

Comparação do efeito da cheia histórica no rio madeira e 4 anos após o evento da enchente, na contaminação da água subterrânea de Porto Velho/RO

Comparison of the effect of the historic flood in the madeira river and 4 years later flood, on groundwater contamination in Porto Velho/RO

Comparación del efecto de la inundación histórica del río madeira y 4 años después de la inundación, en la contaminación del agua Subterránea en Porto Velho/RO

DOI: 10.55905/oelv22n11-245

Receipt of originals: 10/18/2024

Acceptance for publication: 11/08/2024

Katarina Rempel

Bacharel em Geologia

Instituição: Serviço Geológico do Brasil (SGB – CPRM)

Endereço: Porto Velho, Rondônia, Brasil

E-mail: katarina.rempel@sgb.gov.br

Eliomar Pereira da Silva Filho

Doutor em Geociências e Meio Ambiente

Instituição: Universidade Federal de Rondônia (UNIR)

Endereço: Porto Velho, Rondônia, Brasil

E-mail: eliomarfilho@uol.com.br

RESUMO

A pesquisa determinou a dinâmica da contaminação antropogênica da água subterrânea, especialmente após a histórica enchente do Rio Madeira em 2014 e comparou com 4 anos após o evento de enchente. O estudo envolveu a análise de amostras de água de 580 poços durante diferentes períodos climáticos em 2012, 2013 e 2014 e comparou com análises do ano de 2018. Os resultados indicaram que os níveis de contaminação, especialmente as concentrações de nitrato, variaram de acordo com os padrões de precipitação e foram afetados pela enchente, com implicações para a saúde pública e segurança da água. Concluiu-se que a água subterrânea não tratada na área é imprópria para consumo devido à contaminação por sistemas de esgoto. O estudo proporciona auxílio para as autoridades locais na melhoria da gestão da água e na qualidade de vida.

Palavras-chave: Contaminação, Saúde, Saneamento, Enchente.

ABSTRACT

The research determined the dynamics of anthropogenic groundwater contamination, especially after the historic Madeira River flood in 2014, and compared it with conditions four years after the flood event. The study involved the analysis of water samples from 580 wells during different climatic periods in 2012, 2013, and 2014, and compared them with analyses from 2018. The results indicated that contamination levels, especially nitrate concentrations, varied according to precipitation patterns and were affected by the flood, with implications for public health and water safety. It was concluded that untreated groundwater in the area is unfit for consumption due to contamination from sewage systems. The study provides support to local authorities in improving water management and quality of life.

Keywords: Contamination, Health, Sanitation, Flood.

RESUMEN

La investigación determinó la dinámica de la contaminación antropogénica del agua subterránea, especialmente después de la histórica inundación del Río Madeira en 2014, y la comparó con las condiciones cuatro años después del evento de inundación. El estudio incluyó el análisis de muestras de agua de 580 pozos durante diferentes períodos climáticos en 2012, 2013 y 2014, y las comparó con los análisis de 2018. Los resultados indicaron que los niveles de contaminación, especialmente las concentraciones de nitrato, variaron según los patrones de precipitación y se vieron afectados por la inundación, con implicaciones para la salud pública y la seguridad del agua. Se concluyó que el agua subterránea no tratada en la zona no es apta para el consumo debido a la contaminación por sistemas de alcantarillado. El estudio brinda apoyo a las autoridades locales para mejorar la gestión del agua y la calidad de vida.

Palabras clave: Contaminación, Salud, Saneamiento, Inundación.

1 INTRODUÇÃO

Aproximadamente 97,5% da água considerada salubre naturalmente para a humanidade encontra-se acumulada em aquíferos. A gestão desse recurso considerado estratégico é fundamental, principalmente em áreas urbanas que não possuem saneamento básico satisfatório

No Brasil, o tratamento de esgoto sempre foi considerado um luxo, apesar da Organização Mundial da Saúde (OMS) apontar que cada dólar investido em saneamento básico economiza de quatro a cinco dólares em despesas hospitalares (Rebouças,2023).

Em Porto Velho, a infraestrutura de saneamento não acompanhou o crescimento demográfico acelerado, resultando em um déficit significativo em relação ao esgotamento sanitário e à rede de água tratada.

A área urbana de Porto Velho enfrenta grandes desafios devido à contaminação das águas subterrâneas, causada principalmente pela ausência de esgotamento sanitário adequado e pelo uso de fossas sem proteção (Porto Velho, 2018). A situação foi exacerbada pela cheia histórica do Rio Madeira em 2014, que aumentou a vulnerabilidade das fontes de água subterrânea à contaminação por fossas e águas superficiais contaminadas (Rempel, 2021).

O objetivo principal desta pesquisa foi o de comparar a dinâmica espacial das contaminações na água subterrânea de Porto Velho, em decorrência da falta de esgotamento sanitário somada ao impacto da recarga de água adicionada pela cheia histórica do Rio Madeira (2014) e seus impactos anos após este evento. Este estudo considerou os dados do Projeto Índice de Qualidade das Águas Subterrâneas de Porto Velho, conduzido pelo Serviço Geológico do Brasil, nos anos de 2012 e 2013 e analisou a influência da cheia histórica do Rio Madeira em 2014 nessa dinâmica considerando a recarga adicional de água que o aquífero recebeu no ano da maior enchente já registrada, e alguns anos posteriores ao evento, fornecendo, assim, dados para que os órgãos públicos possam identificando as áreas mais impactadas para melhorar a gestão e a implantação de esgotamento sanitário e abastecimento de água.

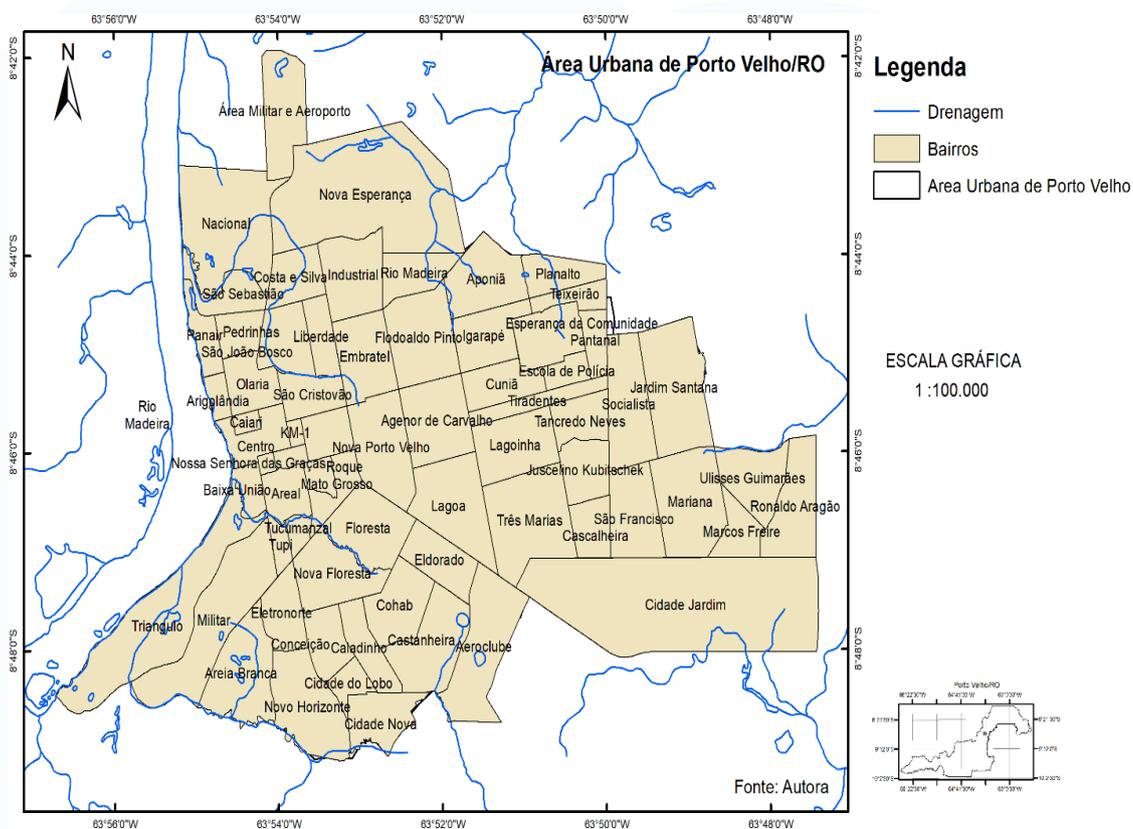
Existe uma necessidade urgente de estudos e investimentos em saneamento básico para melhorar a qualidade de vida da população de Porto Velho e proteger os recursos hídricos subterrâneos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para o desenvolvimento da pesquisa foi utilizado como área de estudo a área urbana da cidade de Porto Velho (figura 1), capital do Estado de Rondônia. O principal acesso é terrestre pela BR-364, que liga todo o estado de Rondônia, chegando à capital

do Mato Grosso. Possui uma população de pouco mais de 460 mil habitantes, sendo 89% residentes da área urbana e apenas 11% residentes do meio rural (IBGE, 2023).

Figura 1 – Localização da área de estudo

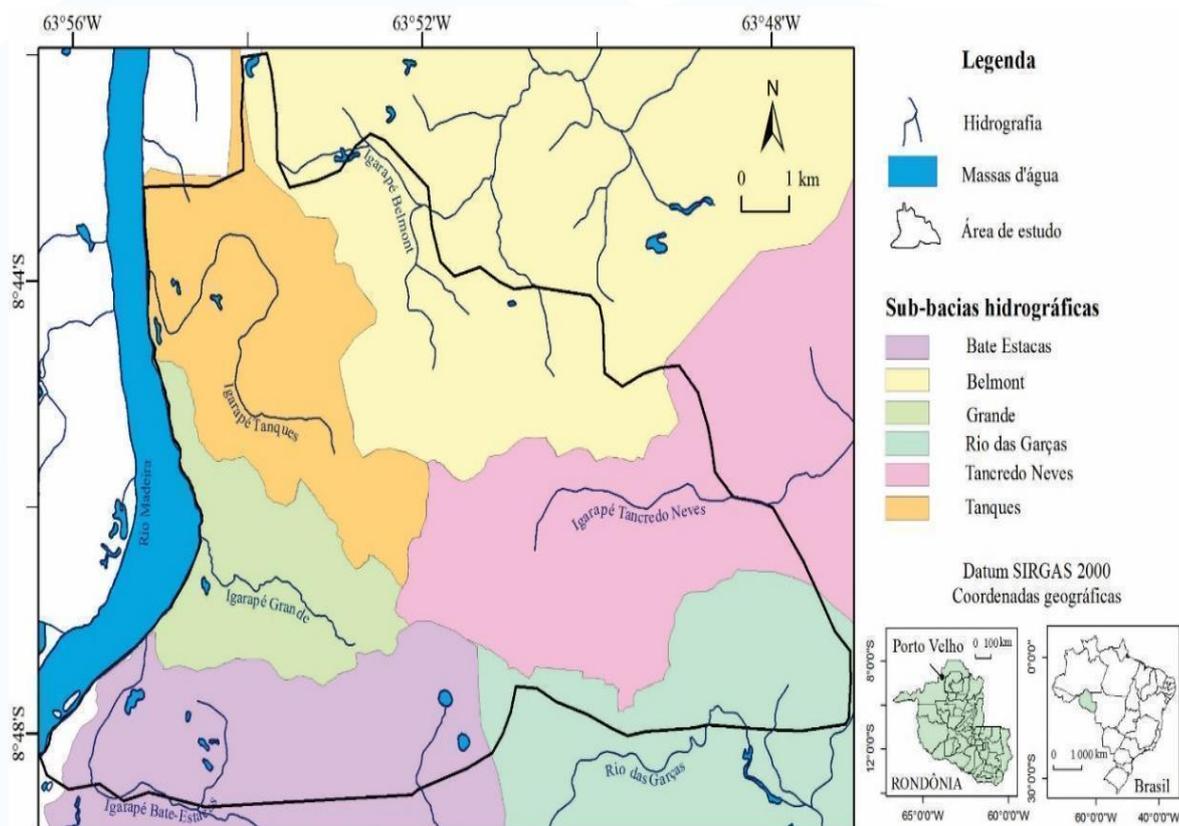


Fonte: autores, 2024.

2.1 Sub-bacias urbanas

A área urbana da cidade de Porto Velho abrange seis sub-bacias: Bate Estacas, Belmont, Grande, Rio das Garças, Tancredo Neves e Tanques, conforme ilustrado na figura 2 (SIPAM, 2014), onde estão inseridos os igarapés Bate Estacas, Belmont, Grande e Tanques, que desaguam diretamente no Rio Madeira, e o igarapé Tancredo Neves o rio das Garças, que deságuam no rio Candeias do Jamari, afluente do Rio Madeira.

Figura 2 – Sub-bacias na área urbana de Porto Velho/RO.



Fonte: Alves (2016), modificado de SIPAM, (2014).

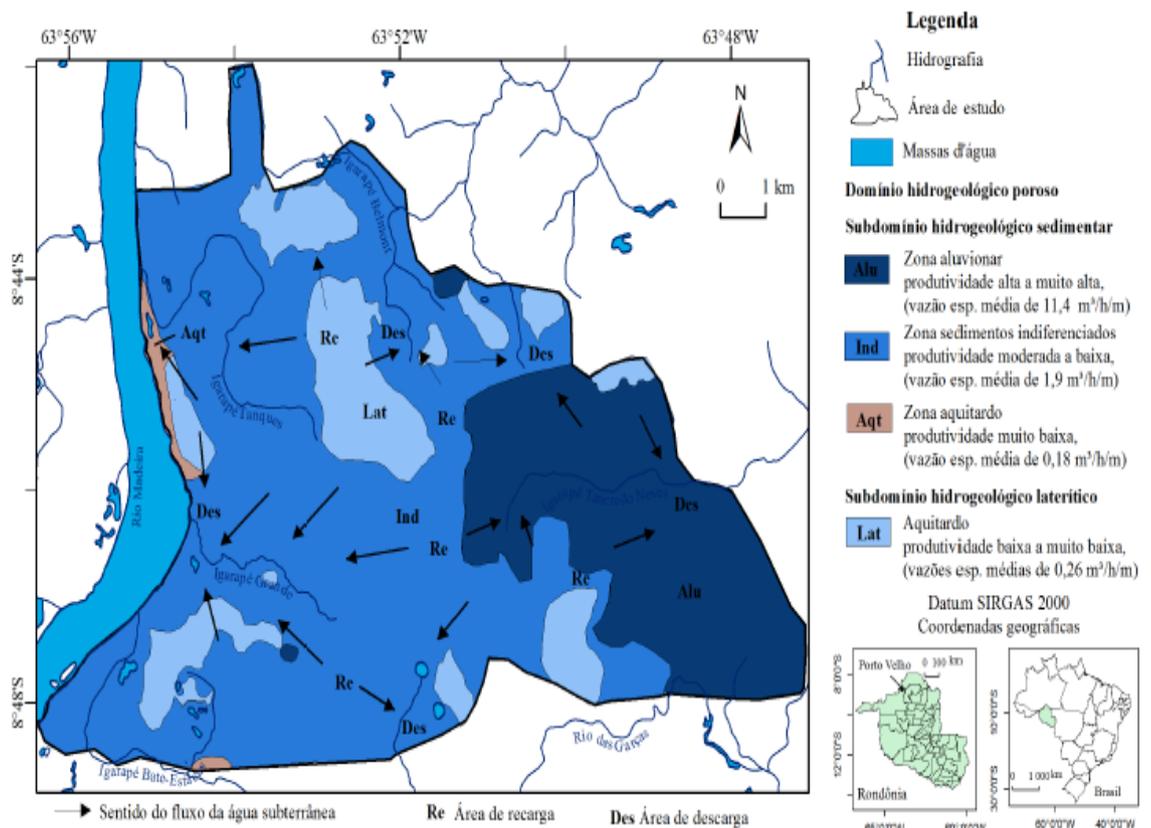
2.2 Dinâmica do Aquífero da Área Urbana

Em relação à hidrogeologia e ao fluxo subterrâneo, segundo Alves (2016), o nível potenciométrico da água subterrânea em Porto Velho acompanha a topografia visto que os níveis elevados estão localizados nos altos topográficos formados próximos às áreas onde o perfil laterítico está mais superficial, e os níveis baixos estão localizados nos baixos topográficos, próximos das drenagens.

Com relação aos locais de recargas, os mesmos foram definidos por Alves (2016), a partir das linhas de fluxo subterrâneo divergentes, onde os níveis potenciométricos e as

cotas são relativamente elevadas. Entretanto, porções do terreno com cotas intermediárias do subdomínio sedimentar podem representar locais de recargas por serem constituídos de material permeável. Esses locais são responsáveis pelo abastecimento dos aquíferos livres e semiconfinados do domínio poroso e sua possível fonte de recarga direta pode estar relacionada às águas pluviais. Porções desse domínio hidrogeológico poroso que apresentam declividades mais acentuadas e próximas às drenagens são desfavoráveis à recarga do aquífero e possivelmente indicam locais de descargas (figura 3).

Figura 3 – Modelo conceitual hidrogeológico da área urbana de Porto Velho



Fonte: Alves, 2016.

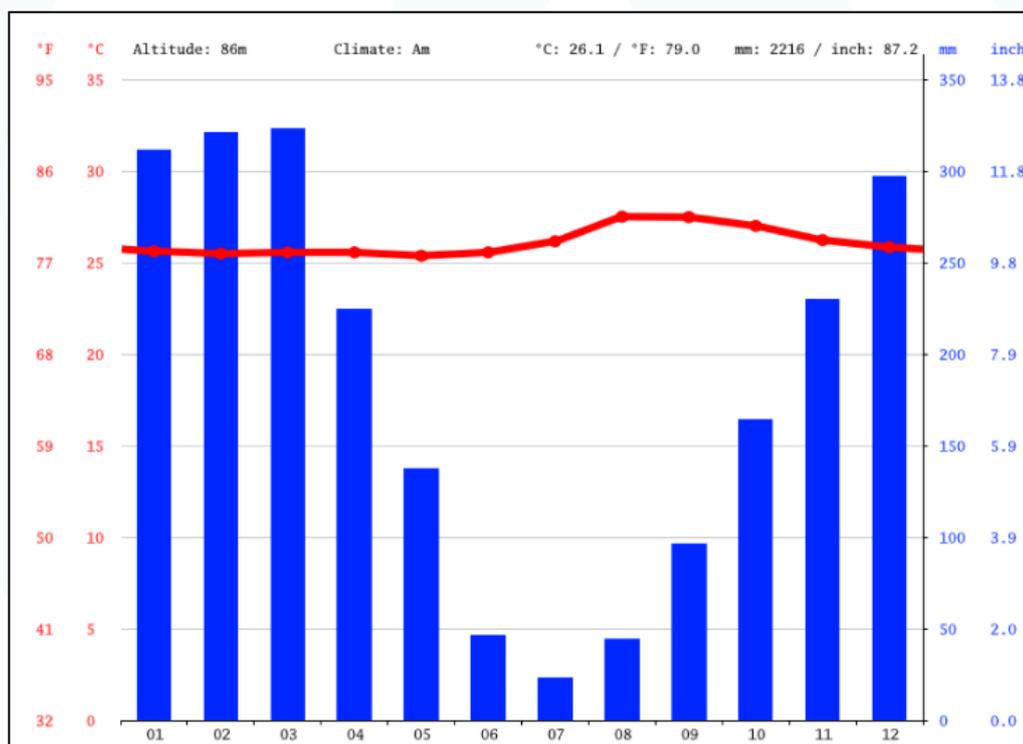
2.3 Clima

Rondônia apresenta um clima tropical chuvoso, caracterizado por temperaturas médias superiores a 18°C durante o mês mais frio (clima megatérmico). A região tem um período seco bem definido no inverno, com déficit hídrico moderado e índices de chuva

inferiores a 50 mm por mês (RONDÔNIA, 2002).

O regime de chuvas do município é marcado por uma clara sazonalidade, com um período chuvoso de novembro a abril, onde a precipitação mensal varia entre 228,9 mm e 329,6 mm. O período de estiagem ocorre de junho a setembro, com precipitação mensal entre 38,7 mm e 107,7 mm. Maio e outubro são considerados meses de transição entre os períodos de chuva e seca. O gráfico 1 apresenta o regime médio mensal de chuvas entre 2005 e 2012, conforme dados da Organização Não Governamental Climate data for cities worldwide.

Gráfico 1 – Gráfico de pluviosidade mostrando a variação das chuvas e da temperatura em Porto Velho/RO entre os anos de 1991 a 2021.



Fonte: CLIMATE-DATA (2024.).

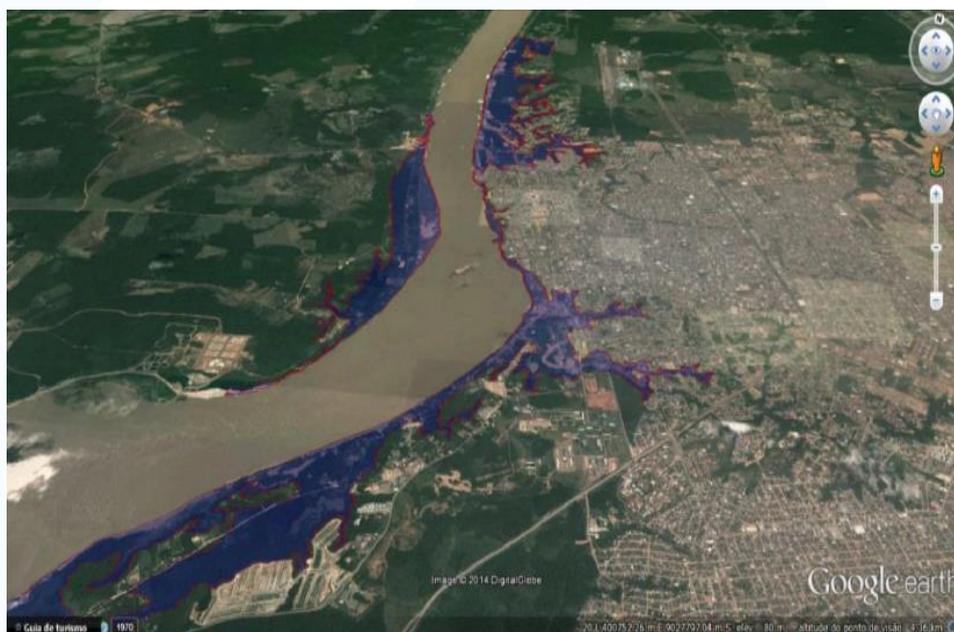
2.4 A Cheia Histórica

O início do ano de 2014 foi crítico para o município de Porto Velho. Apesar dos índices de precipitações locais não terem ultrapassado a média, devido a chuvas anômalas que ocorreram em território boliviano, local onde se localiza as cabeceiras do Rio

Madeira, fizeram com que o rio recebesse um grande aporte de água de seus afluentes, provocando inundações de proporções inéditas nos registros. Estas inundações atingiram grande parte do centro comercial urbano (Silva e Mendonça, 2014).

O mapeamento da mancha de inundação urbana foi realizado com a finalidade de mapear a mancha de maior cota atingida (Silva e Mendonça, 2014). Na figura 4 é apresentado a área inundada referente à cota 19,50 (cota máxima atingida 19,73).

Figura 4 – Inundação margens esquerda e direita do Rio Madeira, polígono de abrangência de inundação delimitado em vermelho.

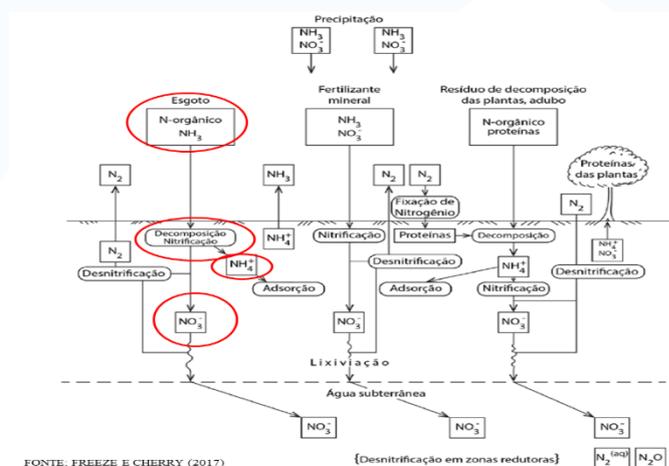


Fonte: Silva e Mendonça (2014).

2.5 Contaminação por falta de esgotamento sanitário

A contaminação por falta de saneamento básico, em específico em relação ao tratamento de efluentes domésticos é caracterizada pela presença de grandes quantidade de compostos nitrogenados. A sequência dos compostos de nitrogênio na água subterrânea (figura 5) pode variar dependendo das condições específicas e das fontes de contaminação.

Figura 5 - Sequência dos compostos de nitrogênio na água subterrânea -



Fonte: Freeze e Cherry, 2017.

Os compostos de nitrogênio na água subterrânea podem ser encontrados na seguinte ordem:

- Nitrogênio orgânico: O nitrogênio orgânico ocorre naturalmente na água subterrânea e provém de matéria orgânica em decomposição, como resíduos vegetais e animais. É uma forma de nitrogênio que está ligada a compostos orgânicos complexos.
- Amônia (NH₃): A amônia é uma forma de nitrogênio inorgânico que pode estar presente na água subterrânea como resultado da decomposição de matéria orgânica e de atividades agrícolas, como o uso de fertilizantes à base de amônia.
- Nitrito (NO₂⁻): O nitrito é uma forma de nitrogênio inorgânico oxidado e pode ser encontrado na água subterrânea como resultado da oxidação da amônia. A presença de nitrito pode indicar processos de nitrificação em curso.

- Nitrato (NO_3^-): O nitrato é a forma mais oxidada e estável de nitrogênio inorgânico. Pode ser encontrado na água subterrânea como resultado da oxidação do nitrato ou da aplicação excessiva de fertilizantes contendo nitrato. A presença elevada de nitrato na água subterrânea pode indicar a contaminação por atividades agrícolas intensivas ou pelo uso inadequado.

3 METODOLOGIA

Durante os anos de 2012, 2013 e 2014, no final dos períodos de alta e de baixa pluviosidade, o SGB (Serviço Geológico do Brasil), denominado à época de CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) desenvolveu um projeto denominado IQAS – Índice da Qualidade da Água Subterrânea, onde foram coletadas amostras de água subterrâneas em poços na área urbana da cidade de Porto Velho. Este projeto analisou vários parâmetros destas coletas, entre eles compostos nitrogenados.

3.1 Coleta de Dados

Os resultados laboratoriais dos parâmetros analisados foram organizados em planilhas eletrônicas (Microsoft Office Excel) para posterior descrição estatística e estudo da correlação espacial através de métodos geoestatísticos.

3.2 Interpolação dos Dados (Geoestatística)

Interpolar é predizer (ou estimar) o valor da variável em estudo num ponto não

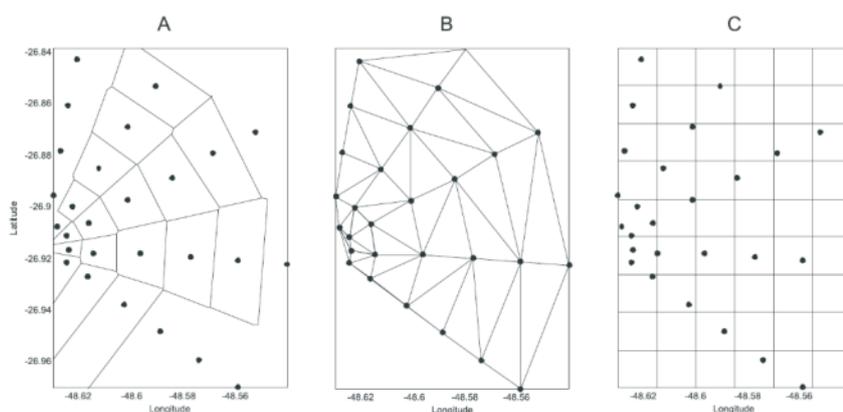
Para interpolar dados espaciais é necessário a construção de uma malha envolvendo todo o domínio dos pontos amostrais. Segundo Carmo (2001), há diversos métodos de gradeamento, sendo capazes de gerar grades regulares e irregulares. As grades irregulares mais utilizadas são polígonos Thiessen, também conhecidos como diagramas Voronoi ou Dirichlet, e triângulos Delaunay.

Polígonos Thiessen dividem a região em áreas ao redor dos pontos amostrais, tal que qualquer ponto de uma dada área estará mais próximo do seu ponto amostral do que de ponto amostral vizinho. Triângulos Delaunay formam uma rede de triângulos

interligados, onde os vértices são os pontos amostrais. Os triângulos são criados de maneira que sejam os mais próximos possíveis a equiláteros, e para um conjunto de dados só há uma triangulação otimizada possível. As malhas regulares possuem formato quadrangular, formada por linhas paralelas e ortogonais, e os pontos de intersecção entre linhas são definidos como nós (DAVIS, 1986).

Segundo Watson (1992), muitos métodos que funcionam bem para dados distribuídos regularmente, não funcionam para dados com distribuição irregular. Assim, foram criados métodos que convertem dados espaciais coletados em malha irregular para malha regular, estimando através de interpolação os valores nos nós da malha. Malhas geradas para polígonos Thiessen, triângulos Delaunay e malha regular podem ser usadas em casos de pontos amostrais distribuídos de forma irregular (Figura 22).

Figura 61 – Exemplos de polígonos Thiessen (A), triangulação Delaunay (B) e malha regular de 10x7 (C) construída sobre os 28 pontos amostrais de distribuição radial.



Fonte: Watson (1992).

Hartkamp *et al.* (1999), apresentam que quando os dados são abundantes e regularmente distribuídos, as metodologias de interpolação geram resultados similares. Por outro lado, quando os dados são escassos, há uma grande variação dos resultados gerados. Portanto, a questão de qual o melhor método a ser aplicado sobre um determinado conjunto de dados amostrais torna-se pertinente. Não existe teoria estatística capaz de prever qual técnica é superior (DAVIS, 1986).



Isaaks e Srivastava (1989), afirmam que não há uma resposta simples para a escolha de um interpolador espacial apropriado ou superior, e colocam ainda que isto depende de inúmeras variáveis, como por exemplo a configuração espacial dos dados e o parâmetro a ser estudado. Childs (2004) afirma que cada método de interpolação pode ser útil para uma utilização específica, que depende principalmente do fenômeno estudado e da distribuição espacial dos pontos amostrais. Há poucas referências a estudos comparativos entre metodologias de interpolação espacial. Mello *et al.* (2003) e Torres *et al.* (2001) colocam que autores já fizeram abordagens gerais dos métodos de interpolação em diversas áreas de pesquisa como ciência do solo, ecologia, meteorologia, hidrologia, engenharia florestal, e, no entanto, não foi estabelecido qual ou quais métodos apresentaram maior precisão.

A função interpolante que utiliza todas essas características é a Vizinho Natural, também conhecida como *Natural Neighbor*, este método interpolador não extrapola valores, resolvendo a interpolação somente para o interior do domínio dos dados. Esta técnica utiliza polígonos Thiessen para avaliação de pesos para os pontos. Este método faz a interpolação através da média ponderada dos pontos vizinhos, onde os pesos são proporcionais às áreas proporcionais. Fórmula:

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij} Z_{ij}}{\sum_{j=1}^n W_{ij}}$$

Onde:

Z_i é o valor de um ponto i qualquer a ser calculado;

Z_{ij} é a altitude de uma amostra j vizinha do ponto i da malha

W_{ij} é o peso ou fator de ponderação

3.3 Mapas

Os mapas foram confeccionados utilizando o software ArcGIS versão 10.6, com projeção UTM e datum WGS-84. Foram interpoladas as concentrações dos compostos

nitrogenados (amônia e nitrato) nas amostras coletadas nos finais dos períodos chuvoso e seco dos anos de 2012, 2013 e 2014. Esses mapas permitiram visualizar a distribuição espacial das contaminações e avaliar os impactos da cheia histórica do Rio Madeira em 2014.

3.4 Contaminantes

Os contaminantes analisados incluíram amônia e nitrato, que representam as formas inicial e final do ciclo do nitrogênio respectivamente. A interpolação dessas concentrações foi feita utilizando o método Natural Neighbor, permitindo a avaliação espacial da dispersão dos contaminantes. Os resultados mostraram a variabilidade das concentrações de contaminantes em diferentes períodos e ajudaram a identificar áreas mais afetadas pela contaminação.

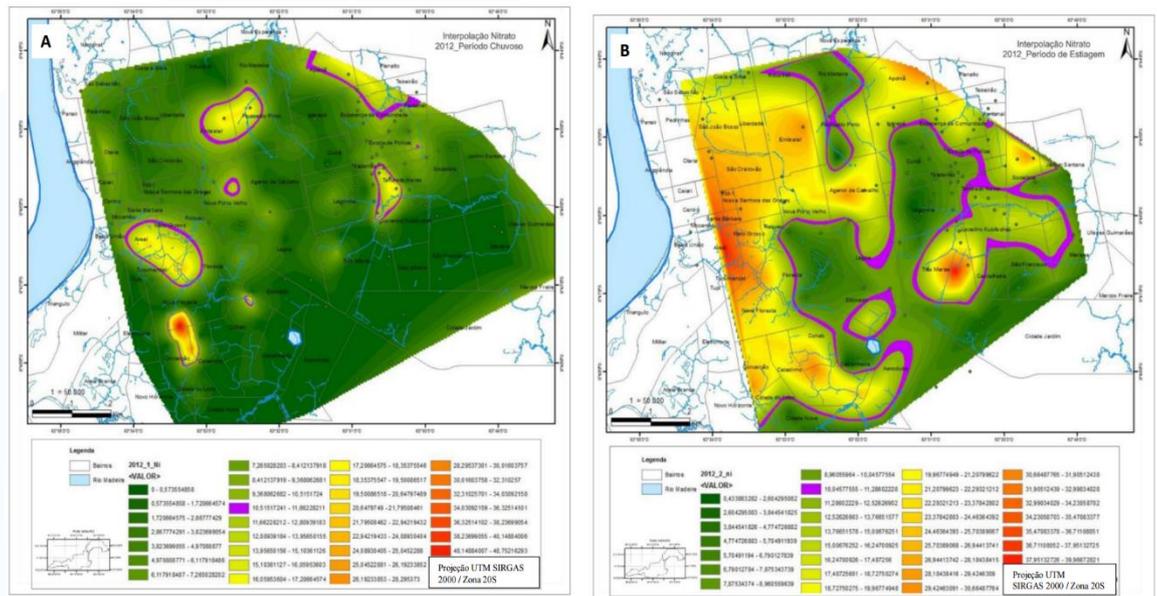
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os contaminantes analisados representam as formas de compostos nitrogenados no início (amônia) e no final do ciclo do nitrogênio (nitrato) e indicam contaminações antrópicas por esgotamentos sanitários inadequados.

Os dados foram agrupados e tratados, sendo referenciados como: ANO-1 referente aos dados das coletas do final do período chuvoso daquele ano (Maio/Junho) e ANO-2 referente aos dados das coletas do final de estiagem daquele ano (Outubro/Novembro).

Foram realizadas interpolações de alguns contaminantes de nitrogênio na água subterrânea de Porto Velho nos anos de 2012, 2013 (figuras 7 A e B, respectivamente) e 2014 (figura 8).

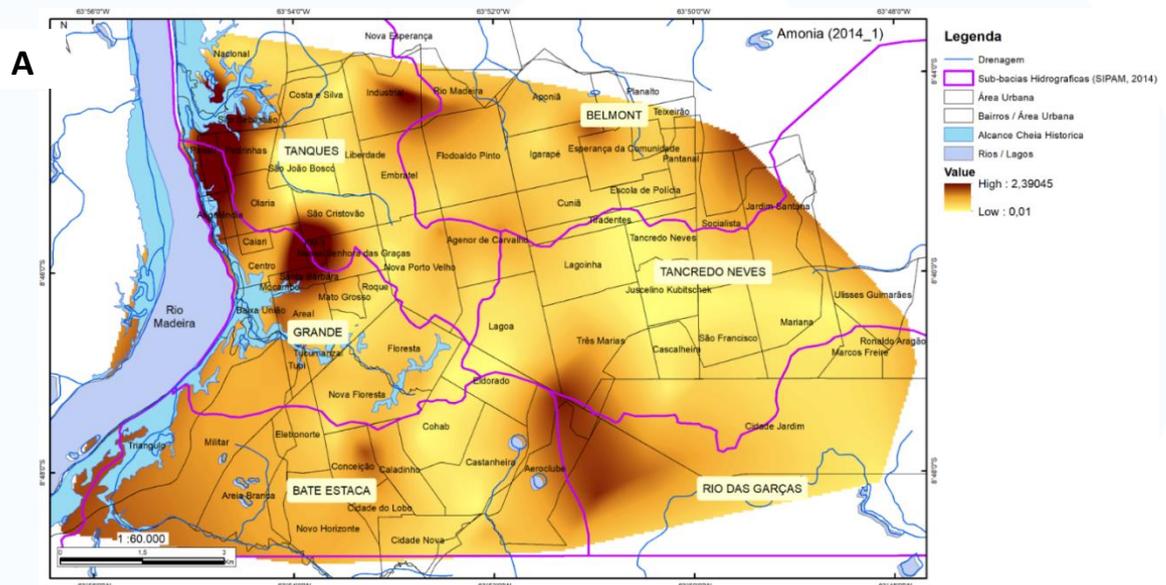
Figura 7 – Interpolação das concentrações de Nitrato no ano de 2012 nos períodos chuvoso (A) e de seca (B)

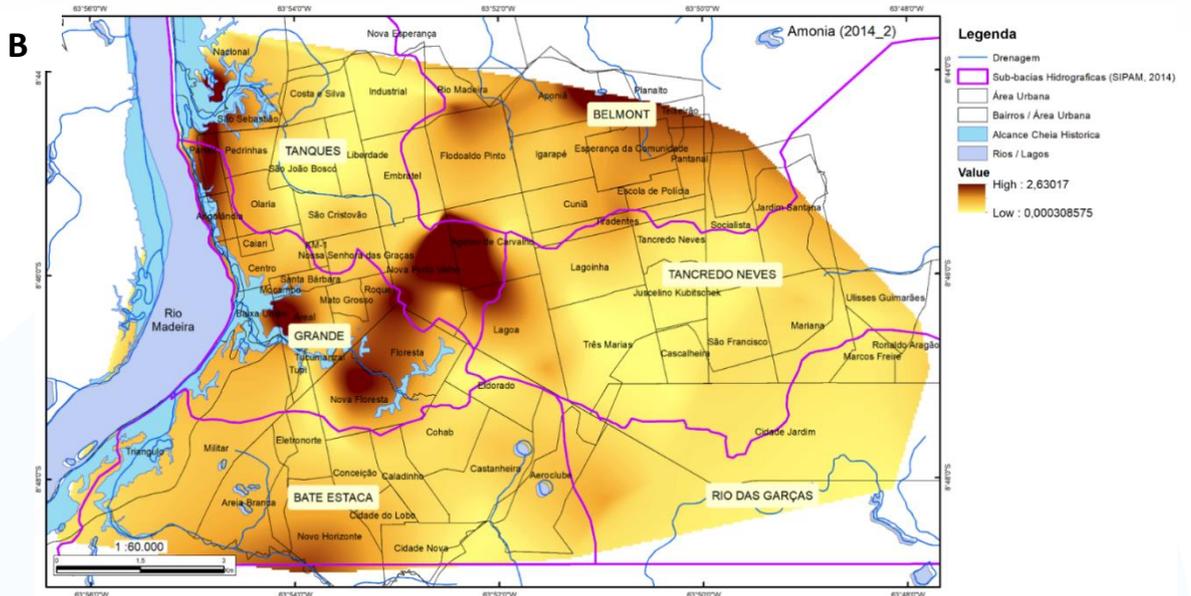


Fonte: Rempel, 2021.

Analisando o ambiente aquático subterrâneo no ano de 2014 é possível observar que com toda a recarga adicional da cheia histórica e o comportamento dos contaminantes nitrogenados: amônia (figura 9 A) e nitrato (figura 10 B), neste sistema aquífero.

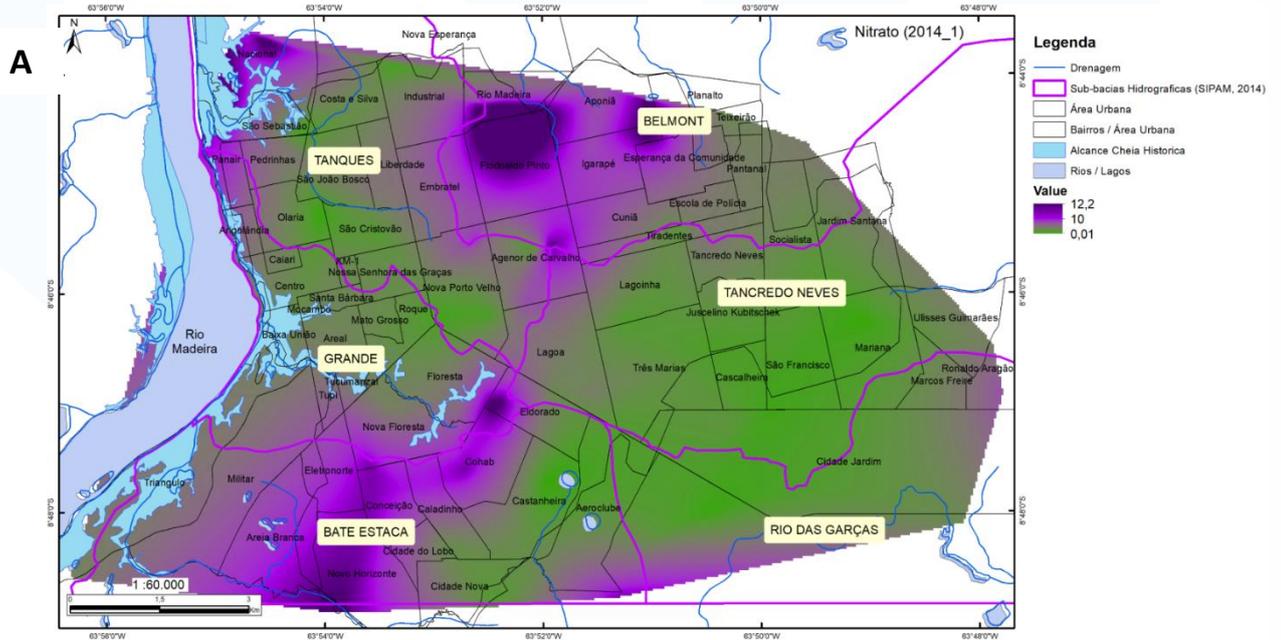
Figura 9 A e B – Mapas da interpolação das concentrações de amônia referente as amostras coletadas no ano de 2014 nos períodos chuvoso e de seca respectivamente.

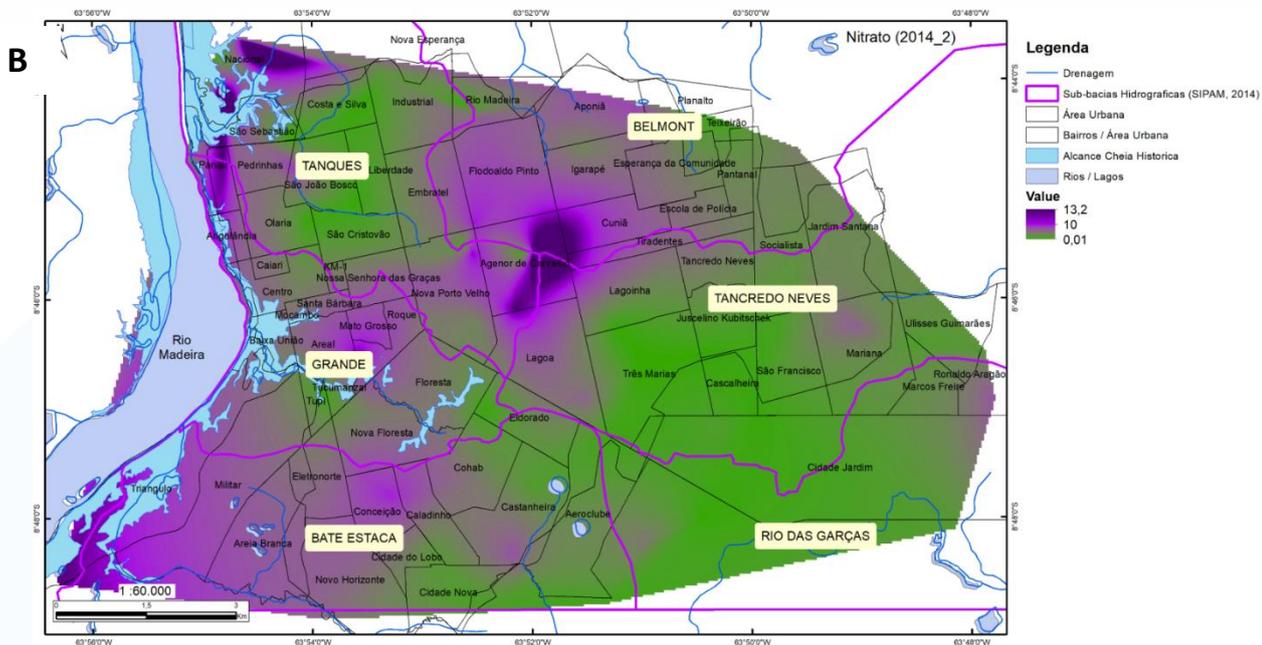




Fonte: Modificado de Rempel, 2021.

Figura 10 A e B – Mapa da interpolação das concentrações de Nitrato referente as amostras coletadas no ano de 2014 nos períodos chuvoso e de seca respectivamente.

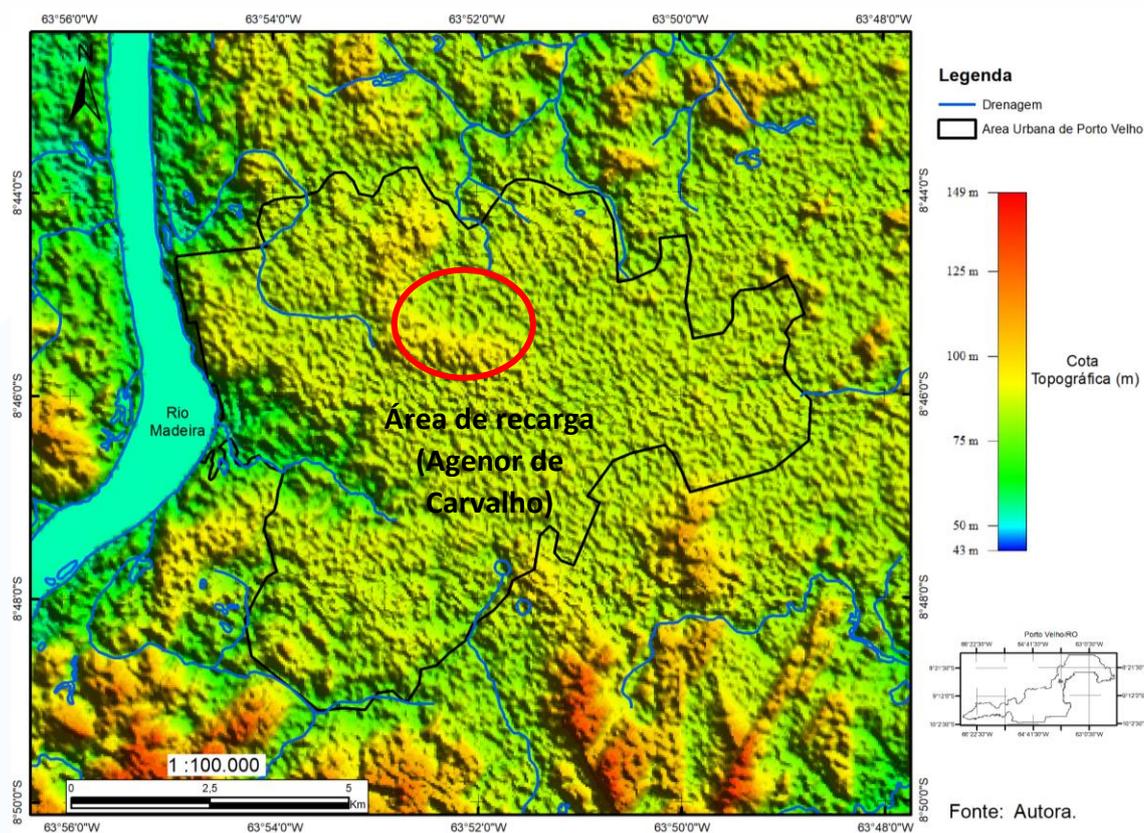




Fonte: Modificado de Rempel, 2021.

No ano da cheia histórica os níveis de nitrato estavam menores, em comparação com os dois anos anteriores, mostrando que possivelmente com a recarga adicional houve uma maior diluição dos contaminantes em todo o sistema aquífero. Áreas de recarga do aquífero devem ser prioridade na tomada de decisões na definição de áreas de preservação permanente, uma das áreas de recargas mais afetadas e mais preocupante fica localizada no bairro Agenor de Carvalho (Figura 11) que mostrou altos teores de nitrato em todos os anos, elevando-se ainda mais na época de estiagem e de amônia seguindo o mesmo padrão no ano da cheia histórica (2014).

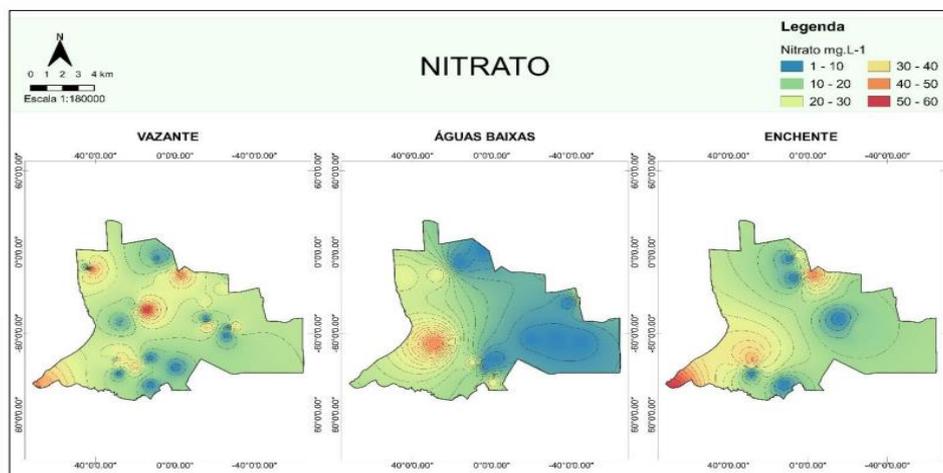
Figura 11 – Modelo Digital de Terreno (MDT) da área urbana de Porto Velho, com destaque para a área de recarga no bairro Agenor de Carvalho.



Fonte: Rempel (2021).

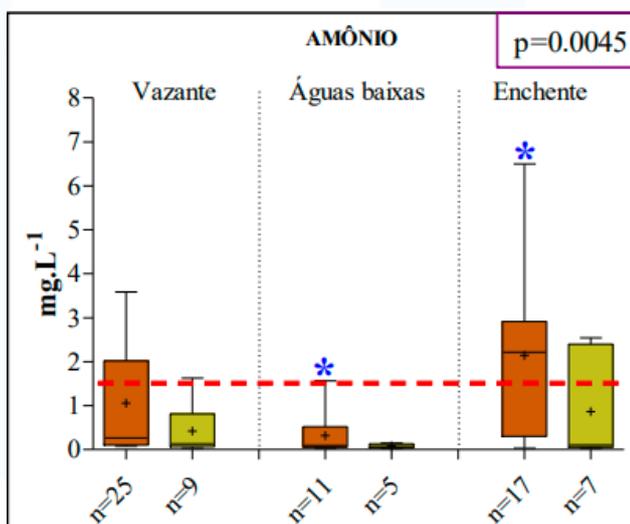
Na figura 12 e no gráfico 2 é possível observar que alguns anos após a cheia histórica, todo o contexto da área de estudo continua o mesmo fazendo com que a contaminação da água subterrânea continue.

Figura 12 – Distribuição espacial das concentrações de nitrato nas águas subterrâneas na cidade de Porto Velho (RO) em 2018



Fonte: Baía, 2020.

Gráfico 2 – Concentrações de Amônia (o) nas águas subterrâneas na cidade de Porto Velho (RO) em 2018.



Fonte: Baía, 2020.

Áreas de recarga do aquífero devem ser prioridade na tomada de decisões na definição de áreas de preservação permanente, uma das áreas de recargas mais afetadas e mais preocupante fica localizada no bairro Agenor de Carvalho (Figura 12) que mostrou altos teores de nitrato em todos os anos, elevando-se ainda mais na época de estiagem e de amônia seguindo o mesmo padrão no ano da cheia histórica (2014).

A tendência do sistema mostra que, no final da época chuvosa as concentrações



de nitrato são maiores em seus níveis máximos, pois apesar da alta pluviometria todo o sistema aquífero ainda não recebeu a água da chuva em sua totalidade, sendo a infiltração um processo lento, principalmente nesta área de estudo onde as camadas mais superficiais correspondem a uma porção argilosa mais espessa no topo. No período de estiagem o nível máximo de concentração é menor pois toda a água da chuva chegou ao sistema.

5 CONCLUSÃO

O uso de técnicas geoestatísticas e a confecção de mapas detalhados permitiram uma compreensão clara da distribuição dos contaminantes e dos impactos da cheia histórica do Rio Madeira . A água subterrânea da área de estudo possui alto grau de contaminação, não sendo recomendada seu uso para consumo direto, sem nenhum tipo de tratamento. Esta contaminação é antiga no aquífero, pois o Nitrato é formado na última etapa do ciclo do nitrogênio em águas subterrâneas, e possui uma mobilidade grande. Neste caso, o aquífero continua contaminado na atualidade por compostos nitrogenados em fases iniciais e finais, amônia e nitrato, respectivamente, como mostram estudos mais recentes, resultado do fato do tratamento de efluentes domésticos ainda não estar presente como uma política pública na área urbana de Porto Velho..

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao SGB/CPRM e a UNIR pela aprovação do projeto, indispensável para o desenvolvimento do estudo.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. H.; **Modelo Conceitual Hidrogeológico do Sistema Aquífero Poroso na Área Urbana e de Expansão de Porto Velho, Rondônia**. 2016. 148f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) - Fundação Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho, 2016. Disponível em: <https://www.ri.unir.br/jspui/handle/123456789/1559>.

BAÍA, C. C. **Qualidade microbiológica e físico-química das águas subterrâneas da cidade de Porto Velho-RO**. 2020. 92f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2020. Disponível em: <https://www.ri.unir.br/jspui/handle/123456789/3047>.

BRASIL, Trata. **Trata Brasil. Trata Brasil Saneamento é Saúde**. Disponível em: < <http://tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/esgoto> >

CARMO, V. B. do. **Sedimentação e Taxas de Assoreamento no Baixo Estuário do Rio Itajaí-Açú, Através da Análise de Cartas Batimétricas e de Registros Hidrometeorológicos**. 2001. 58f. Monografia de Conclusão de Curso (Geografia) - Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2001.

CHILDS, C. **Interpolating surfaces in ArcGIS Spatial Analyst**. ArcUser, [s.l.], p. 32-35, jul./sep., 2004. Disponível em: <https://community.esri.com/ccqpr47374/attachments/ccqpr47374/arcgis-spatial-analyst-questions/2376/1/interpolating.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2021.

CLIMATE-DATA.ORG. **Climate data for cities worldwide**. Disponível em: <https://en.climate-data.org/>. Acesso em: 25 set. 2024.

DAVIS, J. C. **Statistics and data analysis in geology**. 2 ed. New York: John Wiley and Sons, 1986.

HARTKAMP, A. D. *et al.* **Interpolation Techniques for Climate Variables**. [NRG-GIS Series 99-01]. México/D.F.: CIMMYT, 1999.

FREEZE, A. R.; CHERRY, J. A. **Águas Subterrâneas**. São Paulo/SP: Groundwater, 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Censo Brasileiro de 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023 - Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ro/porto-velho>

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied Geostatistics**. New York: Oxford University Press. 1989.

MELLO, C. R. ET AL. **KRIGAGEM E INVERSO DO QUADRADO DA DISTÂNCIA PARA INTERPOLAÇÃO DOS PARÂMETROS DA EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS**. REV. BRAS. CIÊNC. SOLO, VIÇOSA. V. 27, N. 5, 925-933, 2003. DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.1590/S0100-06832003000500017](https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000500017).

PORTO VELHO. (Município). **Revisão do Plano Diretor Participativo de Porto Velho**. Porto Velho, RO, 2018. Disponível em: <https://sempog.portovelho.ro.gov.br/arquivos/lista/23982?plano-diretor>. Acesso em: 19 jul. 2021.

REBOUÇAS, A. da C. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. **Bahia – Análise & Dados**, Salvador, v. 13, n. ESPECIAL, p. 341-345, 2003. Disponível em: http://labs.icb.ufmg.br/benthos/index_arquivos/pdfs_pagina/Minicurso/pag_341.pdf.

REMPEL, K. **Dinâmica da contaminação da água subterrânea na área urbana de Porto Velho/RO no ano da cheia histórica do Rio Madeira (2014)** / Dissertação (Programa de Pós Graduação em Geografia) - Fundação Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho, 2021. Disponível em: <https://www.ri.unir.br/jspui/handle/123456789/1559>.

SGB (Serviço Geológico do Brasil) - CPRM. **Avaliação da qualidade da água subterrânea no município de Porto Velho/RO – Brasil**. Porto Velho/RO: CPRM, 2015.

SILVA, J. A.; MENDONÇA, R.R. **Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa: Jarú, RO**. Jarú, RO: CPRM, 2014.

SIPAM (Sistema de Proteção Da Amazônia). **Desenvolvimento de metodologia para alerta de cheias e inundações na área urbana de Porto Velho/RO**. Porto Velho/RO: SIPAM/CNPq, 2014.

SOUZA, M. S. Meio Ambiente Urbano e Saneamento Básico. **Mercator**, Fortaleza, v. 1, n. 1, jan. 2002. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm.v1i1.194>.

TORRES, M. A. A. *et al.* Evaluación de diferentes técnicas de interpolación espacial para la generación de modelos digitales de elevación del terreno agrícola. **Mapping Interactivo**, [s.l.], n. 74, p. 72-92, 2001. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=166353>. Acesso em: 19 jul. 2021.

UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura). **Programa Hidrológico Internacional (PHI) - Recursos d'Água do Mundo**. [S.l.]: UNESCO, 1998.

WATSON, D. F. **Contoring: A Guide to The Analysis and Display of Spatial Data**. [v. 10]. Oxford: Pergamon Press, 1992.