

EVOLUÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DOS AQÜÍFEROS NO OESTE CATARINENSE

José Luiz Flores Machado¹; Marcos Alexandre de Freitas¹; Bráulio Robério Caye¹

Resumo. Este artigo apresenta os resultados obtidos no estudo das características químicas das águas do aquífero fraturado Serra Geral e porosos, Guarani e Rio do Rasto. Os dados foram coletados durante os trabalhos de campo do Projeto Oeste de Santa Catarina, um convênio de cooperação entre a CPRM (Serviço Geológico do Brasil)-Unidade Regional de Porto Alegre e a SDM/EPAGRI do Governo do Estado de Santa Catarina. O estudo abrangeu a determinação de parâmetros físico-químicos “*in loco*” para a orientação na posterior coleta de amostras de água para análise química. A interpretação dos dados permitiu a definição dos principais tipos geoquímicos e características químicas dos aquíferos fraturados e porosos. A análise conjunta dos dados químicos com aqueles relacionados com a hidrodinâmica, geologia e geomorfologia permitiu o estabelecimento de um modelo hidrogeoquímico preliminar da evolução da água nos aquíferos fraturados e porosos.

Abstract. This paper presents the results drawn from the study of the chemical characteristics of the groundwaters of the fractured basaltic aquifers and the porous aquifers Guarani/Rio do Rasto. Data were collected during the field work of the “Oeste de Santa Catarina” project, an agreement between CPRM (Brazilian Geological Survey) and SDM/Epagri/Santa Catarina State Government. Initially physical/chemical parameters were determined “*in loco*” for subsequent sampling and chemical analysis. The data interpretation allowed the definition of the major geochemical types and the chemical characteristics of the fractured and porous aquifers. The chemical data analysed together with hydrodynamics, geology and geomorfology permitted the construction of a preliminary hydrogeochemical model for the groundwater evolution of the fractured and porous aquifer.

Palavras-chave: Hidrogeoquímica; Aquíferos fraturados; Oeste Catarinense

¹ Geólogos - CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Superintendência Regional de Porto Alegre. Rua Banco da Província, 105. Santa Teresa. Porto Alegre - RS. CEP: 90840-030 Fone: (51) 3233-7311 Fax: (51) 3233-7772 email: cprm_pa@portoweb.com.br

INTRODUÇÃO

O estudo hidroquímico das águas subterrâneas realizado no Projeto Oeste de Santa Catarina foi orientado objetivando a reunião de um conjunto de dados que possibilitasse a interpretação das análises químicas através de gráficos, de modo que permitisse a definição dos tipos geoquímicos das águas subterrâneas e conseqüentemente o estabelecimento de um modelo conceitual hidrogeoquímico preliminar para os aquíferos presentes na área do projeto. A localização dos pontos amostrados para análise físico-química e os limites da área do projeto podem ser visualizados na figura 1.

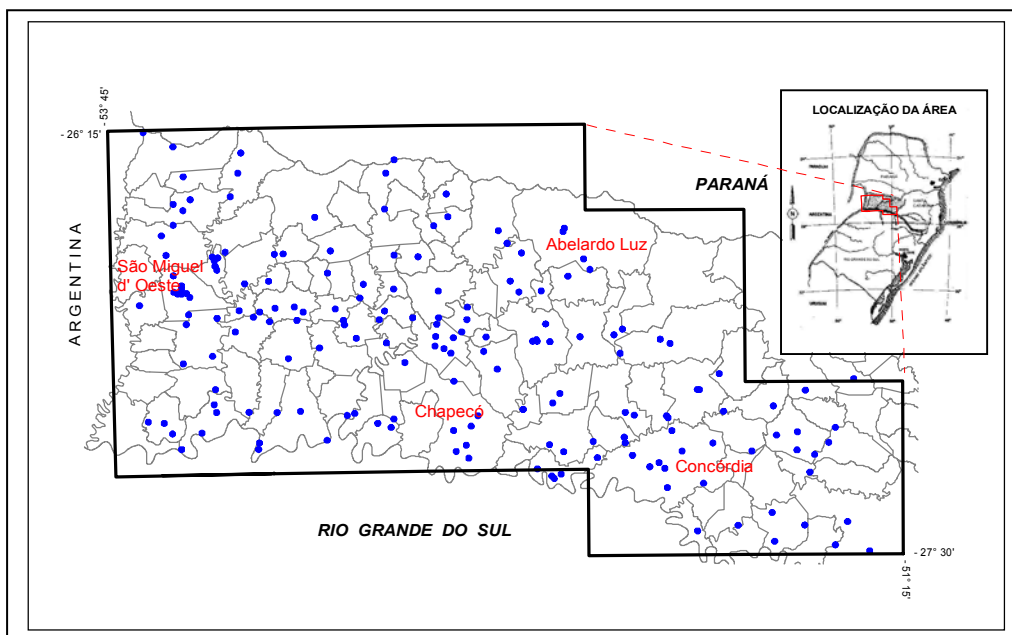


Figura 1 – Localização da área e pontos amostrados para análise físico-química.

Durante os trabalhos de campo foram coletadas 180 amostras, das quais 176 em poços tubulares e 4 em nascentes, sendo 1 fria e 3 termais. De acordo com os tipos de aquíferos, foram coletadas 176 amostras em aquíferos fraturados da Formação Serra Geral, sendo 172 amostras de poços tubulares e 4 amostras de nascentes. Com relação aos aquíferos porosos, os mesmos são representados apenas pelo Aquífero Guarani, do qual foram tomadas 4 amostras de poços tubulares, acrescidas de mais 4 análises compiladas de outros laboratórios.

As análises químicas foram realizadas pelo Laboratório de Águas da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina (EPAGRI), localizado em Chapecó-SC. Foram determinados os seguintes parâmetros: alcalinidade de bicarbonatos, alcalinidade de carbonatos e hidróxidos, ortofosfato, nitrato em N, nitritos em N, NH₃ em N, Ca, Mg, Na, K, SO₄, Cl, Fe, Si, Mn, F, CO₂ livre, dureza, sólidos totais dissolvidos e turbidez.

Nos trabalhos de cadastramento de poços no campo foram determinadas “*in loco*” os valores de pH e condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), utilizando-se o medidor integrado portátil Orion modelo 1230. Os valores de condutividade foram automaticamente corrigidos para a temperatura de 25°C, de modo a permitir a comparação entre os valores obtidos nestes pontos de água.

Do total de 180 amostras analisadas, foi desconsiderado o resultado de 1 amostra, eliminada por apresentar erro superior ao limite de erro permissível. Para a construção do Gráfico de Piper e do Diagrama de Stiff foi utilizado o software Rockworks.

MÉTODOS DE ANÁLISE LABORATORIAL

Para a realização das análises químicas foi utilizado o Laboratório de Águas da EPAGRI, localizado em Chapecó, visando uma maior uniformização dos resultados. Para complementar o estudo foram utilizadas análises de poços tubulares profundos realizadas através do Lamin-CPRM, Cientec e Cetesb.

As coletas de água e análises químicas foram feitas seguindo a metodologia descrita no “Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater”. Os parâmetros analisados e os respectivos métodos estão no quadro 1.

Quadro 1 - Métodos de análise de laboratório.

Parâmetro	Unidade	Limite de Detecção	Métodos de Análise
Sódio	mg/l	-	Titulação
Potássio	mg/l	-	Titulação
Cálcio	mg/l	0,40	Titulação
Magnésio	mg/l	0,20	Titulação
Cloreto	mg/l	0,71	Titulação
Sulfato	mg/l	0,0 – 80,00	Colorimetria
Alcalinidade	mg/l Ca CO ₃	2,0	Titulação
Dureza	mg/l Ca CO ₃	2,0	Titulação
Amônia	mg/l	-	Espectrofotometria
Nitrato	mg/l	-	Espectrofotometria
Nitrito	mg/l	-	Espectrofotometria
CO ₂	mg/l	0,01	Cálculo em Ábacó
Fluoreto	mg/l	0,0 – 1,5	Colorimetria
Orto-fosfato	mg/l	-	Espectrofotometria
Ferro	mg/l	-	Colorimetria
Manganês	mg/l	-	Colorimetria
Sílica	mg/l	0,0 – 40,0	Colorimetria
pH	-	0 – 14	Potenciometria
Condutividade Elétrica.	$\mu\text{S}/\text{cm}$	-	Potenciometria
STD	mg/l	2,0	Filtração/Evaporação

AQÜÍFEROS FRATURADOS

Tipos Geoquímicos das Águas

Os tipos geoquímicos (Grupos e Subgrupos) das águas amostradas nas litologias basálticas foram determinados através do Gráfico de Piper (figura 2), plotando-se os percentuais de miliequivalentes dos principais cátions e ânions. A apresentação dos grupos e subgrupos determinados, o número de amostras de cada subgrupo e sua frequência relativa é feita através do quadro 2.

Quadro 2 - Tipos geoquímicos das águas do aquífero fraturado.

Tipos Geoquímicos	Nº de amostras	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
Bicarbonatadas cálcicas	34	19,6	19,6
Bicarbonatadas cálcio-magnésicas	20	11,6	31,2
Bicarbonatadas cálcio-sódicas	17	10,0	41,2
Bicarbonatadas magnésicas	02	1,0	42,2
Bicarbonatadas magnésio-cálcicas	16	9,1	51,3
Bicarbonatadas sódicas	47	27,0	78,8
Bicarbonatadas sódico-cálcicas	09	5,1	83,9
Bicarbonatadas sódico-magnésicas	01	0,5	84,4
Bicarbonatadas cloretadas magnésio-sódicas	01	0,5	84,9
Cloretadas cálcicas	01	0,5	85,4
Cloretadas magnésico-sódicas	02	1,0	86,4
Cloretadas sódicas	09	5,1	91,5
Cloretadas bicarbonatadas cálcicas	01	0,5	92,0
Cloretadas bicarbonatadas sódicas	05	3,0	95,0
Cloretadas bicarbonatadas sódico-magnésicas	01	0,5	95,5
Cloretada sulfatada sódica	02	1,0	96,5
Sulfatada cálcica	01	0,5	97,0
Sulfatada sódica	04	2,0	99,0
Sulfatada cloretada sódica	02	1,0	100,0
TOTAL	174		

mostra um valor médio de 84,79 mg/l de CaCO₃. Segundo a classificação de KLUT-OLSZESKI tratam-se de águas moles.

A alcalinidade, expressa também em mg/l de CaCO₃, analisada apenas nas amostras de laboratório, apresentou um valor médio de 82,35 mg/l de CaCO₃, sendo que 79,8 % das amostras são inferiores a 100 mg/l de CaCO₃ e 3,5 % ultrapassam a 200 mg/l de CaCO₃.

AQUÍFEROS POROSOS

Tipos Geoquímicos das Águas

Na área de estudo do projeto, as águas que circulam nas formações porosas estão restritas ao Sistema Aquífero Guarani e ao Aquífero Rio do Rasto, que podem estar sendo captadas em conjunto. No total foram analisados dados de 8 poços tubulares, com resultados de análise dos Laboratórios de Águas da EPAGRI (coletadas durante o andamento do projeto), do Lamin-CPRM, Cientec e Cetesb. Uma análise foi descartada por apresentar-se incompleta e com erro acima do permissível.

A partir destas análises químicas, os tipos geoquímicos (Grupos e Subgrupos) das águas amostradas nestas litologias também foram determinadas através do Gráfico de Piper (figura 3), seguindo o mesmo procedimento já descrito na plotagem de cátions e ânions. Os resultados segundo o número de amostras de cada subgrupo pode ser visualizado no quadro 3.

Quadro 3 - Tipos geoquímicos das águas do aquífero poroso.

Tipos Geoquímicos	Nº de amostras	Frequência Relativa (%)	Frequência Acumulada (%)
Bicarbonatada sódica	04	57,1	57,1
Bicarbonatada cloretada sódica	01	14,3	71,4
Cloretada sódica	01	14,3	85,7
Sulfatada sódica	01	14,3	100,0
TOTAL	7		

Características Químicas das Águas

O meio poroso é representado pelos Aquíferos Guarani e Rio do Rasto, sendo que das 8 análises efetuadas e/ou compiladas, 5 refletem as características das águas do Aquífero Guarani e 3 as águas captadas em conjunto com o Aquífero Rio do Rasto. Uma análise, correspondente ao poço perfurado pela Prefeitura de Itá, foi descartada por erro analítico.

Durante os trabalhos de campo, as medidas de condutividade elétrica para as águas do Aquífero Guarani resultaram em um valor médio de 832,8 µS/cm, enquanto que para as águas resultantes da captação conjunta com o Aquífero Rio do Rasto, o valor médio foi de 2527,0 µS/cm.

O valor mínimo de pH foi de 7,36 e o máximo de 9,45, com uma média de 8,42, característicos de águas alcalinas.

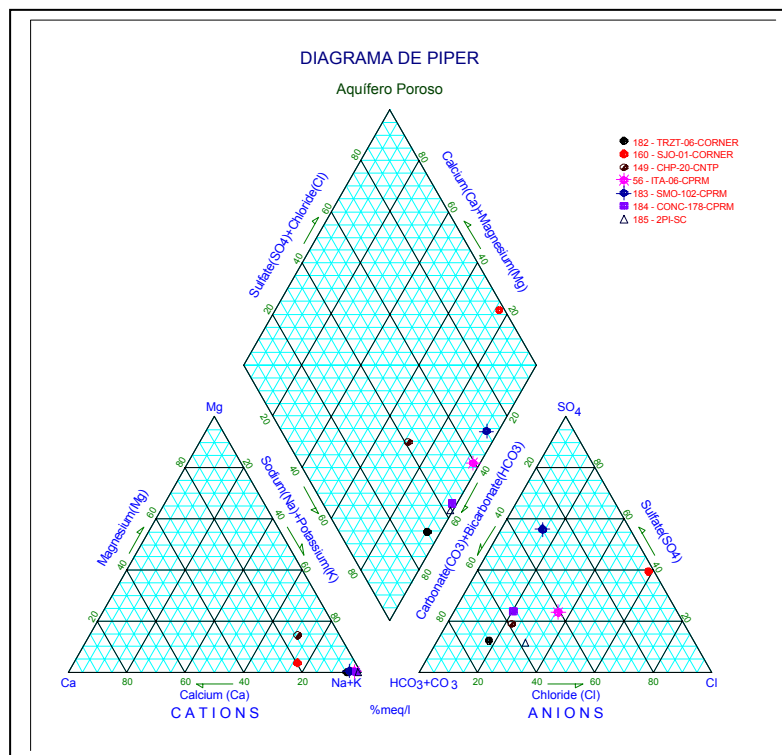


Figura 3 - Diagrama de Piper das amostras relativas ao aquífero poroso.

A média de sólidos totais dissolvidos para as águas captadas do Aquífero Guarani é de 521,35 mg/l, enquanto que nos poços em que a captação é conjunta com o Aquífero Rio do Rasto a média sobe para 1804 mg/l. Estes resultados confirmam a diferença na qualidade das águas, observada em campo através dos dados de condutividade elétrica.

A dureza, expressa em miligramas por litro de CaCO₃ é calculada por titulação ou pela fórmula $D = (Ca/20 + Mg/12) \times 50$, com os valores de cálcio e magnésio em miligramas por litro, apresenta um valor médio de 132,6 mg/l de CaCO₃ para as águas do Aquífero Guarani e 404,0 mg/l de CaCO₃ para os poços que captam conjuntamente água dos Aquíferos Guarani e Rio do Rasto. Os valores de dureza variam de 5,3 mg/l de CaCO₃ em Concórdia até 748 mg/l de CaCO₃ em São João do Oeste. Segundo a classificação de KLUT-OLSZELSKI, o Aquífero Guarani possui águas algo duras. A alcalinidade total média para os aquíferos porosos (Guarani e Rio do Rasto) é 158,7 mg/l de CaCO₃.

EVOLUÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Aqüífero Fraturado

A composição química das águas do aquífero fraturado basáltico, como pode-se visualizar no quadro 6.2, é predominantemente bicarbonatada, compreendendo 84,9 % das amostras analisadas. As águas de composição catiônica cálcica e/ou magnésica são representadas por 51,8% das amostras e correspondem à evolução natural hidrogeoquímica das águas que percolam nas rochas basálticas. Outra característica importante para estas águas é o conteúdo em sólidos totais dissolvidos geralmente baixo, valores de pH que variam desde muito ácido até alcalino, além de baixos valores de alcalinidade e dureza.

Os restantes 15,1 % das amostras apresentaram predominância dos ânions cloreto (11,6%) e sulfato (3,5%), com o cátion sódio predominando na composição química. Estas águas caracterizaram-se por apresentar valores de pH geralmente alcalinos, maior concentração salina e baixa dureza.

A interpretação destes resultados de análise química, onde verifica-se a predominância do sódio sobre os demais cátions, não reflete as condições de evolução hidrogeoquímica típica para aquíferos fraturados basálticos, recarregados através da precipitação pluviométrica. Além desta constatação, verifica-se que 48,2 % das amostras apresentam além das águas bicarbonatadas sódicas, tipos geoquímicos sulfatados e cloretados predominantemente sódicos.

Ocorrem em toda a área do projeto litologias arenosas, associadas ao Aquífero Guarani, estando totalmente confinadas pelos derrames vulcânicos, com uma evolução geomorfológica baseada na erosão e nas condições estruturais reinantes e com os níveis potenciométricos que variam em relação aos níveis encontrados no aquífero fraturado. Desse modo, foram criadas as condições para um intercâmbio entre as águas dos dois aquíferos.

O estabelecimento de um modelo conceitual hidrogeoquímico definitivo foge aos objetivos deste projeto, entretanto, a realização e interpretação de 181 análises químicas, associadas ao levantamento geológico e hidrogeológico permitiram algumas conclusões sobre o modelo de evolução geoquímica das águas do aquífero fraturado basáltico:

1 – As águas de tipo geoquímico bicarbonatado, com predominância dos cátions cálcio e magnésio, estão associadas com as áreas de recarga do aquífero fraturado através das precipitações pluviométricas e compreendem as águas de menor tempo de residência ou circulação. Das características físico-químicas e químicas, destacam-se por apresentar valores mais baixos de pH e sólidos totais dissolvidos.

2 – As águas de tipo geoquímico bicarbonatado, com predominância do cátion sódio apresentam características no Gráfico de Piper e no Diagrama de Stiff, muito similares aos padrões exibidos pelas águas encontradas no Aquífero Guarani. Destacam-se por apresentar valores de pH

invariavelmente alcalinos, baixa dureza e sólidos totais dissolvidos com valores que sugerem mistura com águas provenientes de áreas de potenciometria mais elevada do aquífero subjacente.

3 – As águas de tipo geoquímico sulfatado, também apresentam predomínio do cátion sódio, com pH alcalino, baixo valor de dureza e maior teor de sais dissolvidos. Representam misturas de águas provenientes de regiões de circulação mais profunda dos Aquíferos Guarani e Rio do Rasto, com águas descendentes do aquífero fraturado em condições favoráveis de potenciometria.

4 – As águas de tipo geoquímico cloretado, predominantemente sódicas, apresentam um pH alcalino, baixa dureza e teores mais elevados de sais dissolvidos. Estas características estão relacionadas com as águas de maior tempo de residência, que ocorrem principalmente nas camadas aquíferas do Rio do Rasto ou nas rochas sedimentares permianas mais antigas, como nas formações Rio Bonito e Rio do Sul, cujas águas analisadas pela Petrobrás apresentaram alto teor salino de cloreto de sódio.

A ocorrência de termalismo nas águas captadas de poços tubulares e fontes no aquífero basáltico, é provavelmente uma das principais características que comprovam sua interligação com os aquíferos subjacentes. Esta afirmação pode ser facilmente corroborada pela análise do mapa geológico, onde pode-se visualizar a estruturação dos derrames. Em áreas de fraturamentos profundos, como nas proximidades da calha do rio Uruguai, as porções superiores do aquífero praticamente não recebem recarga através das precipitações, sendo as águas captadas dos poços e fontes originadas dos aquíferos subjacentes, com temperaturas que ultrapassam a 36° C. Através do trabalho de cadastramento de poços no campo, os valores preliminares de qualidade de água obtidos pelas medidas de pH, condutividade elétrica e temperatura demonstraram a grande diversidade química, não compatível com áreas basálticas. As análises completas de água em laboratório confirmaram as anomalias hidrogeoquímicas detectadas nos trabalhos de campo.

Aquífero Poroso

O traçado de um modelo de evolução hidrogeoquímica dos Aquíferos Guarani e Rio do Rasto na área do projeto é dificultada pela pequena quantidade de análises químicas disponíveis. Isto é devido a grande profundidade de ocorrência destes aquíferos, que situam-se na ordem de 500 metros, podendo alcançar até mais de 1300 metros na região extremo oeste do estado. Desse modo, a interpretação baseia-se em 8 análises químicas (uma delas não sendo utilizada para a construção de gráficos, devido estar incompleta e com erro analítico).

De acordo com o quadro 03, verifica-se que 71,4% das amostras referem-se a águas bicarbonatadas, sendo que destas 57,1% são exclusivamente bicarbonatadas sódicas. Embora o reduzido número de poços estudados de aquíferos porosos profundos, estes se distribuíram uniformemente na área do projeto, o que permitiu estender algumas conclusões.

Verifica-se através dos perfis geológicos e construtivos, que os poços que captam exclusivamente o Aquífero Guarani possuem águas de bicarbonatadas sódicas a bicarbonatadas cloretadas sódicas. Não existe dentro da região abrangida pelo projeto nenhuma área de recarga por precipitação pluviométrica (áreas de afloramento do aquífero). Como as águas possuem predominância do cátion sódio, elas apresentam a mesma composição química do Aquífero Guarani nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná.

A presença de águas bicarbonatadas tão distantes da área de recarga em afloramento, sugere a existência de recarga através do aquífero fraturado confinante. A mistura de águas deste aquífero com o sobrejacente dá-se através de fraturamentos associados às zonas onde o nível potenciométrico do aquífero poroso é mais profundo do que o do aquífero fraturado.

Os valores de sais totais dissolvidos, que variam de 306 mg/l até 892,77 mg/l para águas bicarbonatadas sódicas, seriam anômalos caso a recarga se desse exclusivamente pelas áreas de afloramento, o mesmo constatando-se através dos valores de pH. Desse modo, as águas captadas do Aquífero Guarani, em sua porção superior eólica (correspondente à Formação Botucatu) varia de bicarbonatada sódica a bicarbonatada cloretada sódica.

Os restantes 28,6% das amostras correspondem a águas sulfatadas e cloretadas, com predominância do cátion sódio. Aqui, levando-se em consideração a evolução geoquímica das águas naturais: $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ para as águas recém infiltradas e $\text{SO}_4 > \text{Cl} > \text{HCO}_3$ e $\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$ para as águas de maior tempo de residência, conclui-se que os aquíferos captados por esses poços encontram-se provavelmente em áreas de descarga. Como o poço perfurado em São João do Oeste atravessou pequena espessura de arenitos eólicos, as suas reservas de água originadas do Aquífero Rio do Rasto constituem-se de águas cloretadas sódicas com altos valores de sais dissolvidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA – AWWA – WEF (1992) Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater. Washington: APHA – AWWA – WEF. 18^a ed.
- FREITAS, M. A. de; CALDASSO, A. I. da S.; CAYE, B. R.; DIAS, A. A.; PASSAGLIA, S. C.; MIRANDA, G. X. de. (2002) Projeto Oeste de Santa Catarina. Porto Alegre: CPRM/SDM/Epagri/SC. (no prelo)