

METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DOS NÍVEIS NATURAIS DE FUNDO (NBL) E DA INTERPOLAÇÃO DE ISOCONCENTRAÇÕES DE PARÂMETROS HIDROQUÍMICOS

Frederico Aragão¹; Leila Menegasse²; Paulo Galvão³; Thiago Lucon⁴

¹ Universidade Federal de Minas Gerais. Campus Pampulha, Belo Horizonte (MG). aragao.ambiental@gmail.com

² Universidade Federal de Minas Gerais. Campus Pampulha, Belo Horizonte (MG). menegase@yahoo.com.br

³ Universidade Federal de Ouro Preto. Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto (MG). hidropaulo@gmail.com

⁴ Universidade Federal de Ouro Preto. Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto (MG). thiago.n.lucon@gmail.com

Palavras-Chave: NBL; *Background*; APA Carste Lagoa Santa

INTRODUÇÃO

Valores de Fundo Naturais, ou *Natural Background Levels* (NBL), representam a faixa de concentrações de um determinado parâmetro oriunda da interação de processos naturais biogeoquímicos e atmosféricos durante o processo de infiltração e circulação hídrica subterrânea. Logo, caso se conclua que a concentração de tal parâmetro esteja acima do NBL calculado, tem-se um indicativo para que maiores investigações sejam realizadas a fim de se determinar se há intervenção antropogênica de fato ou se se trata de uma anomalia geogênica na região (Hawkes e Webb 1962; Edmunds e Shand 2008; Hinsby et al. 2008).

A região investigada engloba a Área de Proteção Ambiental (APA) Carste Lagoa Santa, Minas Gerais, a qual ocupa cerca de 75% da área total do estudo. O aumento da urbanização resultou em ocupações principalmente nas margens sudoeste e oeste da área, porções estas coincidentes com os núcleos centrais dos municípios e com maior número de empreendimentos encontrados. A área inclui parcialmente os municípios de Confins, Lagoa Santa, Matozinhos, Funilândia, Pedro Leopoldo e Prudente de Morais (Ribeiro et al., 2003), com uma população total de 164.579 habitantes (IBGE, 2010). A geomorfologia da região é cárstica e conta com uma rede extensa de dolinas, uvalas, poljés, sumidouros e grutas, desenvolvida, principalmente, nas rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas, Grupo Bambuí (Ribeiro et al., 2003). Nessas rochas, instalou-se um sistema de aquíferos cársticos e cárstico-fissurais, livres a semi confinados (Mourão et al., 2001), configurando uma região de elevada vulnerabilidade intrínseca à contaminação antrópica.

Neste estudo, apresenta-se o método proposto por ISPRA (2009) para a obtenção do NBL e o proposto em Golden Software (2017) para se obter o melhor método de interpolação para sete parâmetros hidroquímicos da água subterrânea. Destes, o nitrato, expresso como nitrogênio ($N-NO_3^-$), e os sólidos totais dissolvidos foram eleitos para ilustrar a espacialização dos dados numéricos em mapas de isoconcentrações.

METODOLOGIA

Entre setembro de 2017 e março de 2018 foi feita a análise hidroquímica de amostras de água em 69 poços perfurados no sistema aquífero cárstico, 3 nos pelitos da Formação Serra de Santa Helena e 7 no Complexo granito-gnáissico. O NBL foi determinado apenas para os aquíferos das formações supracrustais, que compõem cerca de 99% da área (Ribeiro et al., 2016) em relação aos parâmetros hidroquímicos com potencial de constituírem indicadores de poluição antrópica: nitrato, nitrito, cloreto, fluoreto, fosfato, sulfato e sólidos totais dissolvidos. Para conferir significância estatística ao estudo, foram excluídas: amostras com erro de balanço iônico >10%; parâmetros com concentrações abaixo do limite de detecção do equipamento; e parâmetros com valores atípicos (*outliers*), determinados e conferidos via *software* estatístico RStudio. Para cada parâmetro, então, houve um número final de amostras consideradas, resumidas na Tabela 1.

Tabela 1. Quantidade de amostras por parâmetro utilizadas para a determinação do NBL.

Nº de amostras	Nitrato	Nitrito	Cloreto	Fluoreto	Fosfato	Sulfato	STD
	49	27	19	22	34	35	69

Proseguiu-se, então, para a determinação da distribuição estatística que melhor se adequou às concentrações de cada parâmetro, realizado por meio da ferramenta *Individual Distribution Identification*, do *software* Minitab 17[®]. Por meio desta, comparam-se os valores de p e AD (valor de teste de *Anderson Darling*), referentes a um total de nove distribuições disponíveis no *software*. A combinação entre maior valor de p e menor valor de AD, como sugerido por tutorial dos desenvolvedores do próprio *software* (Minitab Inc., 2018), forneceram a distribuição mais adequada para cada parâmetro. Em seguida, plotaram-se os gráficos de probabilidade relativos à concentração, da qual se obteve o valor do 90º percentil, que é o valor de fundo natural do parâmetro, conforme metodologia sugerida por ISPRA (2009).

Para se realizar o mapa de interpolação das isoconcentrações, utilizou-se o *software* Surfer[®] versão 13.3.493. Neste caso, foram incluídas também as amostras com *outliers* e as provenientes de poços perfurados em litologia granítica, uma vez que o objetivo foi verificar a influência de todos os pontos nas concentrações naturais de cada parâmetro. Para se determinar qual o melhor método de interpolação dentre os doze disponíveis na plataforma, para cada parâmetro, plotaram-se doze mapas, cada um referente a uma interpolação, via algoritmo obtido em fórum de suporte oficial da Golden Software, desenvolvedora do Surfer[®]. O algoritmo foi lido no *software* Scriptor versão 5.0.119.488, também de autoria da Golden Software, o qual gerou os mapas a partir das concentrações e das coordenadas fornecidas. Foram escolhidos quatro mapas com interpolações visualmente mais adequadas (Krigagem, Inverso da Potência da Distância, Base Radial e Shepard Modificado) e comparados entre si via ferramenta *Residuals*, a qual determinou os resíduos dos grids gerados para cada ponto. O objetivo foi indicar quão distante os valores dos grids gerados estavam dos valores de concentração originais, portanto os resíduos negativos foram convertidos em valores positivos e depois somaram-se os valores finais. Assim, o método de interpolação que apresentou o menor valor de somatório de resíduos foi o mais indicado, visto que indica maior aproximação entre os valores de grids com os valores originais das concentrações, sugerindo maior confiabilidade de resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As distribuições, valores estatísticos e de NBL dos parâmetros estudados estão na Tabela 2. Os gráficos de probabilidade com os valores de NBL para nitrato e sólidos totais dissolvidos estão na Figura 1. Já a determinação do melhor método de interpolação para cada parâmetro está na Tabela 3, a qual evidencia o valor do somatório dos resíduos dos grids gerados. Aquela com menor valor sugere uma interpolação mais adequada, sendo a Base Radial, então, escolhida. Os mapas de isoconcentrações para os dois parâmetros podem ser vistos na Figura 2, destacando-se as isolinhas em negrito referente aos valores de NBL.

Tabela 2. Estatística descritiva incluindo o Valor de Fundo Natural (NBL).

Parâmetro	Nitrato		Nitrito		Cloreto		Fluoreto		Fosfato		Sulfato		STD	
Distribuição	Exponencial		Lognormal		Weibull 3 parâmetros		Weibull		Exponencial 2 parâmetros		Lognormal		Weibull 3 parâmetros	
Parâmetros estatísticos	AD	p	AD	p	AD	p	AD	p	AD	p	AD	p	AD	p
Valores	0,74	0,24	1	0,01	0,62	0,11	0,46	0,24	0,92	0,1	0,34	0,48	0,39	0,31
NBL (mg/L)	1,0		0,1		2,4		0,25		0,08		5,3		272,0	

Tabela 3. Comparação entre os métodos de interpolação para cada parâmetro.

Parâmetro	Cloreto	Fluoreto	Fosfato	Nitrato	Nitrito	Sulfato	STD
IPD	3,32	0,21	0,09	3,53	0,65	61,13	398,16

Krigagem	6,70	0,39	0,13	5,19	1,06	95,61	510,58
Shepard Mod.	2,01	0,09	0,04	2,60	0,20	27,06	151,21
Base Radial	1,14	0,07	0,02	2,14	0,34	25,37	125,91

Nota-se que, na Figura 1, no gráfico à esquerda, os valores de nitrato iguais ou acima de 1,0 mg/L estão acima do 90º percentil, indicando que essa concentração pode ser considerada o valor de NBL para esse parâmetro. No caso do STD, o valor acima de 90º percentil é igual ou maior que 272,0 mg/L, sendo, nesse caso, considerado o NBL.

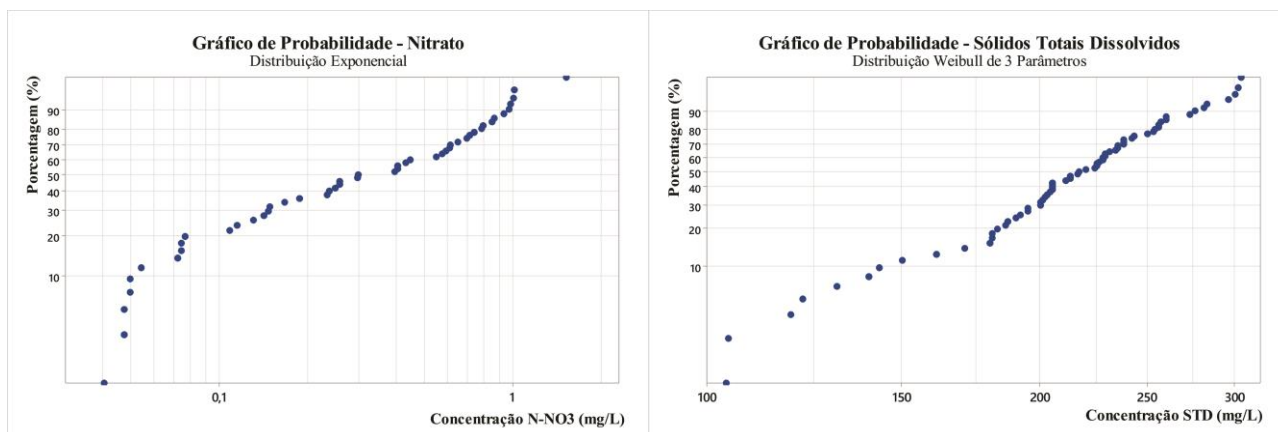


Figura 1. Gráficos de probabilidade relativos ao $N-NO_3^-$ e STD

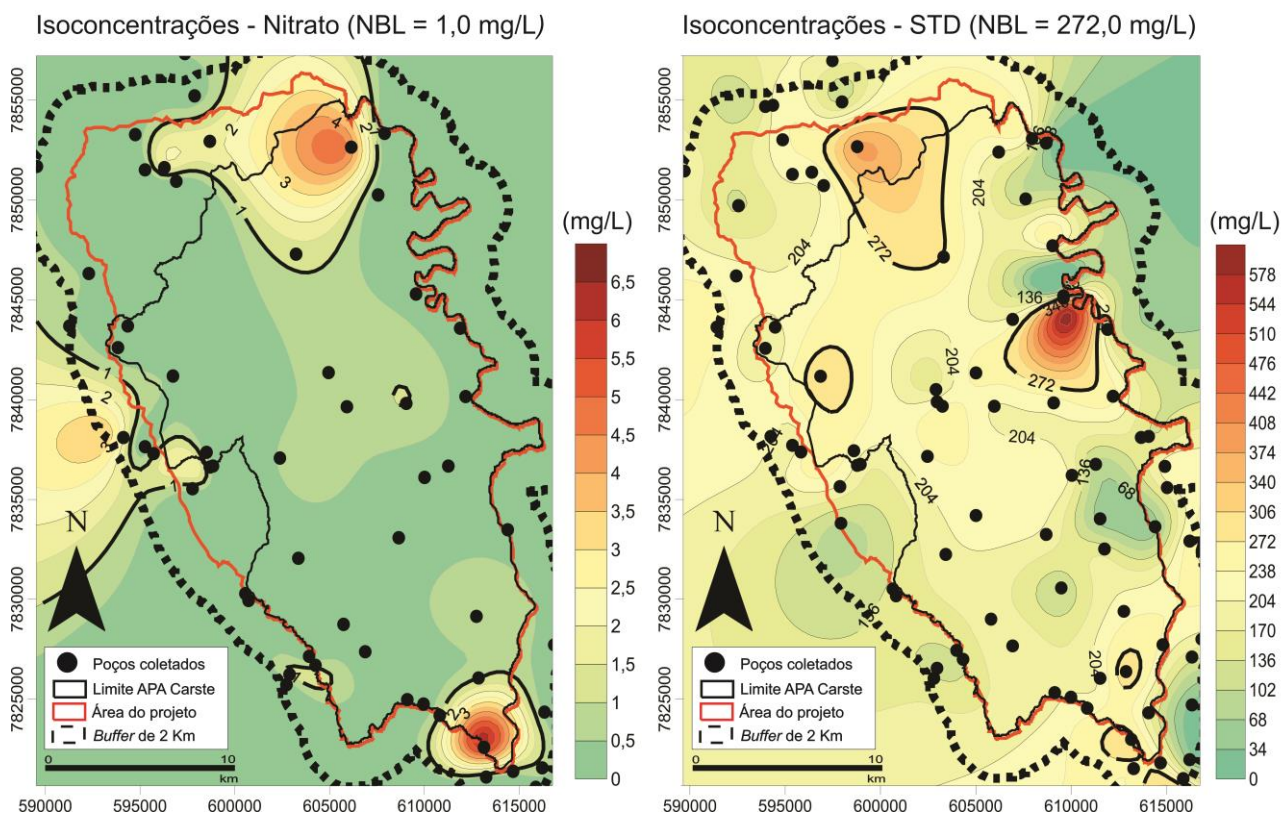


Figura 2. Mapas de isoconcentrações de $N-NO_3^-$ e STD pelo método Base Radial.

Segundo BRASIL (2017), os padrões de potabilidade não podem ultrapassar 10 mg/L para nitrato, expresso como nitrogênio ($N-NO_3^-$) e 1000 mg/L para o STD. Assim, para o $N-NO_3^-$, nos trechos a oeste,

norte e sudeste, ocorrem faixas de concentrações que superam o valor de *background* natural de 1,0 mg/L (valor do 90º percentil, Figura 1), enquanto para STD não houve essa superação, embora haja uma faixa específica de maior concentração a centro-leste (Figura 2). Ressalta-se que as faixas oeste e sudeste são densamente povoadas e urbanizadas, evidenciando a importância, portanto, de se realizarem maiores investigações nas áreas de destaque onde ocorre superação dos valores de NBL, para que se determine se há anomalia de cunho geogênico ou se há influência antrópica que, de fato, confirme contaminação por nitrato.

CONCLUSÃO

As metodologias de determinação dos valores de NBL e dos métodos de interpolações por estatística e por geoestatística para parâmetros hidroquímicos mostraram-se importantes ferramentas que podem auxiliar no processo de gestão de recursos hídricos subterrâneos, especialmente de aquíferos mais vulneráveis à contaminação, como os cársticos. É indicado que a região da APA Carste Lagoa Santa possui NBL para N-NO_3^- igual a 1 mg/L, sugerindo que, nos trechos a oeste, norte e sudeste, há indícios de possíveis anomalias antropogênicas, reforçadas ainda pela natureza da ocupação urbana.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – CECAV/ICMBIO e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG (processo nº 23.065).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brasil. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html>.
- Edmunds, W. M and Shand P. Natural groundwater quality. London: Wiley-Blackwell, 488p. 2008.
- Golden Software, LLC. What Surfer Gridding Method Should I Use? Gridding for Non-geoestaticians. Disponível em: <<https://support.goldensoftware.com/hc/en-us/articles/230756747-What-Surfer-gridding-method-should-i-use-Gridding-for-non-geostatisticians>>. 2017
- Hawkes, H. E and Webb, J. S. Geochemistry in mineral exploration: New York, N. Y., 415p. 1962.
- Hinsby, K.; Condesso de Melo, M.T.; Dahl, M. European case studies supporting the derivation of natural background levels and groundwater threshold values for the protection of dependent ecosystems and human health. Science of the Total Environment, vol. 17, 401, p.1–20. 2008.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. 2010.
- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale – ISPRA. Protocollo per la Definizione dei Valori di Fondo per le Sostanze Inorganiche nella Acque Sotterranee. Disponível em: <https://www.apat.gov.it/site/_files/Fondo_metalli_acque_sotterranee.pdf>. 2009.
- Mourão, M. A. A.; Cruz, W. B.; Gonçalves, R. L. F. Caracterização Hidrogeológica da Porção Mineira da Bacia Hidrográfica do São Francisco. In: Pinto C. P. & Martins-Neto M. A. (eds.). Bacia do São Francisco Geologia e Recursos Naturais, Belo Horizonte, SBG/MG, p327-350. 2001.
- Ribeiro, J. H.; Tulter, M. P.; Danderfer Filho, A. Mapeamento Geológico da Região de Sete Lagoas, Pedro Leopoldo, Matozinhos, Lagoa Santa, Vespasiano, Capim Branco, Prudente de Moraes, Confins e Funilândia, Brasil (escala 1:50.000). 2ª edição, Belo Horizonte. 54p. 2003.
- Ribeiro, C. G.; Meireles, C. G.; Lopes, N. H. B.; Arcos, R. E. C. Levantamento Geológico Estrutural Aplicado aos Fluxos dos Aquíferos Cárstico-Fissurais das Regiões da APA Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais. Trabalho Geológico de Graduação em Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. 157 p. 2016.
- Tayer, T. C. Avaliação da vulnerabilidade intrínseca do aquífero cárstico da APA de Lagoa Santa, MG, utilizando o método COP. Dissertação (Mestrado em Geologia Econômica e Aplicada). Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. 172 p. 2016.