ESTUDO HIDROGEOLÓGICO EM CAMPO DE PRODUÇÃO DE PETRÓLEO: CAMPO RABO BRANCO EM SERGIPE, BRASIL

Vinicius Tunes Romanha[1]; Clívia Santana Maia Santos[2]; Jéssica Alves Goés[3]; Joel Marques da Silva[4]; Roger Dias Gonçalves[5]

RESUMO – A exploração de petróleo e atividades exercidas no entorno podem impactar os recursos hídricos. Este estudo hidrogeológico foi realizado na Estação Coletora (EC), no Campo Petrolífero Rabo Branco, em Santo Amaro das Brotas (SE). Foram avaliados cinco poços de água subterrânea (três de monitoramento, um tubular e uma cacimba) e cinco lagoas. Análises físico-químicas e microbiológicas das águas subterrâneas e superficiais foram comparadas aos padrões do Ministério da Saúde, CONAMA e CETESB, que fixam padrões para potabilidade, consumo humano, dessedentação e contaminação. O aquífero local é poroso, raso e argiloso, com recarga na área da EC e descarga nas lagoas. A condutividade elétrica variou de 191 a 1360 µS/cm (subterrâneas) e de 219 a 591 µS/cm (superficiais). As análises microbiológicas indicaram contaminação por coliformes totais e termotolerantes em quatro poços e em todas as lagoas, e o nitrato apresentou teor elevado nos cinco poços e em uma lagoa. Apesar de alguns parâmetros acima do recomendado, não foram associados à EC, sendo mais prováveis fontes relacionadas à criação de animais, agricultura e ao saneamento inadequado. Recomenda-se o monitoramento contínuo e análises de hidrocarbonetos nos períodos chuvosos e secos, para correlacionar a sazonalidade da região, para avaliar melhor os possíveis impactos ambientais.

ABSTRACT– Oil exploration and surrounding activities can impact water resources. This hydrogeological study was conducted at the Gathering Station (EC), in the Rabo Branco Oil Field, located in Santo Amaro das Brotas (SE). Five groundwater wells (three monitoring wells, one tubular well, and one dug well) and five ponds were evaluated. Physicochemical and microbiological analyses of groundwater and surface water were compared against standards set by the Ministry of Health, CONAMA, and CETESB, which establish thresholds for water potability, human consumption, livestock watering, and contamination. The local aquifer is porous, shallow, and clayey, with recharge occurring in the EC area and discharge into the ponds. Electrical conductivity ranged from 191 to 1360 µS/cm (groundwater) and from 219 to 591 µS/cm (surface water). Microbiological analyses indicated contamination by total and thermotolerant coliforms in four wells and all ponds, while elevated nitrate levels were detected in all five wells and one pond. Although some parameters exceeded recommended limits, they were not associated with the EC; rather, the most likely sources

(1) Grupo de Pesquisas Hidrogeológicas e Ambientais (GPHIDRA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, Av, Marcelo Deda Chagas, s/n, Rosa Elze, São Cristóvão/SE – CEP 49107-230. viniciustunes1442@gmail.com
(2) Departamento de Geologia da Universidade Federal de Sergipe (UFS), Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, Av, Marcelo Deda Chagas, s/n, Rosa Elze, São Cristóvão/SE – CEP 49107-230. luciansomerhale@gmail.com
(3) Grupo de Pesquisas Hidrogeológicas e Ambientais (GPHIDRA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, Av, Marcelo Deda Chagas, s/n, Rosa Elze, São Cristóvão/SE – CEP 49107-230. jessicalvesgoes@gmail.com
(4) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos (PRORH) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, Av, Marcelo Deda Chagas, s/n, Rosa Elze, São Cristóvão/SE – CEP 49107-230. marquesengpetro@gmail.com
(5) Departamento de Geologia, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos (PRORH), Universidade Federal de Sergipe (UFS), Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, Av, Marcelo Deda Chagas, s/n, Rosa Elze, São Cristóvão/SE – CEP 49107-230. roger.dias@academico.ufs.br

are livestock farming, agriculture, and inadequate sanitation. Continuous monitoring and hydrocarbon analyses during both the wet and dry seasons are recommended to account for the region's seasonality and to better assess potential environmental impacts.

Palavras-Chave – Coliformes; Estação Coletora; Nitrato

1 – INTRODUÇÃO

A liberação acidental de hidrocarbonetos é uma das principais causas de contaminação das águas subterrâneas e do desequilíbrio dos ecossistemas. Os contaminantes derivados do petróleo atingem as águas subterrâneas devido à sua persistência e alta mobilidade. O transporte desses contaminantes na forma de fase livre, infiltra-se através do solo, atingindo rapidamente sistemas de águas profunda e rasas, ocasionando impactos ambientais e sociais a eles relacionados.

Impactos das refinarias na saúde de trabalhadores e moradores próximos a complexos e campos petróleo, incluindo câncer e efeitos imunológicos e neurológicos agudos (Villanueva e Meng, 2026). Gerenciar um campo produtor de petróleo é difícil, sendo assim, monitorar os locais de armazenamento e o ambiente do entorno é essencial. Em um campo de petróleo, a estação coletora (EC) armazena o óleo produzido no campo que chega às estações por dutos ou caminhões.

Essas áreas de armazenamento estão sujeitas a possíveis vazamentos de óleo, portanto, monitorar os recursos hídricos nestes locais é essencial, a fim de identificar possíveis fontes de contaminação provenientes do campo ou de atividades antropogênicas de comunidades no entorno.

A presença de bactérias indicadoras fecais é provocada por descargas de águas residuais não tratadas, vazamentos sépticos, escoamento agrícola e urbano e excrementos de gado. Segundo Holcomb e Stewart (2020), a presença de bactérias como a *Escherichia coli* é um valioso indicativo para avaliar a contaminação fecal e a qualidade da água.

O fluxo de resíduos agrícolas e domésticos geralmente contém altas concentrações de amônia e nitrato, resultando em um teor de nitrogênio (N) que excede os padrões para água potável (Fu *et al*., 2022). O excesso de compostos nitrogenados podem alcançar as águas superficiais e subterrâneas, visto que esses compostos são bastante solúveis e possuem alta mobilidade, m alto teor de nitrato na água reduz significativamente sua qualidade, podendo causar problemas de saúde, incluindo câncer (Zhao *et al*., 2022).

Foram observadas, na área de estudo, atividades que podem causar impactos negativos nos recursos hídricos, como: a presença de atividades agrícolas, criação de animais e ausência de saneamento básico. Considerando essa problemática, o objetivo deste trabalho é realizar um estudo ambiental no campo de produção de petróleo no município de Santo Amaro das Brotas no estado de

Sergipe (SE). O estudo irá caracterizar eventuais contaminações e impactos ambientais nos recursos hídricos, a partir da integração de dados provenientes de técnicas tradicionais de investigação em poços de monitoramento, águas superficiais, produzindo um diagnóstico ambiental atualizado.

2 – OBJETIVOS

Este trabalho tem o propósito de avaliar a qualidade da água de lagoas e poços próximos a uma região produtora de petróleo localizada no interior do município de Santo Amaro das Brotas, a partir da integração de dados provenientes de técnicas tradicionais de investigação em poços de monitoramento e águas superficiais.

3 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está situada no município de Santo Amaro das Brotas. O Campo Rabo Branco (CRB) está inserido na porção terrestre da Bacia Sedimentar de Sergipe/Alagoas (SEAL), localizado na porção sul, na zona rural do município de Santo Amaro das Brotas, a uma distância aproximada de 43 km da capital, Aracaju (Figura 1).

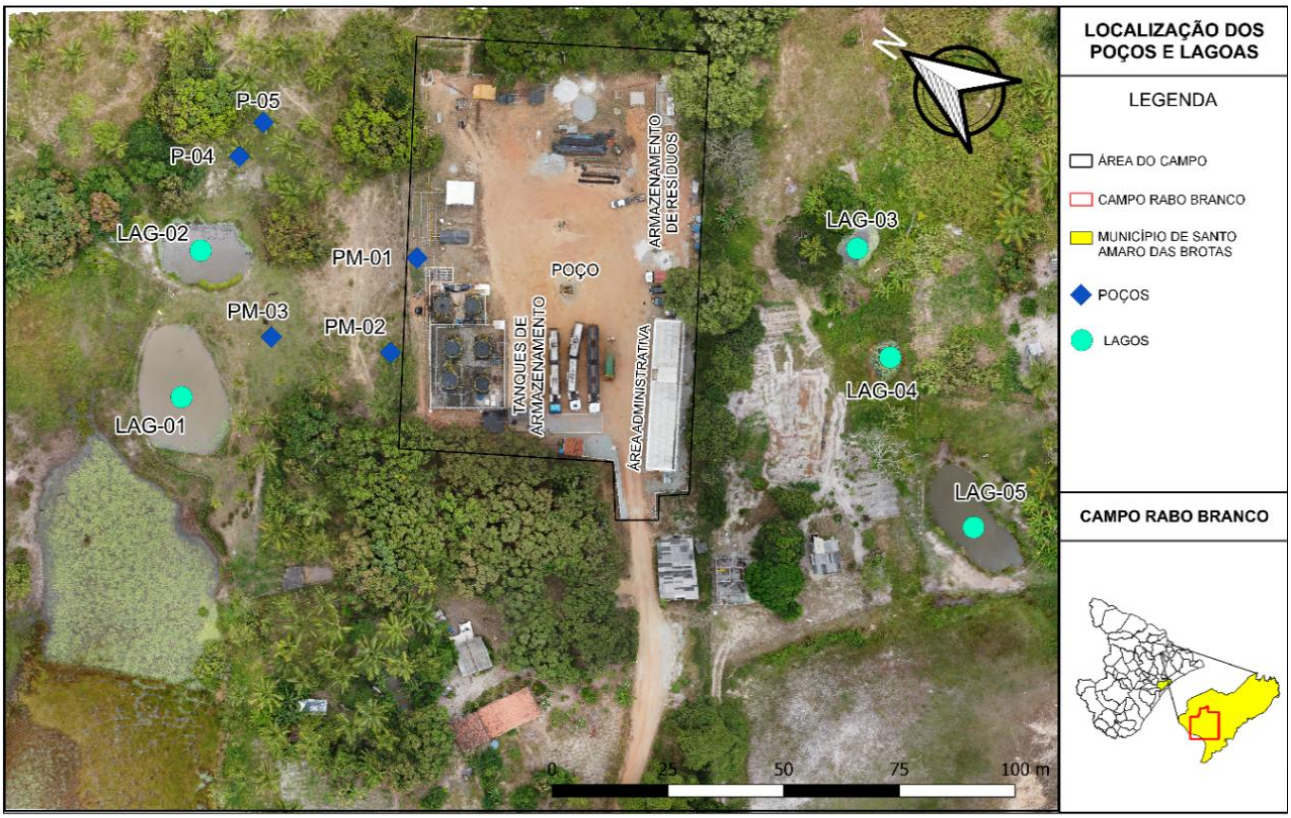


Figura 1 – Localização da área de estudo e dos pontos amostrados. Fonte: Autor.

Observou-se elementos antrópicos capazes de impactar a qualidade das águas dos poços e lagoas próximas à EC, como riscos associados aos tanques de armazenamento, a agricultura, falta de saneamento básico e criação de animais.

O município de Santo Amaro das Brotas está inserido entre as bacias do rio Japaratuba e rio Sergipe, caracterizadas por sistema aquífero sedimentar, representado por coberturas cenozoicas e Formações Superficiais Continentais. Na região predominam os aquíferos granular e cárstico, compostos por rochas sedimentares de elevada permeabilidade e potencial hídrico. O aquífero local possui composição areno-argilosa, comportamento livre a semiconfinado e porosidade primária e recarga por infiltração das águas pluviais.

As unidades presentes na área são os aluviões e coluviões, formados por areias, siltes e argilas, depositados ao longo das calhas dos rios, enquanto o Grupo Barreiras apresenta sedimentos síltico-argilosos avermelhados, com recarga por precipitação e infiltração vertical e descarga direcionada os níveis de base regionais, para o mar e por evapotranspiração (Fontes *et al*., 2008).

4 – MATERIAL E MÉTODOS

As amostragens de água subterrânea e superficial, ocorreram em setembro de 2024. Foi realizado apenas uma única campanha de amostragem ao fim do período chuvoso. As amostragens seguiram a Norma Técnica ABNT/NBR 15847/2010 (Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Método de purga) e o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostra CETESB/ANA (CETESB, 2011). Utilizou-se frascos esterilizados e preparados no LTMA da UFS.

A água subterrânea foi coletada com auxílio de *bailers,* enquanto as águas das lagoas foram coletadas superficialmente com frascos previamente higienizados. Os parâmetros pH, condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos (STD) e oxigênio dissolvido (OD) foram aferidos utilizando uma sonda multiparâmetro modelo EXO1 YSI, conforme preconiza o Manual de Procedimentos de Amostragem e Análise Físico-Química de Água da Embrapa.

As amostras foram refrigeradas e encaminhadas para análise laboratorial dos íons (NO_3^-, NO_2^- e NH_3), determinados por cromatografia iônica (METROHM, modelo 882 Compact IC Plus), e de coliformes totais e termotolerantes, pelo método dos tubos múltiplos do *Standard Methods.*

Os valores dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e íons foram comparados com os valores-guia da Portaria GM/MS n° 888/2021, Resolução CONAMA, n° 357/2005 e Resolução CONAMA n° 396/2008. Os limites para nitrato foram comparados com os valores orientadores da CETESB para solo e água subterrânea (Decisão de Diretoria n°125/2021).

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises físico-químicas dos parâmetros pH, OD, CE e STD da água das cinco lagoas e dos cinco poços ao redor da área de estudo estão representados na Figura 2.

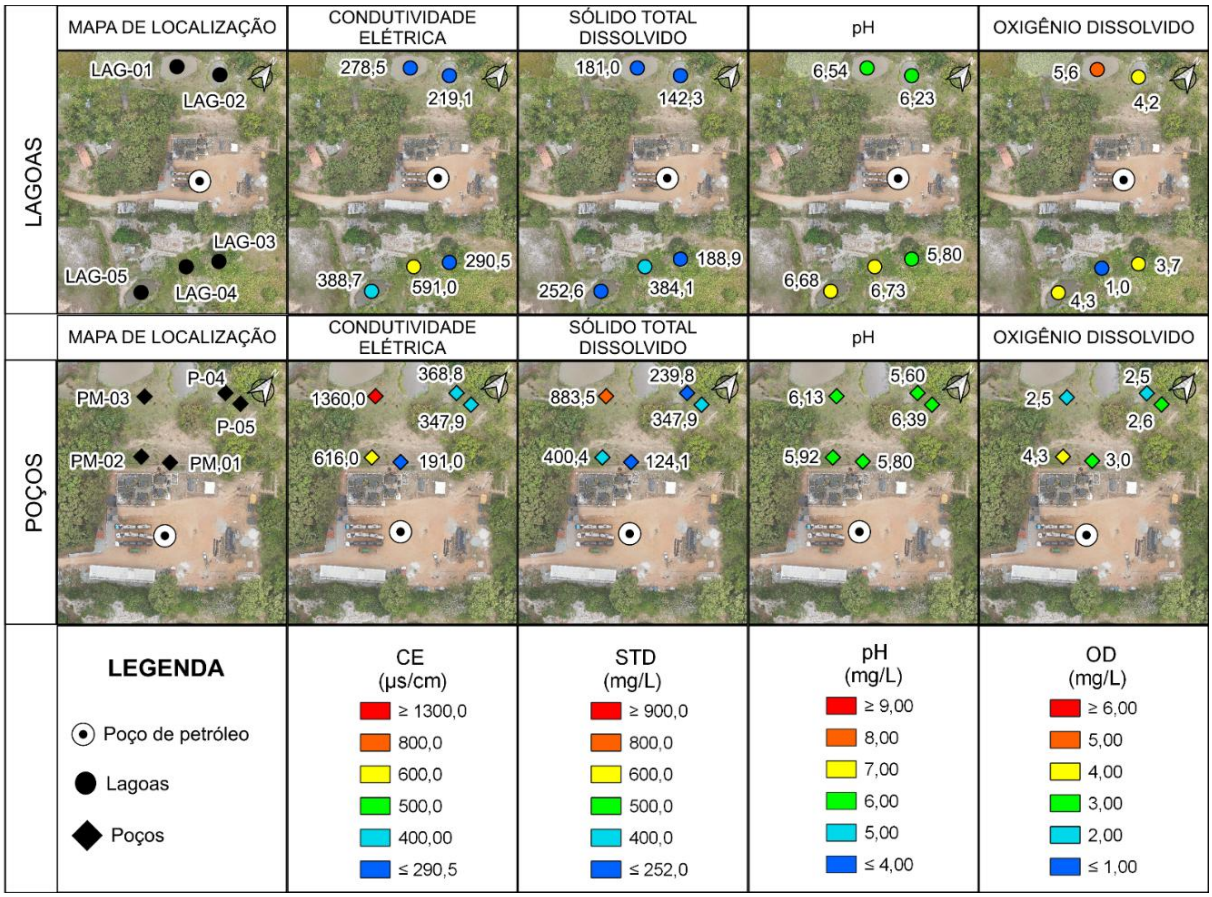


Figura 2 – Mapas de pontos com a distribuição dos parâmetros físico-químicos das lagoas e poços. Fonte: Autor.

O valor de pH apresentou-se mais elevado no P-05, com tendência de leve aumento de montante (PM-01) para jusante (PM-03). Segundo a Portaria GM/MS nº 888/2021 do Ministério da saúde e a Resolução CONAMA n° 357/2005, o intervalo aceitável é de 6,0 e 9,0, de modo que os PM-02, PM-03 e P-05 atendem os limites, enquanto os demais apresentam valores levemente abaixo. Nas lagoas, com exceção da LAG-03, também atendem aos padrões, indicando pH levemente ácido em parte dos poços de água e lagoas.

O valor de STD nos poços, apresentou-se mais elevado e acima do limite de 500 mg/L^{-1} apenas no PM-03, sendo estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/2021. O aumento gradativo de STD ocorre de montante (PM-01) a jusante (PM-03). Nas lagoas, os valores de STD encontra-se mais elevado na LAG-04. Os valores das cinco lagoas estão dentro do limite de 500 mg/L^{-1}.

A CE, é frequentemente associada à associados à contaminação das águas por nitrato, foi registrada a presença deste íon em todos os poços e lagoas. Valores elevados de CE, acima de 1000

µS/cm, podem indicar contaminação por esgoto doméstico ou industrial (Von Sperling, 2007), embora também possam ocorrer naturalmente em contextos específicos, como regiões sob influência salina, litologias ricas em minerais solúveis ou sob intensa evapotranspiração, tais condições não observadas na área de estudo. Todas as lagoas apresentaram valores superiores a 100 µS/cm, e ainda que não tenham sido identificados lançamentos diretos de esgoto nas lagoas, foi constatado a presença de criação de animais no entorno das lagoas e dos poços analisados.

As amostras apresentaram resultados positivos para Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes tanto nos poços quanto nas lagoas, com valores acima dos limites permitidos (Tabela 1). Para Coliformes Termotolerantes, utilizou-se a Resolução CONAMA n° 396/2008 considerando o uso da água para dessedentação animal e eventual consumo humano, devido à observação de animais utilizando as lagoas. Nos poços, este parâmetro não se aplica, uma vez que os animais não possuem acesso direto à água captada.

Para Coliformes Totais, utilizou-se a Portaria GM/MS n°888/2021 para potabilidade. Os resultados de coliformes indicaram presença em quatro poços e nas cinco lagoas. O PM-01 foi o único que indicou ausência. Para Coliformes Termotolerantes, apenas o PM-01 apresentou-se dentro do limite, os demais poços apresentaram resultados positivos, o P-04 com o teor mais elevado. As LAG-02 e LAG-04 apresentaram os teores mais elevados.

Tabela 1 –Resultados das análises microbiológicas dos poços e lagoas.

Ponto de Amostragem	**Coliformes Totais**	**GM/MS 888/2021** POTABILIDADE	**Coliformes Termotolerantes**	**CONAMA 396/2008** CONSUMO HUMANO	**CONAMA 396/2008** DESSEDENTAÇÃO
PM-01	<1,8 UFC/ml	AUSÊNCIA	<1,8 UFC/mL	DENTRO DO LIMITE	-
PM-02	110 UFC/ml	PRESENÇA	46 UFC/mL	MODERADO	-
PM-03	22 UFC/ml	PRESENÇA	22 UFC/mL	MODERADO	-
P-04	49000 UFC/ml	PRESENÇA	2100 UFC/mL	MUITO ALTO	-
P-05	6,8 UFC/ml	PRESENÇA	4,0 UFC/mL	BAIXO	-
LAG 01	44 UFC/ml	PRESENÇA	23 UFC/mL	MODERADO	DENTRO DO LIMITE
LAG 02	490 UFC/ml	PRESENÇA	490 UFC/mL	ALTO	ALTO
LAG 03	330 UFC/ml	PRESENÇA	23 UFC/mL	MODERADO	DENTRO DO LIMITE
LAG 04	1100 UFC/ml	PRESENÇA	790 UFC/mL	ALTO	ALTO
LAG 05	700 UFC/ml	PRESENÇA	49 UFC/mL	MODERADO	DENTRO DO LIMITE

Fonte: Autor.

A presença de coliformes totais e coliformes termotolerantes era esperada, em função do alto risco de contaminação associado à criação de animais, à ausência de um sistema adequado de esgotamento sanitário adequado, o que pode favorecer a infiltração de contaminação provenientes de fossas e sumidouros da comunidade local para o aquífero. Atualmente, a área da EC, há um sistema de tratamento de esgoto por biodigestores, que armazenam os dejetos, para evitar o vazamento e a

contaminação do solo e do aquífero local.

Os resultados das amostras de água apresentaram amônia, nitrato e nitrito. Para as lagoas, utilizou-se como referência os limites da Resolução CONAMA n° 396/2008 para dessedentação animal, que estabelece 90 mg/L para o nitrato e 10 mg/L para nitrito, não havendo valor de referência para amônia. Nos poços, adotou-se a CETESB n° 125/2021, que define o valor de intervenção para nitrato acima de 10 mg/L, não há valores para amônia e nitrito. Estes compostos nitrogenados são nutrientes em ambientes aquáticos, mas em altas concentrações, podem contribuir para processo de eutrofização.

A amônia foi detectada nas cinco lagoas, com teor mais elevado na LAG-05, com exceção do PM-03 os demais poços apresentaram amônia. Além disso, considera-se ainda que a amônia presente nos poços e lagoas possa estar relacionada à decomposição da matéria orgânica, hipótese reforçada pela presença de coliformes e pela utilização das lagoas por animais para dessedentação.

O nitrito foi detectado em três lagoas, com teor mais elevado na LAG-05, nenhuma das três lagoas apresentaram valores superiores a 10,0 mg/L. Nos poços, o nitrito foi detectado em dois dos cinco poços, com valor elevado no PM-03. A presença do nitrito é considerada indicativa de contaminação recente por matéria orgânica de origem animal ou vegetal, podendo estar associada à nitrificação, promovida por microrganismos oriundos de dejetos animais e ao uso de fertilizantes e pesticidas, especialmente nas porções sul e sudeste da área.

O nitrato, produto final da oxidação da matéria orgânica, ocorre naturalmente em baixas concentrações, mas pode ser intensificado por ações antrópicas, como esgotos, fossas sépticas, lixões, cemitérios e fertilizantes. Foi detectado nitrato nas cinco lagoas, com concentração mais elevada na LAG-05. Todos os poços apresentaram valores de nitrato acima de 10,0 mg/l, indicando possível contaminação. Esses resultados atestam aporte de compostos nitrogenados, favorecendo a eutrofização, uma vez que a amônia e nitrito são convertidos em nitrato pelo processo de nitrificação. Além disso, os resultados físico-químicos dos poços indicaram uma elevada CE, embora não tenham sido observados outros indícios superficiais evidentes de contaminação por despejos ou vazamentos superficiais de resíduos industriais ou de petróleo.

Os mapas a seguir (Figura 3) apresentam a localização das lagoas e poços e seus respectivos teores de amônia, nitrito e nitrato.

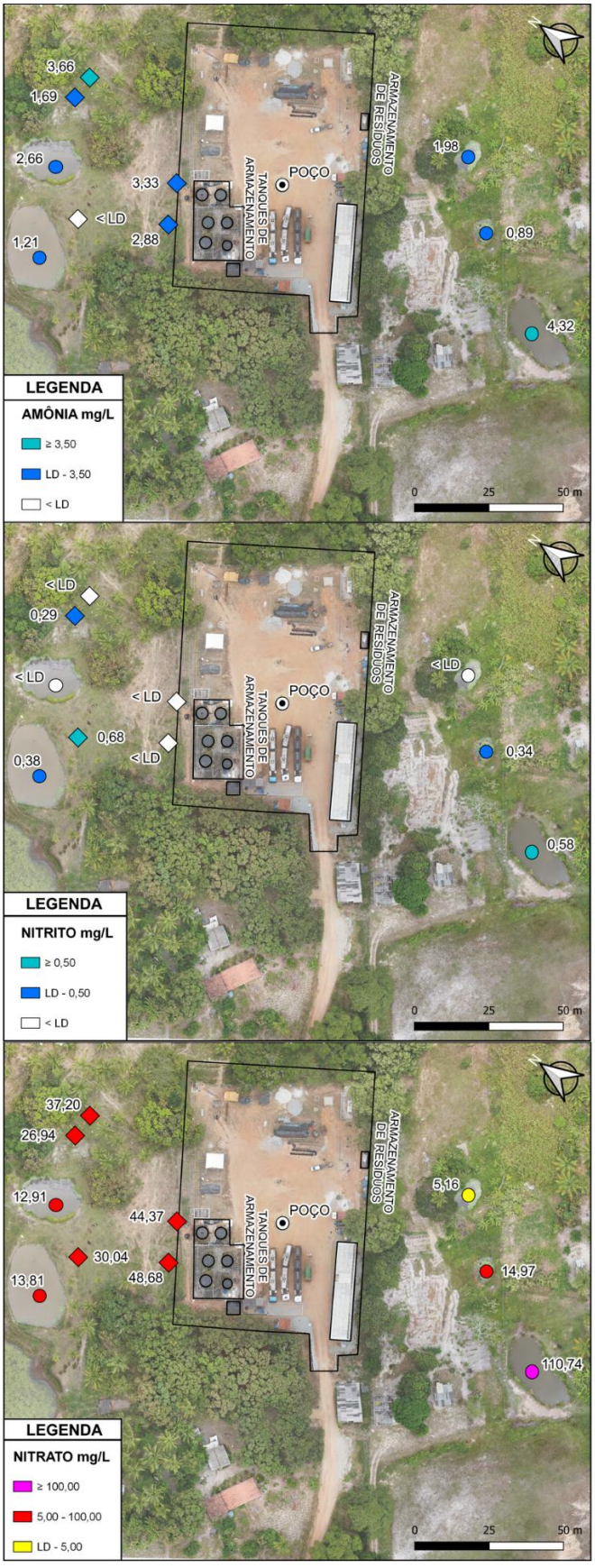


Figura 3 – Mapas com a distribuição dos compostos nitrogenados nas lagoas e poços. Fonte: Autor.

6 – CONCLUSÃO

A análise das condições ambientais na área da EC, no município de Santo Amaro das Brotas, revelou uma vulnerabilidade significativa dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais à contaminação antrópica. Embora os resultados tenham sido obtidos a partir de uma única campanha amostral e o estudo esteja limitado à comparação dos teores identificados nas análises apenas com as normas vigentes, não levando em consideração a sazonalidade da região, os resultados indicaram a presença de coliformes e compostos nitrogenados nas águas superficiais e subterrâneas, evidenciando influência antrópica na qualidade da água. Entre as lagoas, o teor mais elevado de amônia (NH_3), de 4,3 mg/L ocorre na LAG-05. Os poços com exceção do PM-03 apresentaram resultados superiores a 1,2 mg/L para potabilidade e aos valores reportados na literatura de entre 0,24 e 0,70 mg/L, indicando possível contaminação hídrica, resultado da presença dos animais do local. A LAG-05 apresentou elevada concentração de nitrato (NO_3-), de 110,74 mg/L. Os poços também apresentaram concentrações de nitrato superiores a 10 mg/L. O PM-02 mostrou-se relevante para a detecção de possíveis vazamentos de óleo devido à proximidade com os tanques de armazenamento. Como observado em campo, apesar das águas dos poços e das lagoas não estejam sendo utilizadas para consumo humano, as lagoas são utilizadas para dessedentação animal e apresentaram elevados teores de nitrato e coliformes, podendo representar risco à saúde destes animais. Portanto, é de extrema importância o monitoramento constante dos parâmetros físico-químicos, bacteriológicos e de hidrocarbonetos em períodos chuvosos e secos, a fim de correlacionar os índices pluviométricos com os teores obtidos das análises das águas superficiais e subterrâneas. Além disso, é importante conscientizar a comunidade local para que se evite o consumo dessas águas, a fim de prevenir eventuais riscos à saúde da população e dos animais.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2010). *ABNT NBR 15847: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Método de purga*. ABNT, Rio de Janeiro – RJ, 20 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE (2021). *Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021*. Diário Oficial da União, seção 1, Brasília – DF, 5 maio 2021. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562. Acesso em: 3 nov. 2024.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (2011). *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas*. Org. por Brandão, C.J. et al., CETESB, São Paulo – SP; ANA, Brasília – DF, 67 p. Disponível em:

https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57612/1/Doc232ultima-versao.pdf. Acesso em: 5 fev. 2025.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (2021). *Decisão de Diretoria nº 125/2021/E, de 09 de dezembro de 2021: atualização dos valores orientadores para solo e águas subterrâneas*. CETESB, São Paulo – SP. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/12/DD-125-2021-E-Atualizacao-dos-Valores-Orientadores-paa-solo-e-aguas-subterraneas.pdf. Acesso em: 25 out. 2024.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (2005). *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005*. Diário Oficial da União, Brasília – DF. Disponível em: https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747#_ftn1. Acesso em: 15 abr. 2025.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (2008). *Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008*. Diário Oficial da União, Brasília – DF. Disponível em: https://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/projetos/qualidade-da-agua/legislacao/resolucoes/resolucao-conama-no-396-de-3-de-abril-de-2008/view. Acesso em: 10 jan. 2025.

FONTES, A.L.; COSTA, J.J. (2008). "O quaternário costeiro no município de Barra dos Coqueiros: implicações para a gestão ambiental". *Geonordeste* 19(1). Disponível em: http://www.seer.ufs.br/index.php/geonordeste/article/view/2484/2149. Acesso em: 11 mar. 2025.

FU, X.; HOU, R.; YANG, P.; QIAN, S.; FENG, Z.; CHEN, Z.; WANG, F.; YANG, R.; CHEN, H.; ZHOU, B. (2022). "Application of external carbon source in heterotrophic denitrification of domestic sewage: A review". *Science of The Total Environment* 817, 153061. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.153061. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153061. Acesso em: 13 abr. 2025.

HOLCOMB, D.A.; STEWART, R.J. (2020). "Microbial indicators of fecal pollution: Recent progress and challenges in assessing water quality". *Current Environmental Health Reports* 7, pp. 311–324. DOI: 10.1007/s40572-020-00278-1. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s40572-020-00278-1. Acesso em: 20 jan. 2025.

VILLANUEVA, M.; MENG, Q.; SHEARSTON, J.A.; MORELLO-FROSCH, R.; CUSHING, L.J. (2026). "Health effects of living near petroleum and biofuel refineries: A systematic evidence map and scoping review". *Current Environmental Health Reports* 13(1), 11. DOI: 10.1007/s40572-026-00530-0.

VON SPERLING, M. (2007). *Estudos de modelagem da qualidade da água de rios*. UFMG, Belo Horizonte – MG, v. 7, 452 p.

ZHAO, Y.; HAN, Y.; LU, H.; DU, Q.; XIA, X.; TENG, Y.; ZUO, R.; WANG, J. (2022). "Interactions between anthropogenic pollutants (biodegradable organic nitrogen and ammonia) and the primary hydrogeochemical component Mn in groundwater: Evidence from three polluted sites". *Science of The Total Environment* 808, 152162. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152162. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152162. Acesso em: 18 mar. 2025.