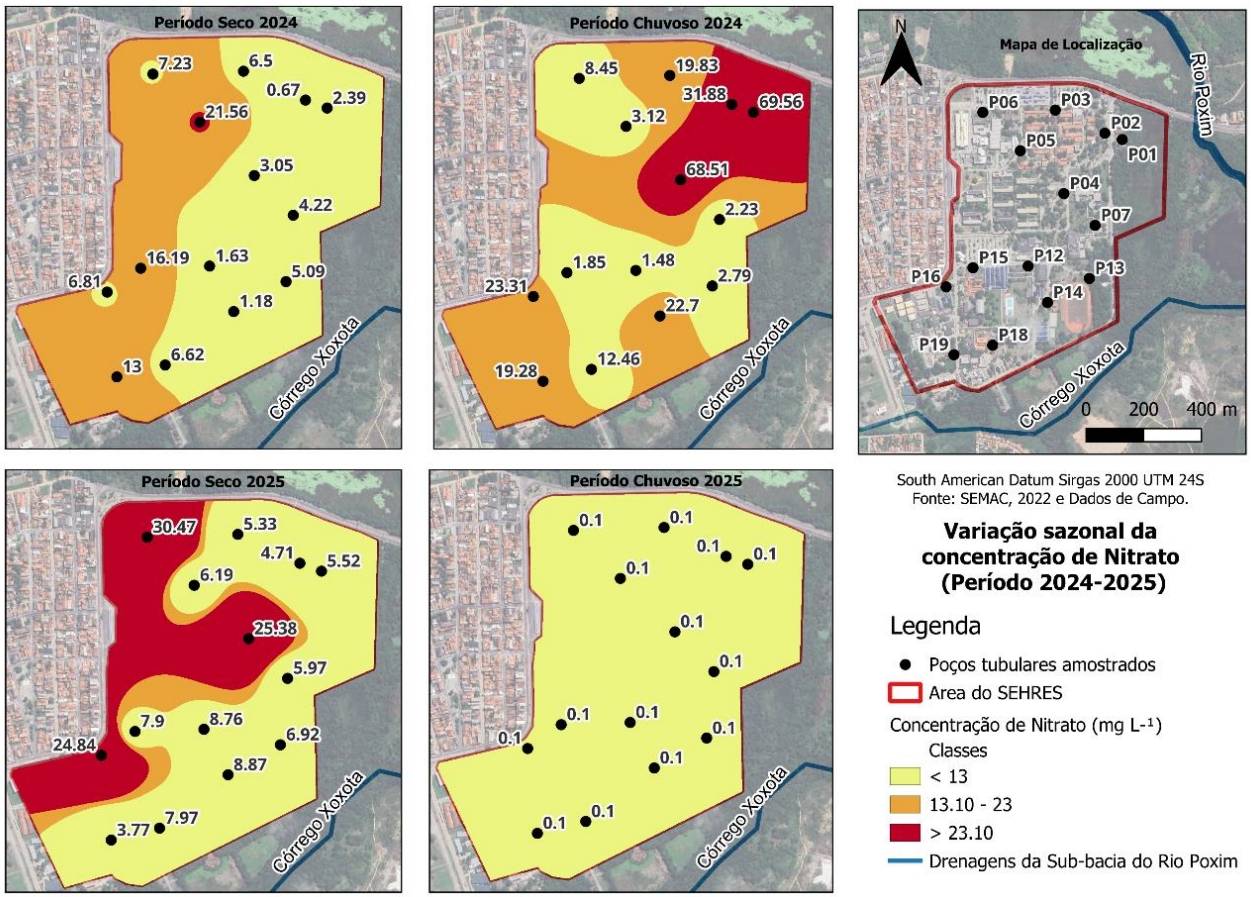


Figura 4 – Resultados da interpolação do parâmetro nitrato do período seco e chuvoso para 15 poços tubulares (Fonte: autor).

No período seco de 2024, predominam elevadas concentrações de N-amoniacal e nitrito, principalmente nos setores centrais e sul/sudeste, indicando aporte recente de fonte difusa, enquanto a presença de nitrato indica fontes mais antigas que já passaram pelo processo de nitrificação principalmente nas regiões norte e central., No período chuvoso de 2024, o aumento expressivo do nitrato indica mecanismo de mobilização e lixiviação de nitrato acumulado na zona não saturada, enquanto a redução parcial do N-amoniacal indica ainda presença de fontes difusas ativas e processo de nitrificação em curso, além de possível diluição. Já no período seco de 2025, ocorre redução do N-amoniacal e nitrito no norte e centro, enquanto o nitrato permanece elevado em extensas áreas, sugerindo conversão prévia do nitrogênio reduzido e transporte ao longo do fluxo subterrâneo para jusante; contudo, o sul/sudoeste mantém concentrações elevadas de N-amoniacal e nitrito, indicando de fontes ativas de contaminantes. No período chuvoso de 2025, o N-amoniacal e o nitrito aumentam de forma generalizada, enquanto o nitrato apresenta queda abrupta para valores próximos de 0,1 mg L^{-1}, evidenciando elevado aporte recente de contaminantes nitrogenados e diluição e renovação das águas subterrâneas.

4 – CONCLUSÕES

Os resultados evidenciam que a dinâmica dos compostos nitrogenados (NH_4^+, NO_3^- e NO_2^-) no aquífero é fortemente influenciada pela sazonalidade pluviométrica do fluxo subterrâneo na dinâmica dos compostos nitrogenados no aquífero raso urbano do SEHRES. As concentrações de N-amoniacal, nitrato e nitrito apresentaram significativa variabilidade espacial e temporal, indicando fontes difusas ativas, possivelmente relacionadas à infiltração de esgoto doméstico, matéria orgânica, lixiviação de compostos nitrogenados presentes no solo e deficiência de infraestrutura sanitária. As maiores concentrações têm grande variação das regiões norte e sul da área, interpretadas como áreas de montante e prováveis zonas-fonte de contaminação, enquanto os setores centrais apresentaram características de transporte e diluição ao longo do fluxo subterrâneo em direção às drenagens locais.

De forma integrada os resultados demonstram que a dinâmica hidrogeoquímica do nitrogênio no aquífero é controlada pela interação entre a sazonalidade climática e influencia antrópica contínua. O estudo evidencia a vulnerabilidade ambiental do aquífero urbano do SEHRES e reforça a necessidade de monitoramento sistemático da qualidade de águas subterrâneas rasas, bem como da implementação de medidas de gestão e saneamento voltadas à redução das fontes de contaminação, contribuindo para a proteção dos recursos hídricos subterrâneos e da saúde pública.

REFERÊNCIAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. (2021). *Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano*. ANA, Brasília – DF.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. (2022). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021*. ANA, Brasília – DF.

BRASIL. (1997). "Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos". *Diário Oficial da União*, Brasília – DF.

BRASIL. (2008). "Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008". *Diário Oficial da União*, Brasília – DF.

BRASIL. (2021). "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". Ministério da Saúde, Brasília – DF.

DE VARGAS, T.; BELLADONA, R.; SGORLA, V.; SBABO, L. C. (2022). "Vulnerabilidade intrínseca da água subterrânea como alicerce na gestão do uso do solo em bacias de captação". *Revista Brasileira de Geografia Física* 15(2), pp. 710 – 720.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. (2006). *Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais*. Banco Mundial, Washington, D.C.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A. V.; MARCELLINI, S. S.; VILLAR, P. C.; MARCELLINI, L. (2019). *As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP.

HOWARD, K. (2023). *Urban groundwater*. The Groundwater Project, Ontario.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. (2015). *Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. ONU, Nova York.

RUGGIERO, M. H.; BENTOS, A. B.; PAGANELI, B.; ADORNO, H. A.; LORANDI, R.; DI LOLLO, J. A.; MOSCHINI, L. E. (2022). "Determinação do potencial de contaminação de aquíferos no município de Artur Nogueira (SP) por meio de atributos geoambientais". *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 31(2), pp. 324 – 340.

SILVA, M. K. M. da; SILVA, M. R. C.; FERREIRA, R. M.; MONTEIRO, A. de S. (2024). "Análise da contaminação da água de poços artesianos no município de Pio XII, Maranhão". *Caderno Pedagógico* 21(13), pp. 1 – 22.

YASSER, M.; ISMAIL, N.; INES, K. (2021). "Assessment of groundwater quality of the karst aquifer of Cherea, Tebessa (northeast of Algeria)". *International Journal of Hydrology Science and Technology* 11(3), pp. 301 – 320.