

CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA E VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE AMETISTA DO SUL- RS

*Hydrochemical characterization and natural vulnerability to groundwater contamination at the
municipality of Ametista do Sul---RS*

Lueni Gonçalves Terra, Willian Fernando de Borba, Gabriel D'Avila Fernandes,
Helena Wichineski Trombeta, José Luiz Silvério da Silva

Universidade Federal de Santa Maria, Laboratório de Hidrogeologia - LABHIDROGEO

Resumo

As águas subterrâneas, em geral, apresentam melhor condição natural que as águas superficiais. Entretanto, pela diversidade litológica, apresentam variável composição química, que também pode ser modificada por cargas contaminantes. Assim, este trabalho objetivou avaliar a hidroquímica, a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação e a superfície potenciométrica do Aquífero Serra Geral no município de Ametista do Sul, RS. Os dados foram obtidos do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Foram selecionadas onze captações com informações de condutividade elétrica, pH, sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloreto, carbonato, bicarbonato, sulfato, flúor, alcalinidade total, nível estático, perfis geológicos e coordenadas geográficas. A partir do programa Qualigraf 1.1 foram gerados os diagramas de Piper para a classificação química e os diagramas de Stiff e de Schoeller-Berkaloff para verificar a tendência das águas. A vulnerabilidade foi determinada a partir do sistema GOD. O pH esteve entre 7,4 e 10,2. Quanto à classificação química, dez amostras mostraram-se bicarbonatadas sódicas e uma como sódica mista. Cinco amostras apresentaram concentrações de fluoreto maior que o Valor Máximo Permitido de 1,5 mg.L⁻¹ estabelecido pelo Ministério da Saúde e a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação variou de insignificante a baixa.

Palavras-chave: Recursos hídricos subterrâneos. Aquífero confinado. Gestão. SASG.

Abstract

Groundwater generally have better natural condition than surface water. However, because of lithological diversity, they present variable chemical composition, which can also be modified by contaminant loads. This study aimed to evaluate the hydrochemistry, the natural vulnerability of aquifers to contamination and the potentiometric surface of the Serra Geral Aquifer in the municipality of Ametista do Sul, RS. The data was obtained from the Groundwater Information System. There was selected eleven captures information with electrical conductivity, pH, sodium, potassium, calcium, magnesium, chloride, carbonate, bicarbonate, sulfate, fluoride, total alkalinity, static level profiles geological and geographical coordinates. From the Qualigraf 1.1 program, there were generated Piper diagrams for chemical classification and diagrams Stiff and Schoeller-Berkaloff to check the tendency of water. The vulnerability was determined from the GOD system. The pH was between 7.4 and 10.2. As for the chemical classification, ten samples showed up with sodium bicarbonate and sodium as mixed. Five samples showed fluoride concentrations greater than the Maximum Allowed 1.5 mg L⁻¹ established by the Ministry of Health and the natural vulnerability of the aquifer to contamination ranged from insignificant to low.

Keywords: Groundwater resources. Confined aquifer. Management. SGAS.

1 Introdução

A água subterrânea apresenta geralmente excelente qualidade e disponibilidade, sendo apta para o consumo humano, muitas vezes sem tratamento prévio (ANA, 2005). No entanto, segundo Goffermann (2013) devido a ampla diversidade litológica, as composições químicas das águas subterrâneas são bastante variadas, e, muitas vezes, impróprias para o consumo humano. Muitas vezes, a água apresenta teores elevados de sais dissolvidos e pode conter fluoreto, ferro, manganês e apresentar-se salobra, o que limita seu uso (Terra, 2015; Silvério da Silva e Santiago, 2011).

Uma preocupação crescente em relação à água subterrânea é a sua contaminação, pois mesmo o solo podendo apresentar capacidade de imobilização de grande parte das “impurezas”, essa capacidade é limitada. A contaminação da água subterrânea pode ter várias origens, principalmente por atividades domésticas (matéria orgânica e microrganismos patogênicos), industriais (componentes químicos, metais e elementos radioativos) e agrícolas (agrotóxicos e fertilizantes a base de NPK). Ainda podem afetar essas reservas, as atividades minerais, exploração de petróleo e outras possíveis formas de contaminação. Assim, pode colocar em risco a saúde ou o bem estar de uma população.

Com o processo de contaminação dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos), surgem alternativas que visam auxiliar na proteção e gestão das águas subterrâneas, sendo uma destas o sistema GOD, descrito por Foster et al. (2006). Esse sistema utiliza as informações referentes as três parâmetros: G (Grau de confinamento da água subterrânea), O (Ocorrência de formações litológicas) e D (Distância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado). Esse sistema é considerado de fácil aplicação, pois necessita informações de apenas três parâmetros, além de ser indicado para as condições Brasileiras e Caribenhas (Foster et al., 2006).

O município de Ametista do Sul é conhecido como “capital mundial da pedra ametista”, o quartzo lilás, pois a extração do mineral é a principal atividade econômica do município. Nesse sentido, foi definido como objetivo principal deste trabalho caracterizar hidroquimicamente as águas subterrâneas de Ametista do Sul, além da determinação da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação através da aplicação do método GOD e a estimativa da superfície potenciométrica. Para isso, foi organizado um banco de dados com informações disponibilizadas pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), no site da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM).

2 Metodologia

2.1 Localização e caracterização

O município de Ametista do Sul localiza-se na porção norte do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), na mesorregião Noroeste, microrregião de Frederico Westphalen. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE (2010) a população do município é de 7.323 habitantes, 3.512 correspondente a população rural e 3.811 a população urbana.

O município em estudo é pertencente a Bacia Hidrográfica do Rio da Várzea-U 100 (SEMA, 2004), na Região Hidrográfica do Uruguai (U). Como atividades econômicas, destaca-se a extração de pedras Ametistas, agricultura e pecuária.

Geologicamente, ocorrem no município a Formação Geológica Serra Geral, Fácies Paranapanema (k1_beta_pr), caracterizada, segundo a CPRM (2007), por derrames basálticos granulares finos, melanocráticos, contendo horizontes vesiculares, espessos preenchidos com quartzo (ametista), zeólitas, carbonatos, seladonita, cobre nativo e barita. Portanto, os solos são originados por rochas vulcânicas.

No que refere-se a hidrogeologia local, tem-se a presença do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) I (sg1). Machado e Freitas (2005), afirmam, que o sg1 constitui-se principalmente de litologias basálticas, amigdalóides e fraturadas, capeadas por espesso solo avermelhado.

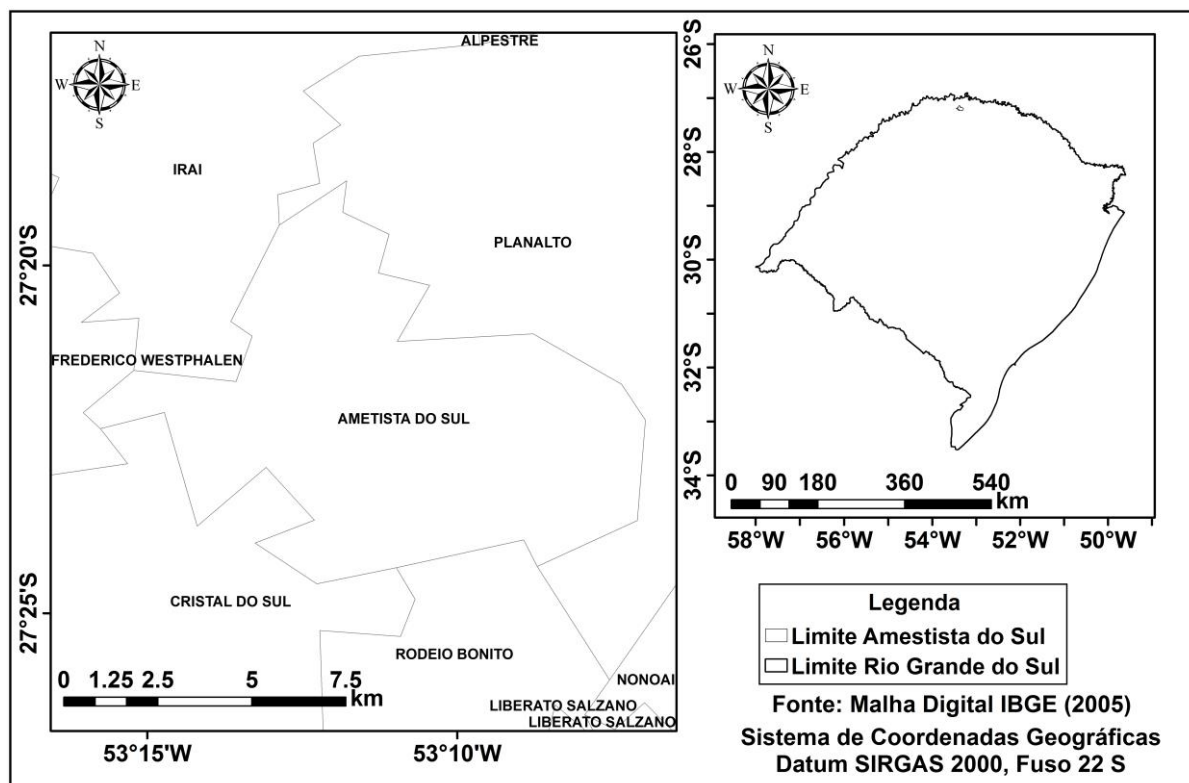


Figura 1- Mapa de localização do município de Ametista do Sul- RS

2.2 Obtenção de dados

Os dados das análises químicas, níveis estáticos, coordenadas UTM (*Universal Transversa de Mercator*) e perfis geológicos foram obtidos do banco de dados online do SIAGAS (<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>), mantido pela CPRM. Para as análises hidroquímicas, foram selecionadas onze captações, por possuírem as informações necessárias. Já para a determinação da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação, foi utilizado as informações de 57 poços, entre os municípios gaúchos de Ametista do Sul, Rodeio Bonito, Planalto e Iraí. Isso deve-se pelo fato que somente as captações do município em estudo não representar a totalidade da área do município. Após, os dados foram tabulados para o posterior processamento.

2.2 Processamento dos dados

Para a construção dos diagramas de Piper, Stiff e *Schoeller-Berkaloff* foi utilizado o programa Qualigraf 1.1, disponibilizado gratuitamente pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). O Qualigraf 1.1 foi desenvolvido especialmente para interpretação gráfica de dados hidroquímicos. Esse programa faz diretamente a conversão das unidades expressa em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$, analisando as correlações iônicas das amostras.

Para espacialização da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação e a superfície potenciométrica foi utilizado o interpolador IDW (*Inverse Distance Weighting*) (LANDIM, 2000), com auxílio do *Software ArcGIS 10.1*. O Datum horizontal adotado para as espacializações foi o *South American Datum 1969 (SAD 69)* (mesmo adotado pelo SIAGAS/CPRM), e o Datum vertical adotado foi o Porto de Imbituba – SC.

Para a determinação da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação, foi utilizado o sistema GOD (Foster et al., 2006), onde esse sistema utiliza as informações dos parâmetros G (grau de confinamento da água subterrânea), O (ocorrência de estratos de cobertura) e D (distância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado). Sendo assim, a vulnerabilidade é obtida a partir do produto entre as variáveis GOD, onde é classificada como insignificante (valores entre 0 e 0,1), baixa (0,1 a 0,3), média (0,3 a 0,5), alta (0,5 a 0,7) e extrema (0,7 a 1).

A superfície potenciométrica é obtida através da relação entre a cota altimétrica na “boca” do poço, em relação ao nível da água no poço (nível estático). Assim, indica uma carga ou tendência do fluxo subterrâneo. A figura 2 ilustra um exemplo de determinação da vulnerabilidade pelo sistema GOD (Foster et al., 2006), e superfície potenciométrica em uma captação na área de estudo.

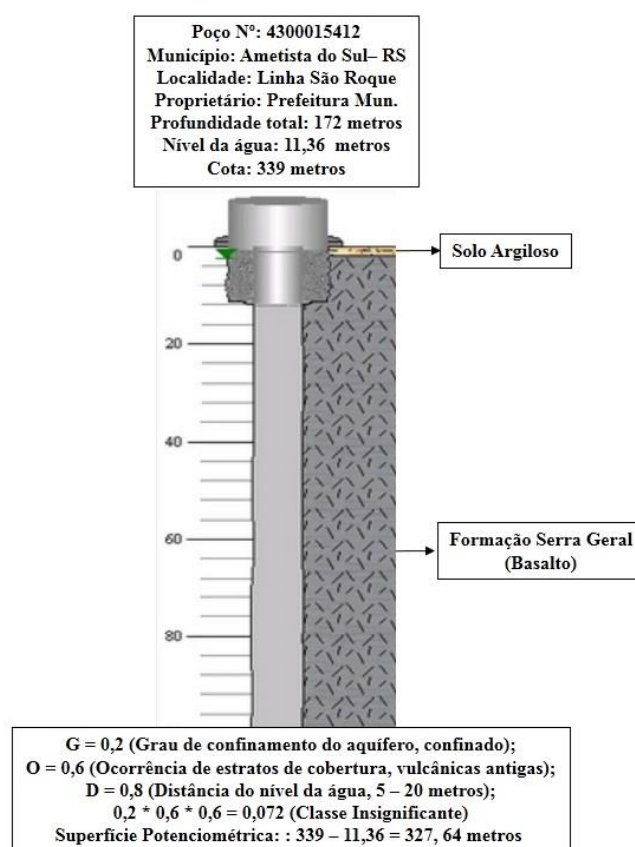


Figura 2 – Exemplo de aplicação do sistema GOD (Foster et al., 2006) e determinação da SP em uma captação em Ametista do Sul – RS.

3 Resultados e discussões

3.1 Variáveis físico químicas e composição iônica

As concentrações de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) são apresentados na tabela 1. De acordo com a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) Nº. 357/2005 (BRASIL, 2005) são consideradas águas doces potáveis aquelas que apresentarem STD até 500 mg.L⁻¹. Com isso, todas as amostras foram classificadas como doces, isto é, apresentam baixa concentração de sais dissolvidos

Tabela 1- Concentrações de Sólidos Totais Dissolvidos

Código SIAGAS	STD (mg.L ⁻¹)
4300015409	365
4300015410	156
4300015411	280
4300015412	258
4300015413	246
4300015414	265
4300021931	372
4300021933	238
4300021937	142
4300021941	197
4300021943	242

Na tabela 2 são visualizados os dados de condutividade elétrica (CE), pH, sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cloreto (Cl), carbonato (CO₃), bicarbonato (HCO₃), sulfato (SO₄), fluoreto (F) e alcalinidade total. Na falta de dados, a célula é apresentada em branco.

A condutividade elétrica variou de 151,7 a 1262,0 $\mu\text{S.cm}^{-1}$. O pH variou de 7,4 a 10,2, indicando um meio neutro a levemente alcalino. Quanto ao uso para consumo humano, a Portaria Nº 2.914/11 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), recomenda que a água apresente valores de pH entre 6,0 e 9,5. Como pode ser observado, quatro amostras apresentaram valor maior que 9,5. As concentrações de cloreto e sulfato estiveram dentro do Valor Máximo Permitido (VMP) de 250 mg.L⁻¹ estabelecido pela mesma Portaria, que não faz referência aos teores de íons carbonato e bicarbonato (Brasil, 2011).

A portaria Nº 2914/11 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) também estabelece o VMP de 1,5 mg.L⁻¹ para fluoreto. Cinco amostras (4300015409, 4300015414, 4300021931, 4300021933 e 4300021943) apresentaram valor acima do VMP (4,7; 1,6; 2,4; 2,8 e 2,9 mg.L⁻¹) respectivamente. Essa é uma importante constatação, já que a ingestão excessiva de fluoreto pode causar fluorose dentária e a ingestão em altas doses por tempo contínuo pode causar uma patologia denominada fluorose esquelética (OMS, 1999). Ainda destaca-se que tanto as concentrações de sódio quanto de sulfato encontram-se na faixa considerada potável para consumo humano.

Tabela 2- Parâmetros analisados para a qualidade da água dos poços

Código SIAGAS 43000 +	Código no trabalho	Parâmetros analisados										
		Na	K	Ca	Mg	Cl	CO ₃	HCO ₃	SO ₄	F	CE	pH
		mg.L ⁻¹									$\mu\text{S.cm}^{-1}$	-
15409	AM01	117	-	1	0,29	13	71,0	4	104	4,7	561,0	10,0
15410	AM02	31	-	8	5,0	-	0,59	104	3,2	0,5	151,7	8,1
15411	AM03	78	-	5	2,0	14	8,0	124	53,1	1,1	430,0	8,9
15412	AM04	72	-	2	0,1	-	72,0	47	3	0,3	397,0	7,8
15413	AM05	75	-	2	0,4	7,2	31,0	43	52,7	-	1262,0	10,2
15414	AM06	68	-	0,3	0,2	-	38,0	139	3,9	1,6	272,0	9,1
21931	AM07	122	-	1		12	66,0	89	73,3	2,4	578,0	9,5
21933	AM08	81	-	1,4	0,12	4,46	41,0	54	44	2,8	276,0	10,0
21937	AM09	12	-	17	7,0	-	0,12	111	-	0,0	175,4	7,4
21941	AM10	80	0,3	0,9		-	62,0	63	4,7	1,3	304,0	9,4
21943	AM11	74	-	5	2,0	2,67	57,1	70	-	2,9	286,0	10,1

3.2 Classificação das águas e verificação de tendências em diversos diagramas

A classificação química das águas analisadas foi realizada a partir do diagrama de Piper e as tendências das águas obtidas diagramas de Stiff e diagrama de *Schoeller-Berkaloff*. Através desses diagramas é possível identificar a característica química da água e as semelhanças entre várias águas (BONOTTO E MANCINI, 1992).

O diagrama de Piper, gerado para todas as amostras, é visualizado na figura 3. Das onze amostras analisadas, dez foram classificadas como bicarbonatadas sódicas e uma como sódica mista, indicando que o principal cátion dissolvido foi o sódio e o principal ânion o bicarbonato. Essa tendência de enriquecimento em bicarbonatos em águas do SASG já havia sido encontrada por Bittencourt et al. (2003).

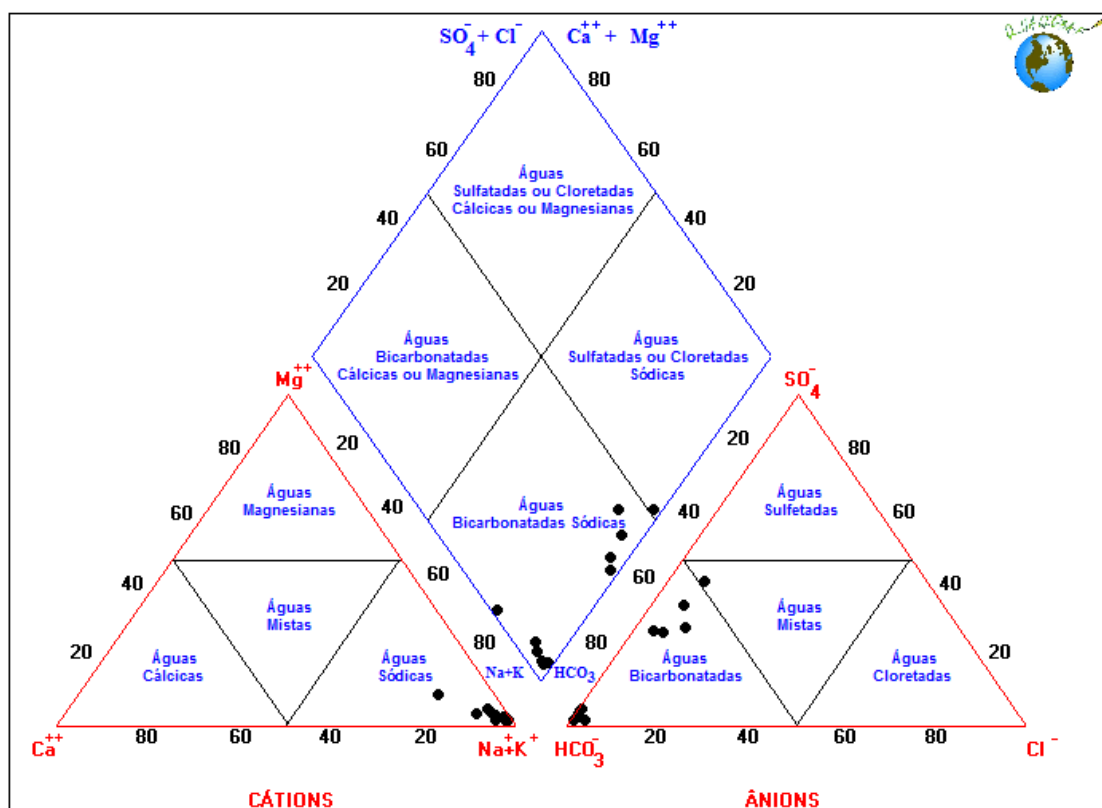


Figura 3 – Diagrama de Piper

Os diagramas de Stiff, observados na figura 4, permitem identificar a tendência das amostras e o agrupamento conforme sua semelhança ou distinção. Verifica-se que as amostras AM01, AM02, AM03, AM04, AM08, AM09, AM10 e AM11 possuem tendência semelhante, enquanto que AM05, AM06 e AM07 possuem outra semelhança. Pode-se verificar ainda, que a maioria das amostras apresenta a tendência sódica. O diagrama de *Schoeller-Berkaloff*, apresentado na figura 5, também mostra a tendência sódica das águas.

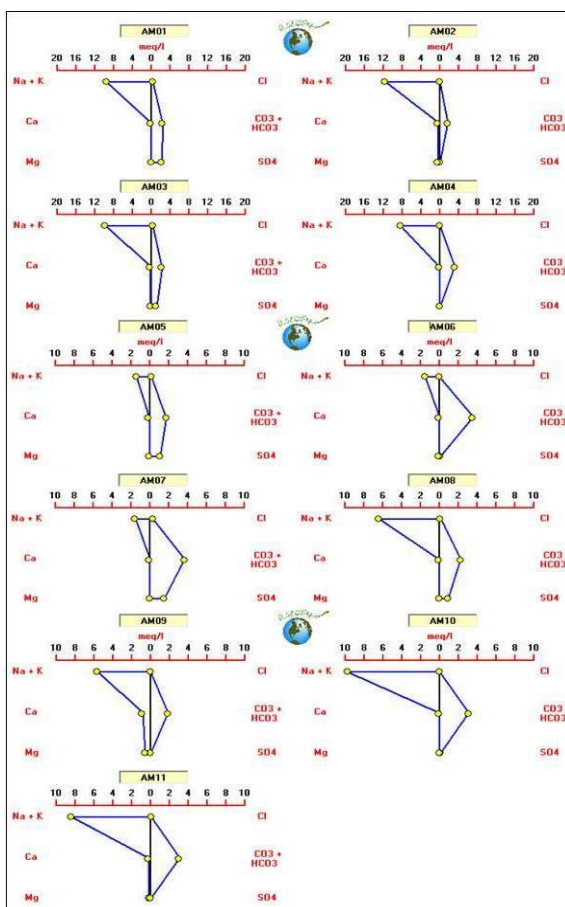


Figura 4- Diagramas de Stiff.

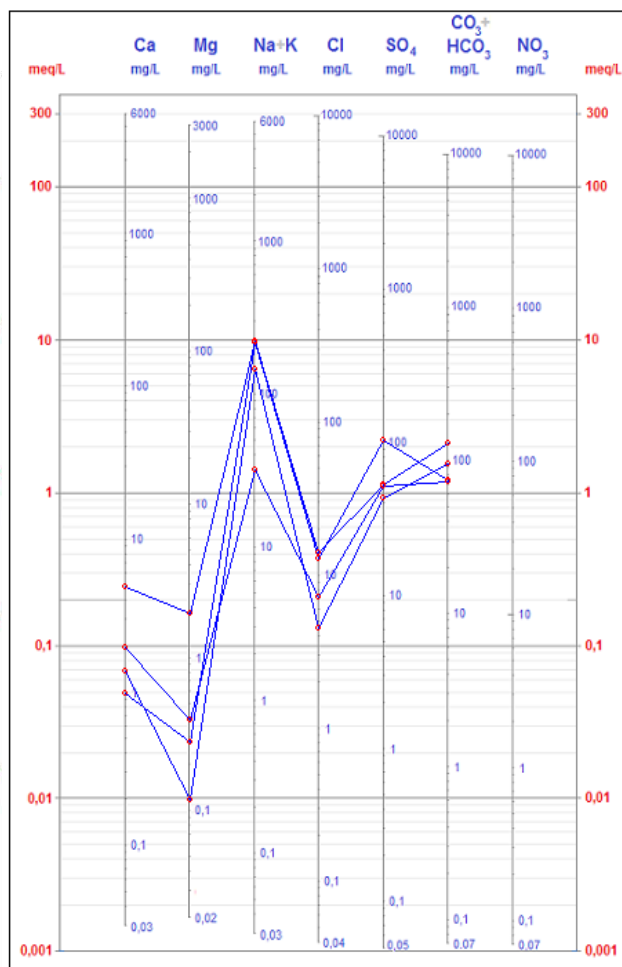


Figura 5- Diagrama de Schoeller-Berkaloff.

A figura 6 ilustra a espacialização do índice de vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação no município de Ametista do Sul – RS. Como pode ser observado, a vulnerabilidade obtida com uso do sistema GOD variou de insignificante (0,0 a 0,1) a baixa (0,1 a 0,3), com predomínio da classe insignificante.

O predomínio dessas classes de vulnerabilidade (insignificante e baixa) está relacionada, principalmente, pelas condições geológicas e hidrogeológicas existentes no local, apresentando rochas basálticas e seus produtos intemperizados, pertencentes ao SASG (CPRM, 2007), formando aquíferos confinados do SASG (Machado e Freitas, 2005). A área de estudo está localizada, segundo OEA/PEA/GEF (2009), na Zona de Confinamento Próximo (ZCP) e de Forte Confinamento (ZFC), onde tem-se a espessura de rochas basálticas inferiores a 100 metros e superiores a este valor, respectivamente.

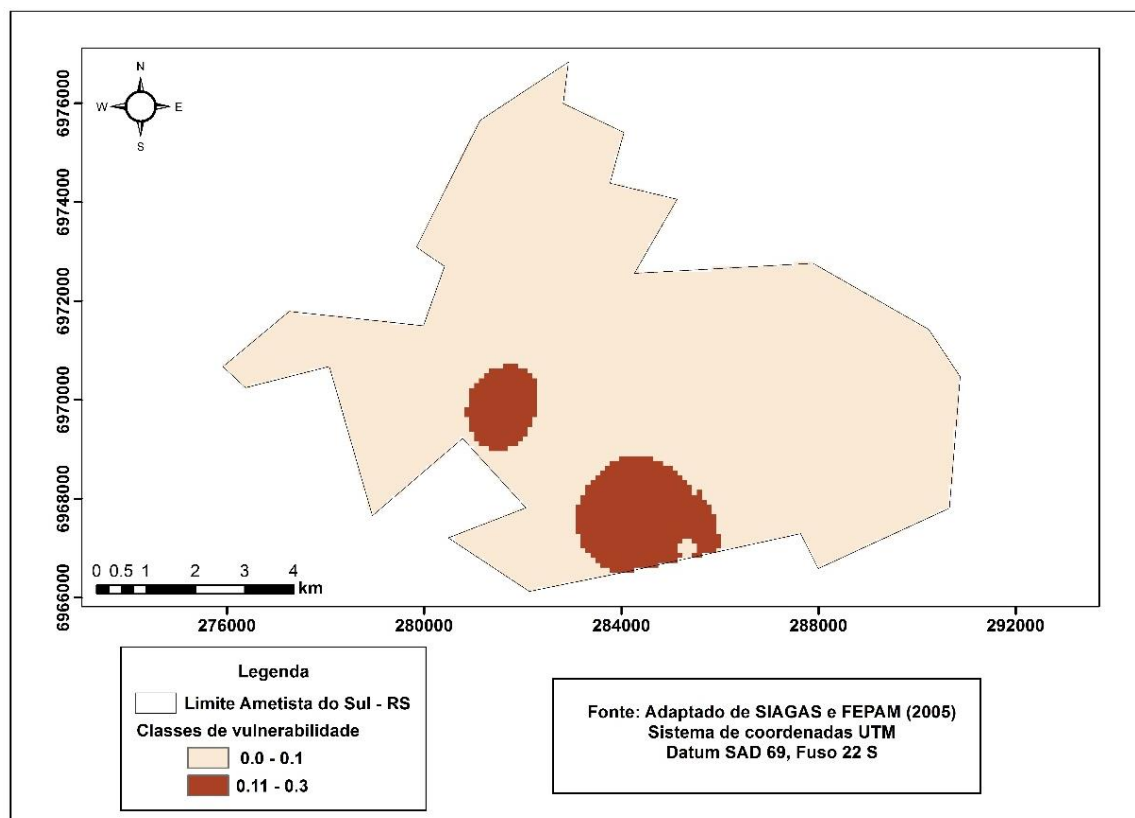


Figura 6 – Classes de vulnerabilidade natural do aquífero a contaminação a partir do sistema GOD (Foster et al., 2006) no município de Ametista do Sul – RS.

Cabe salientar ainda, que essa formação geológica, agrega condições de confinamento ao aquífero, e uma conseqüente maior proteção natural do meio subterrâneo as atividades antrópicas desenvolvidas na superfície do solo. Nesse sentido, destaca-se os trabalhos realizados, em rochas basálticas da Formação Serra Geral, por Silvério da Silva et al. (2013) em Erechim – RS e Luiz et al. (2015) em Frederico Westphalen-RS, onde os autores encontraram, em ambas as áreas, classes de vulnerabilidade variando de insignificante a média. Com isso, percebe-se que o aquífero em estudo, apresenta comportamento semelhante, com predomínio de classes com menores valores (0,0 a 0,3).

Em relação a superfície potenciométrica, a figura 7 ilustra sua variação na área de estudo. Como pode ser verificado, os valores variaram de 82 a 405 metros. Nesse sentido, Monteiro (2003), diz que o conhecimento acerca da superfície potenciométrica é muito importante, pois permite ilustrar as prováveis áreas de recarga (máximo potencial hidráulico) e descarga (menor potencial hidráulico) dos recursos hídricos subterrâneos.

A partir da figura 7 é possível identificar as zonas de descarga no interior do cartograma, onde a cor está mais clara, ou seja onde o nível estático está mais próximo da superfície, e as zonas de recarga, onde a profundidade do nível da água é mais elevada. A tendência geral de fluxo para norte sugere a contribuição do aquífero na perenização do Rio Uruguai.

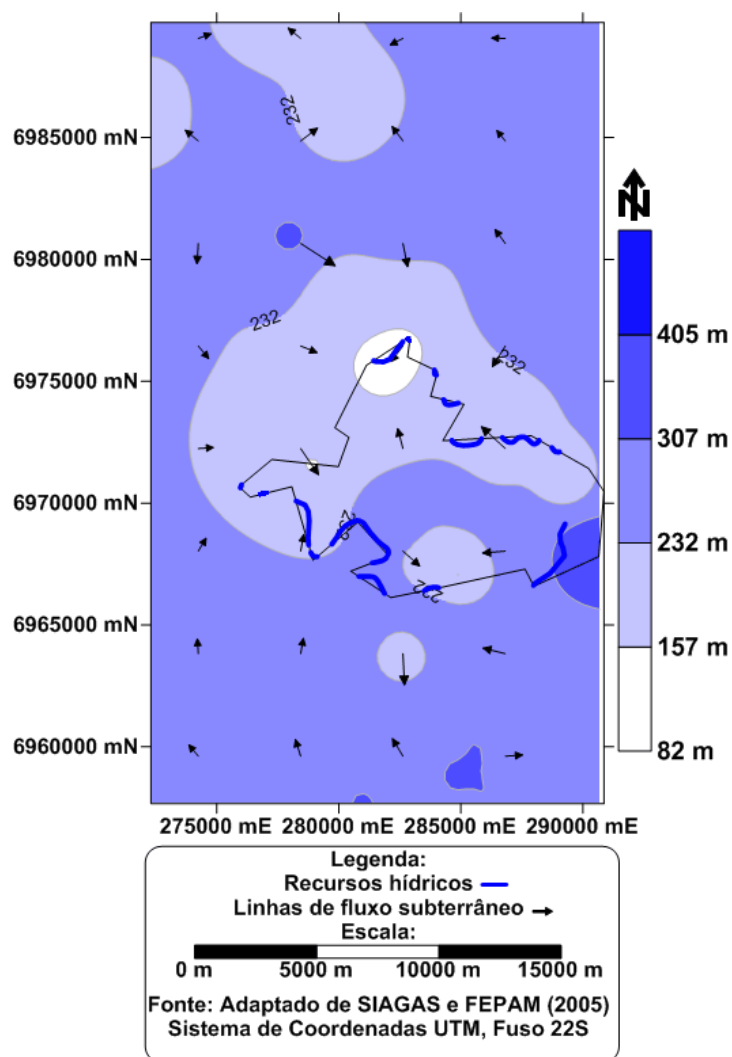


Figura 7 – Superfície potenciométrica do município de Ametista do Sul – RS.

4. Conclusões

O município de Ametista do Sul localiza-se em área do SASG, na Fácies Paranapanema. A formação geológica local caracteriza-se, principalmente, pela presença de basaltos e seus produtos de intemperização.

De maneira geral, o pH das amostras mostrou-se neutro a alcalino, cinco amostras apresentaram concentrações de flúor acima do VMP estabelecido pela legislação vigente. Isso merece a atenção da comunidade de usuários.

Todas as amostras classificaram-se como doces. Das onze amostras, dez foram classificadas quimicamente como bicarbonatadas sódicas e uma como sódica mista. Os diagramas de Stiff e Schoeller-Berkaloff permitiram agrupar as amostras conforme sua similaridade ou diferenças e ainda, verificar a tendência das águas.

De acordo com a aplicação do sistema GOD foi possível identificar classes de vulnerabilidade, de insignificante a baixa. Através da obtenção dos dados de superfície potenciométrica, pode-se identificar as zonas de recarga e descarga. Assim, este estudo amplia o conhecimento sobre o aquífero e mostra-se uma importante ferramenta para auxílio na gestão dos recursos hídricos.

Os resultados indicam a importância de estudos deste cunho temático para que sejam conhecidas as características químicas e físicas das águas, e então, perceber a limitação de seu uso.

Assim, sugere-se a continuidade desses estudos na área de estudo pela indicação de anomalias nas concentrações de fluoreto.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, ANA. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília, ANA, 74 p. 2005.

BITTENCOURT, A. V. L.; ROSA FILHO, E. F. da R.; HIINDI, E. C.; BUCHMANN FILHO, A. C. A Influência dos Basaltos e de Misturas com Águas de Aquíferos Sotopostos nas Águas Subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia do Rio Piquiri, Paraná- BR. **Revista Águas Subterrâneas**. ABAS. São Paulo. 17(1):67-75. 2003.

BONOTTO, D. M.; MANCINI, L. H. Estudo hidroquímico e isotópico dos aquíferos de Rio Claro (SP). **Geochimica Brasiliensis**, v. 6, n. 2, p. 153-167. 1.992

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (Brasil). **Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 8 abr. 2015.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS, CPRM. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, SIAGAS. **Banco de dados dos poços cadastrados em Ametista do Sul**. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php>. Acesso em: 20 mar. 2015.

FOSTER, S.; HIRATA, R., GOMES, D., D'ELIA, M. & PARIS, M. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais**. Groundwater Management Advisory GW.MATE WB: Washington, 114 p. 2006.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS- FUNCENE. **Manual do programa qualigraf**. Disponível em: <<http://www.funceme.br/produtos/manual/projetos/qualigraf/>>. Acesso em: 27 mar. 2015.

GOFFERMANN, M. **Caracterização hidrogeológica e hidroquímica das águas subterrâneas da região de São Gabriel, RS. 2013**. 142 f. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <[file:///D:/Documents/Downloads/000915714%20\(1\).pdf](file:///D:/Documents/Downloads/000915714%20(1).pdf)>. Acesso em: 27 abr. 2015.

LANDIM, P. M. B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. Rio Claro: DGA/IGCE/UNESP, 20 p. 2000.

LUIZ, T. B. P.; DE BORBA, W. F.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; FERNANDES, G. D.; GANZER, E. P.; TERRA, L. G. Determinação da vulnerabilidade à contaminação natural do aquífero em Frederico Westphalen-RS. In: VIII Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental. **Anais...** Curitiba. 2015.

MACHADO, J. L. F. **Compartimentação Espacial e arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul**. 2005. 237f. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade

do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2005. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/media/aquifero.pdf>>. Acesso em: 17. mar.2015.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. **Projeto Mapa Hidrogeológico do RS**. Porto Alegre: Convênio SOPS/SEMA/DRH/CPRM, 2005.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (Brasil). Portaria nº. 2.914, de 12 de dezembro de 2011 Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Disponível em: <http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 07 mai.2015.

MONTEIRO, R. C. *Estimativa espaço-temporal da superfície potenciométrica do Sistema Aquífero Guarani na cidade de Ribeirão Preto- SP*. 2003. 233f. Tese (Doutorado em Geociências) Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2003.

ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS- OEA - GEF - Global Environment Facility. **Projeto de proteção ambiental e desenvolvimento sustentável do Sistema Aquífero Guarani**. Programa Estratégico de Ação – PEA. [S.l.], 102 p. 2009.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD- OMS. **Guías para la calidad del agua potable**. 2 ed. Ginebra, 195 p. 1999.

SEMA- Secretária Estadual do Meio Ambiente. **Mapa das Bacias Hidrográficas do Estado do RS**. Porto Alegre: SEMA. 2004.

SANTIAGO, M. R. ; SILVÉRIO DA SILVA, José L. Análises das ocorrências anômalas de fluoreto em águas subterrâneas. **Águas Subterrâneas**, v. 24, p. 12. 2010.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L; DESCOVI FILHO, L. L. V., LORENSI, R. P., CRUZ, J. C. & ELTZ, F. L. Vulnerabilidade do Aquífero Serra Geral à contaminação no município de Erechim - Rio Grande do Sul - Brasil. **Ciência e Natura**, 35: 10-23. 2013

TERRA, L. G. **Diagnóstico de fluoreto em águas do Sistema Aquífero Guarani na região de Santa Maria-RS**. 2015. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2015