

MODELAGEM HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS AQUIFERO GUARANI, BLOCO SUL: BACIA DO RIO SANTA MARIA - RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

DANIEL GUNNAR FLORES SANHUDO¹; JULIANA PERTILLE DA SILVA²

¹Universidade Federal de Pelotas – danielgfsan@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – juliana.pertill@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

As características físico-químicas das águas subterrâneas são decorrentes de uma série de fatores, incluindo as reações químicas resultantes das interações entre a água/rochas (FEITOSA et al, 2008). Nesse contexto, a modelagem hidrogeoquímica permite descrever a interação água-gás-rocha responsáveis por parte dessas características (MERKEL; PLANER-FRIEDRICH, 2012). Este método consiste na aplicação de algoritmos que realizam cálculos, por meio de programas específicos, baseados na minimização de energia livre ou em constantes de equilíbrio (PARKHURST; APELLO, 2012). Um dos programas mais utilizados é o PHREEQC, escrito em linguagem de programação C, que realiza cálculos como o índice de saturação (MERKEL; PLANER-FRIEDRICH, 2012).

Os índices de saturação (IS) representam o logaritmo do quociente entre o produto da atividade iônica (IAP) e o produto de solubilidade (K_{PS}). Este índice em supersaturação, indica a possibilidade de precipitação de um mineral. Assim, podemos considerar que sendo $IS < -0,05$ a solução está subsaturada, de $-0,05$ a $+0,05$ a solução está em equilíbrio e $>0,05$ a solução está supersaturada (MERKEL; PLANER-FRIEDRICH, 2012).

O objetivo deste trabalho é realizar a modelagem hidrogeoquímica de oito poços selecionados do Sistema Aquífero Guarani. Para isso a proposta de Matzembacher (2011) que inclui a Formação Piramboia no Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul foi considerada. A área de estudo está sob a gestão do comitê de gerenciamento da Bacia do Rio Santa Maria (Figura 1).

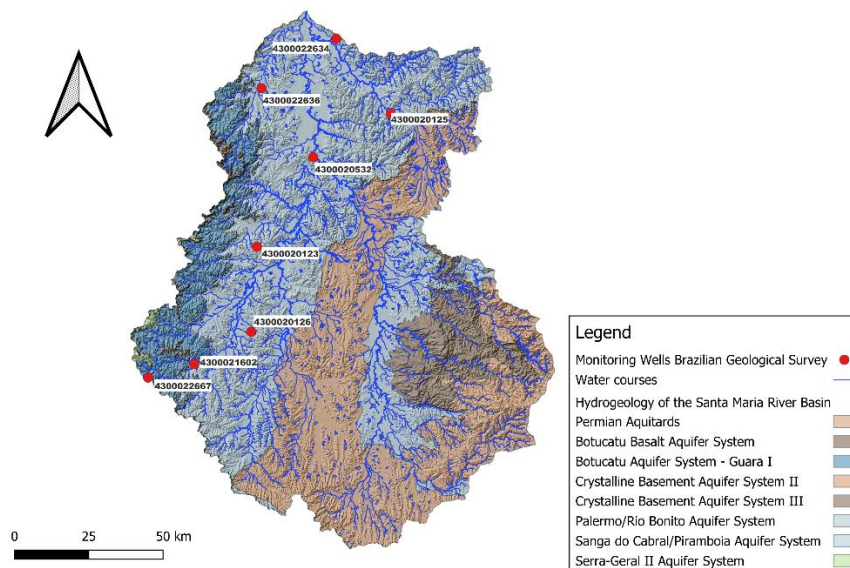


Figura 1 - Mapa de descrição da área de estudos. Pontos de coleta em destaque

A Formação Piramboia é caracterizada por petrofácies predominantemente de origem feldspáticas decorrente de ambientes de transporte e deposição eólica, fácies como dunas, interdunas e lençóis de areia (GESICKI, 2007). Sobre a composição desta formação, eles se caracterizam por compreender arenitos e arenitos argilosos com pouca cimentação (MATZEMBACHER, 2011).

Dado a importância social, econômica e ambiental deste recurso para o município e sua vulnerabilidade as mudanças climáticas, essa pesquisa objetiva analisar os processos hidrogeoquímicos atuantes no Sistema Aquífero Guarani - Bloco Sul que são responsáveis pela composição das águas subterrâneas presentes na Bacia do Rio Santa Maria.

2. METODOLOGIA

Este trabalho consiste em uma análise de dados secundários de amostras de águas subterrâneas coletadas e analisadas em uma campanha de amostragem realizada pelo Serviço Geológico Brasileiro – SGB para a Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas – RIMAS (SGB, 2025). As amostras foram coletadas no dia 14 de setembro de 2022 em 8 pontos de coleta conforme descritos na tabela 1. Posteriormente, esses dados foram disponibilizados para acesso público no site do RIMAS de onde foram compilados para este estudo.

Tabela 1 - Informações sobre local e datas das amostras coletadas

Ponto	Município	Nº Poço RIMAS	Profundidade (m):	Localidade:	UTM (N/S):	UTM (L/O):
P1	Santana do Livramento	4300020123	98	Estância Santa Rita	6622822	679839
P2	Rosário do Sul	4300020125	72	Azevedo Sodré	6665286	727180
P3	Santana do Livramento	4300020126	65	Assentamento Torrão	6594371	676384
P4	Rosário do Sul	4300020532	100	ETA Centro Rosário do Sul	6651981	700378
P5	Santana do Livramento	4300021602	86	Campo de Cooperação	6584537	656667
P6	Cacequi	4300022634	50	Secretaria de Agricultura	6691524	710221
P7	Cacequi	4300022636	93	Saica	6676127	684228
P8	Santana do Livramento	4300022667	100	Parque da Hidráulica - DAE	6580821	640928

Os dados hidroquímicos de entrada do modelo foram: Amônia (NH_4); Bário (Ba); Boro (B); Cálcio (Ca^{2+}); Cloreto (Cl^-); Estrôncio (Sr); Ferro Total (Fe); Fluoretos (F^+); Lítio (Li); Magnésio (Mg^+); Manganês (Mn); Nitratos (NO_3); Nitritos (NO_2); pH; Potássio (K^+); Sódio (Na^+); Sulfato (SO_4^{2-}) e Zinco (Zn).

Para obtenção dos valores dos índices de saturação em cada ponto amostral foram utilizados parâmetros que envolvem as condições ambientais, tais como: massa específica da água, temperatura = 22 °C (Valor mínimo para o Aquífero Guarani) e $p_e = 4$. Após a execução do modelo, os resultados fornecidos foram armazenados em planilhas eletrônicas. Para efetuar essa modelagem hidrogeoquímica utilizou-se o software PHREEQC 3.7.3 (*Department of Geosciences North Dakota State University*).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os principais resultados da modelagem dos índices de saturação gerados, baseada exclusivamente em dados hidroquímicos e conduzida sem

condicionamento prévio de fases minerais foram: Calcedônia que variou de -0.41 a 0.24; Hidróxido de Ferro (III) que variou de 0 a 1.92; Goethita que variou de 0 a 7.7; Hematita que variou de 0 a 17.39; Jarosita-K que variou de -8.25 a 0; Mackinawita que variou de -131.4 a 0; Manganita que variou de 0 a 2.58; Melanterita que variou de -17.34 a 0; Pirita que variou de -216.98 a 0; Pirocroita que variou de -6.1 a 0; Quartzo que variou de 0.03 a 0.68; Dióxido de Silício que variou de -1.26 a -0.61 (PARKHURST; APELLO, 2012).

Os resultados de IS em supersaturação que indica a possibilidade de precipitação de minerais como Calcedônia, Hidróxido de Ferro (III), Hematita, Manganita, Quartzo. Já os resultados de IS em supersaturação que indica a possibilidade de dissolução de minerais como Dióxido de Silício, Jarosita-K, Mackinawita, Melanterita, Pirita e Pirocroita (MERKEL; PLANER-FRIEDRICH, 2012).

A presença de IS para estes minerais se destacam entre os demais por sua coerência com a mineralogia descrita para a Formação Piramboia, que é caracterizada principalmente por presença de estauroлита, granada, epidoto e mica descritas por Wu e Chang (1992).

Embora as fases primárias não tenham sido representadas diretamente no modelo, os minerais identificados indicam produtos secundários plausíveis da alteração dessas litologias. Essa coerência entre os minerais previstos e os processos esperados reforça a robustez da modelagem como ferramenta para interpretar interações água-rocha, mesmo sem pré-definir o sistema mineralógico (PARKHURST; APELLO, 2012).

Deste modo, podemos afirmar que elementos-traço como Fe, Li, Mn e Zn, podem estar associados a mineralogia da Formação Piramboia (WU; CHANG, 1992; KLEIN; DUTROW, 2012). A ocorrência desses íons portanto pode relacionar-se a processos de dissolução e precipitação que geram os minerais secundários decorrentes destes minerais observados, seus compostos e íons liberados na água subterrânea captados por esses poços (FEITOSA et al, 2008).

4. CONCLUSÕES

Esse resultado evidencia o potencial dos índices de saturação como ferramenta para inferência indireta da mineralogia e dinâmica geoquímica do aquífero, oferecendo subsídios relevantes para investigação se as características físico-químicas são de origem geogênica ou antropogênica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FEITOSA, F.A.C. et al. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. CPRM, 2008 Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/14818/3/livro_hidrogeologia_conceitos.pdf

GESICKI, A. L. D. **Evolução diagenética das formações Pirambóia e Botucatu (Sistema Aquífero Guarani) no Estado de São Paulo**. 2007. 175 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) – Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 2007.

KLEIN, C.; DUTROW, B. **Manual de Ciências dos Minerais**. 23 ed. Porto Alegre: Bookman, 2012

MATZEMBACHER, L. T. **Caracterização estrutural, hidrogeológica e hidroquímica da zona de recarga dos sistemas aquíferos Guarani (SAG) na região sudoeste do Rio Grande do Sul.** 2011. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre, 2011.

MERKEL, B. J.; PLANNER-FRIEDRICH, B. **Geoquímica de águas subterrâneas: um guia prático para modelagem de sistemas aquáticos naturais e contaminados.** Campinas: Editora da Unicamp, 2012.

PARKHURST, D. L.; APPELO, C.A.J. **Description of Input and Examples for PHREEQC Version 3—A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations.** U.S. Geological Survey Techniques and Methods, Denver, 2012.

SGB – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas - RIMAS.** Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: https://rimasweb.sgb.gov.br/layout/visualizar_mapa.php.

WU, F. T. CHANG, M. R. C. Estudo mineralógico dos arenitos das formações Pirambóia e Botucatu no centro-leste do Estado de São Paulo. Revista IG. 1992. São Paulo: n 13(1), p 58-68 Disponível em: <https://revistaig.emnuvens.com.br/rig/article/view/217/199>