

ESTUDO HIDROGEOQUÍMICO DA FORMAÇÃO SERRA GERAL NA REGIÃO SUDOESTE DO ESTADO DO PARANÁ

Fábio Manasses¹ Ernani Francisco da Rosa Filho² André Virmond Lima Bittencourt³

RESUMO A área de estudo localiza-se na região sudoeste do estado do Paraná, cuja extensão é de aproximadamente 8.675 Km². Nesta região, afloram as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, representadas predominantemente por basaltos, e secundariamente por andesitos. Segundo a classificação pelo diagrama de Piper as águas são predominantemente bicarbonatadas cálcicas e bicarbonatadas sódicas, existindo também águas bicarbonatadas mistas e apenas uma amostra do tipo sulfatada sódica. Os resultados estão baseados em 57 análises físico-químicas de amostras coletadas em 57 poços tubulares que seccionaram apenas as rochas da Formação Serra Geral. Os laudos de análises físico-químicas dos poços apresentavam os ânions (HCO₃⁻, CO₃²⁻, Cl⁻, SO₄²⁻) e cátions (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺) maiores, além de pH, condutividade elétrica, sílica dissolvida, dureza total, nitrato, ferro total, fluoreto, temperatura e sólidos totais dissolvidos (STD). O DBI médio foi de 3,17 %. Também foram plotadas 25 amostras de rocha e as 57 amostras de água em um diagrama ternário expresso em concentrações relativas (meq/L) de cátions (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K). As amostras também foram plotadas nos diagramas de Khorzinskii para os seguintes parâmetros: Na⁺; Ca²⁺; K⁺ e H₂SiO₄, os resultados mostraram que o pH varia de 6,69 a 9,95. O carbonato ocorre com um máximo de 112 mg.L⁻¹. Os valores de STD variam 423 mg.L⁻¹ a 52 mg.L⁻¹. Os valores de fluoreto variam de 0,01 a 2,95 mg.L⁻¹. O diagrama ternário com amostras de água e rocha da região de estudo indicou que as amostras de rocha têm, de um modo geral, valores mais elevados do íon magnésio e valores mais baixos dos íons cálcio, sódio e potássio. Os índices de saturação das amostras configuram índices de saturação próximos ao equilíbrio para a calcita, quartzo, dolomita, calcedônia e aragonita.

Palavras-Chave: hidroquímica, basalto, sistema aquífero Serra Geral

ABSTRACT The study area is localized in the southwestern in Parana state with area just about 8.675 km². In the area outcrop the basalts and andesites from Serra Geral Formation. These rocks are composed by augite pyroxene, as well as plagioclase. The purposes of the study were the hydrochemistry characterization and classified by majors ions. The hydrochemical types were obtained from the miliequivalence relation between the main elements, expressed as cations and anions, using the Piper's triangular diagram. The typical waters, are bicarbonate calcium and bicarbonate sodium, but there are bicarbonate mixing and one date of sulphatade sodium. In this work were used 57 analyses physical-chemistry located in the Serra Geral Formation. The analysed parameters were: HCO₃⁻, CO₃²⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ electrical conductivity, total solids and pH. These data also analyzed in Khorzinskii diagram for parameters were Na⁺; Ca²⁺; K⁺ e H₂SiO₄. The avereging DBI observed is 3,17%. Also were used 25 data of rock analyses and the same 57 data of groundwater analyses in a ternary diagram expressed in concentrations (meq/L) to this parameters; Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, and K⁺. The results indicate that pH is ranging from 6,69 to 9,95. The STD is ranging from 423 a 52 mg/L. The fluoride concentration is ranging from 0,01 to 2,95 mg/L. The results obtained show saturation index in equilibrium for calcite, quartz, dolomite, chalcedony and aragonite.

Key-words: hydrochemistry, basalt waters, Serra Geral aquifer System

INTRODUÇÃO

De acordo a SUDERHSA (Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), cerca de 16% do abastecimento de água do estado é feito por meio de captação de aquíferos.

A Formação Serra Geral comporta o maior numero de poços perfurados até a presente data no Estado do Paraná, com cerca de 60%, e por esta razão é a principal fonte de abastecimento de água subterrânea das cidades localizadas na região sudoeste do Estado. Na região são perfurados poços tubulares profundos sobre rochas básicas Mesozóicas da Formação Serra Geral. A água subterrânea supre as necessidades, seja no atendimento total ou parcial do abastecimento

público e de atividades como irrigação, dessedentação de animais, indústria, postos de serviço, condomínios, turismo, lazer, entre outros através da captação em poços tubulares, escavados ou fontes/ nascentes.

O objetivo deste trabalho é classificar a água subterrânea através da composição química de íons predominantes e caracterizar a hidroquímica da água subterrânea na área de estudo.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo localiza-se na região sudoeste do Estado do Paraná. É limitada a norte pelo Rio Iguaçu, a sul pelo estado de Santa Catarina, a leste pelo Rio Chopin e a oeste pela Argentina (Figura 1). Tem uma área aproximada de 8.675 km².

Estão faltando estas informações

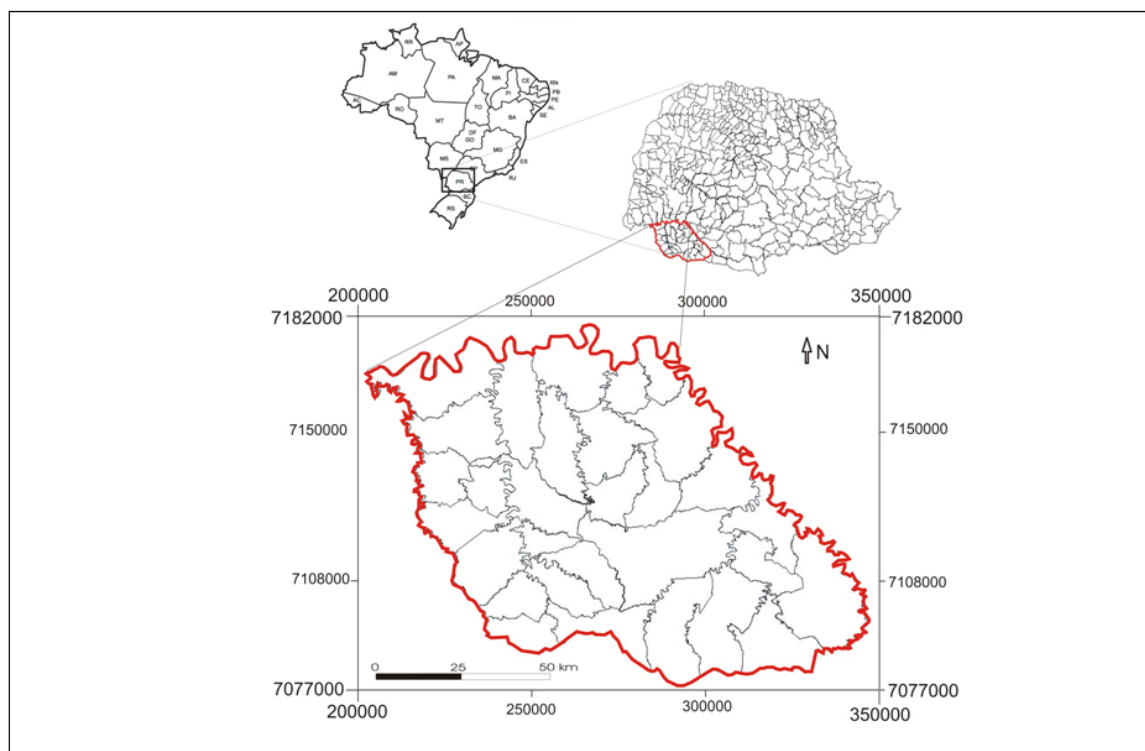


Figura 1- Localização da área de estudo no Estado do Paraná delimitada em vermelho. Coordenadas UTM (m). Datum SAD 69 – 22J.

Figure 1 – Study area location in Paraná State delimited in red. Coordinates in UTM (m). Datum SAD 69-22J.

Formação Serra Geral é a denominação utilizada para a seqüência de derrames de lavas basálticas que ocorre no Terceiro Planalto Paranaense. A área de ocorrência destas rochas, em território Paranaense, corresponde a aproximadamente 109.000 Km² e as espessuras máximas atingem 1.500 m (Araújo et al., 1995).

A Formação Serra Geral é composta essencialmente de rochas ígneas vulcânicas como basaltos toleíticos e andesitos basálticos. A espessura de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral aumenta no sentido leste para oeste, chegando a ultrapassar 1.000 metros nas regiões centrais da Bacia do Paraná (Fraga 1986).

As principais estruturas descritas dos derrames são: contatos interderrames (fendas de grande extensão lateral); zonas de basalto vesicular e amigdaloidal, características de topo de derrame, preenchidas principalmente por calcita, quartzo e zeólitas; áreas de basalto compacto, geralmente diaclasado, característica de zonas de exclusão, e tratos de base de derrame, raramente vesicular, com fraturas paralelas ao contato. Associados ao mesmo ciclo de vulcanismo ocorrem diques e soleiras de diabásio, faixas fraturadas subhorizontais e subverticais, com juntas e falhas, diques de arenito injetados, tufos vulcânicos, aglomerados (Silva, 2007).

O mergulho regional dessas rochas ocorre na

direção leste/sudoeste, com cotas de 1.100 metros da borda leste e 49 metros na Foz do Rio Iguaçu. A espessura máxima dessa formação, no Estado do Paraná, é de 1.400 metros, e ocorre na região de Alto Piquiri (Araújo et al., 1995).

Melfi (1967, apud Gallo e Sinelli, 1980) executou a análise modal das rochas basálticas da Formação Serra Geral, resultando em plagioclásios (40 a 60%), piroxênio (25 a 40 %), magnetita e ilmenita (10%), apatita, quartzo, feldspato potássico (0 a 2%), clorita, biotita e anfibólios (máximo de 5%).

MINEROPAR e CPRM (2006) ao interpretar imagens LANDSAT e de radar no Terceiro Planalto Paranaense identificaram três direções principais (NW, NE e E-W). Contudo, as mais proeminentes têm direção NW e, dentre estas, se destaca o alinhamento do Rio Iguaçu o qual aloja espessos diques de diabásio.

Licht (2001) identificou no sudoeste do Estado do Paraná, uma distribuição ampla tanto na horizontal com na vertical, para os níveis de gabro aproximadamente horizontais que atingem até 70 centímetros. Ocorrem encaixadas em basaltos e diabásios. A coloração varia desde negro esverdeado a marrom avermelhado.

MINEROPAR e CPRM (2006) estudando a carta de Guarapuava no sudoeste do Estado do Paraná dividiram as rochas da Formação Serra Geral em estratigrafia de fácies. A interpretação

de imagens LANDSAT, perfis magnetométricos regionais, levantamentos de campo, estudos petrográficos, dados de química mineral e de litoquímica convencional possibilitaram dividir o magmatismo Serra Geral da área mapeada em cinco fácies de rochas vulcânicas básicas seguintes: Fácies Nova Laranjeiras, Fácies Capanema, Fácies Campos Novos, Fácies Cordilheira Alta, Fácies Campo Erê.

A Fácies Nova Laranjeiras aflora nas cotas mais baixas da região. Os basaltos desta fácies são pretos, de aspecto geral vítreo com brilho resinoso e que se altera para cinza acastanhado a avermelhado de aparência metálica.

A Fácies Capanema aflora nas porções mais baixas de Francisco Beltrão. Os basaltos dominantes desta fácies variam de afíricos a microfaneríticos a fracamente porfíricos.

A Fácies Campos Novos compreende basaltos pretos, microfaneríticos a afaníticos, de aspecto microgranular fino e textura sacaróide.

A Fácies Cordilheira Alta ocorre particularmente na região de Renascença, Manfrinópolis e Pranchita a sul. Comuns nesta fácies são as intercalações de rochas sedimentares interderrames e brechas peperíticas na base dos derrames.

A Fácies Campo Erê ocorre na região sul da área de estudo, no limite com Santa Catarina. Petrograficamente, são basaltos andesíticos semelhantes aos da fácies Cordilheira Alta, da qual diferem pela ausência dos termos afaníticos e baixo índice de vesiculação.

Ferreira et al. (2008), estudando a estratigrafia dos basaltos na região de Usina Salto Segredo afirma que no basalto as estruturas variam longitudinalmente ao longo da exposição estudada do derrame. Ainda, de acordo com estes autores, o perfil dos derrames apresenta três níveis: nível vesicular superior, que é marcado pela presença de grande quantidade de amígdalas e vesículas, nível maciço central, que é caracterizado por apresentar principalmente estrutura maciça, ausência de vesículas e geodos e fraturas mais regulares; nível vesicular de base, que é marcado por apresentar grande quantidade de amígdalas, porém nestas não se observa nenhum padrão de distribuição.

CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

O Aquífero Serra Geral constitui um meio fisicamente heterogêneo e anisotrópico (Rebouças, 1978) que se caracteriza por uma condutividade hidráulica muito variável, complexa e de difícil avaliação. Rosa Filho et al. (1987) constataram que as características das descontinuidades físicas diminuem com a profundidade notadamente a

partir de 90 m, o que ocorre possivelmente devido a compressão dos sistemas de fraturas pela pressão resultante do maciço sobreposto.

Rosa Filho et al. (2006) afirmam que a classe dominante da água do Aquífero Serra Geral é considerada como sendo bicarbonatada cálcica. Ocorrem também águas bicarbonatadas sódicas e águas bicarbonatadas cálcicas sódicas.

Rosa Filho et al. (1987), estabeleceram um zoneamento hidrogeológico para o aquífero Serra Geral, em função das vazões dos poços analisados enquadrados aos limites das bacias hidrográficas: Iguaçu, Piquiri, Paraná III, Ivaí, Pirapó, Paranapanema III, Tibagi e Cinzas. Os autores também verificaram que para profundidades maiores que 110 m, as entradas de água são menos frequentes. Identificaram três tipologias hidroquímicas principais: águas bicarbonatadas cálcicas, típicas de basalto: águas cloretadas sódicas, afins ao aquífero Botucatu/Pirambóia (apresentando teores mais altos em sódio, pH básico e em alguns casos temperatura mais elevada): águas bicarbonatadas potássicas com baixa concentração total de material solúvel relacionadas ao aquífero Caiuá. Identificaram anomalias quanto a tipologia das águas no que se refere aos cátions sódio, potássio, cálcio, magnésio, ao pH e aos sólidos totais dissolvidos.

Celligoi e Duarte (1994), em estudo das águas de poços do aquífero Serra Geral na região de Londrina, identificaram a tipologia bicarbonatada cálcica para essas águas relacionada com a mineralogia e natureza química dessas rochas. Segundo Rosa Filho et al. (1987), as águas típicas do SASG são classificadas como bicarbonatadas cálcicas, com teores elevados de Ca^{++} , provenientes da solubilização de carbonatos, enquanto os teores de Na^+ e Mg^{++} decorrem da solubilização dos feldspatos (plagioclásios) e dos piroxênios, respectivamente.

Buchmann (2002) estudando a Bacia do Rio Iguaçu determinou três tipologias de água: águas bicarbonatadas cálcicas; águas bicarbonatadas sódicas; águas mistas e águas bicarbonatadas sódicas. Para este autor os dois primeiros tipos de água são mais comuns nesta bacia. Bittencourt et al. (2003) afirma que águas classificadas como mistas, segundo classificação feita com a utilização do diagrama de Piper, são bastante comuns no aquífero Serra Geral no Estado do Paraná.

MATERIAIS E MÉTODOS

A compilação dos dados iniciou-se com a busca de análises físico-químicas de poços tubulares profundos catalogadas no banco de dados

hidrogeológicos da SUDERHSA e da SANEPAR (Companhia de Sanamento do Paraná).

Também foram obtidas 25 análises químicas de rocha cedidas gentilmente pela MINEROPAR (Serviço Geológico do Paraná) e plotadas em um diagrama ternário expresso em concentrações relativas (meq/L).

Para a classificação hidroquímica foi usado o diagrama de Piper.

Os dados de análises físico-química das amostras de água (Anexo II) foram lançados no programa *Pheereqc 2.15.02697*. Assim, obtiveram-se como resultados os dados de molalidade, atividade iônico, além dos índices de saturação dos minerais para cada amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração relativa dos íons hidrogênio na água indica se essa tem caráter ácido ou alcalino. Para a região de estudo o valor médio para pH obtido foi de 8,11. O máximo de 9,95 e mínimo de 6,69.

Para a condutividade registrou-se uma média de 191,24 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O valor máximo obtido foi de 757 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e o mínimo de 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Os teores de sólidos totais dissolvidos possuem relação direta com a composição mineralógica da rocha-reservatório e com o tempo de percolação/residência das águas subterrâneas no interior do sistema. Neste estudo, o valor médio observado é de 147,0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, já o máximo é de 423 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e o mínimo de 52,0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Para a sílica dissolvida obteve-se uma média de 39,5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Já o valor máximo obtido foi de 73,30 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e o mínimo de

12,59 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Obteve-se uma média de nitrato de 2,28 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e um valor para a mediana de 1,21 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Já o máximo verificado foi de 12,91 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. O valor médio de ferro total é 0,09 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e mediana de 0,05 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. O valor máximo registrado foi de 0,64 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. O teor médio de sulfato é de 6,11 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, enquanto que o máximo igual a 252 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Obteve-se uma média de fluoreto de 0,22 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. O máximo teor verificado é de 2,95 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e o mínimo é de 0,01 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Verificou-se que o teor médio de bicarbonato é de 90,3 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. O máximo teor é de 221,82 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, e mínimo de 0,50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Obteve-se uma média de carbonato de 10,33 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. O valor máximo obtido foi de 112,0 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Na área de estudo verificou-se que o teor médio de sódio é de 22,71 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, enquanto que o máximo foi de 134 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. O valor médio de potássio é de 0,72 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. O valor máximo é igual a 1,95 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Neste trabalho o teor médio de cálcio é de 13,86 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, o máximo de 45,46 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, e o mínimo igual a 0,59 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. A mediana é de 14,82 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Verificou-se que a média do teor de magnésio é de 4,13 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. O máximo obtido foi de 13,61 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e mínimo de 0,02 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Das 57 amostras analisadas apenas 15 apresentavam medidas de temperatura. A temperatura média das amostras é igual a 21,4 $^{\circ}\text{C}$ com um valor máximo observado igual a 25,0 $^{\circ}\text{C}$ e o menor valor de 19,9 $^{\circ}\text{C}$.

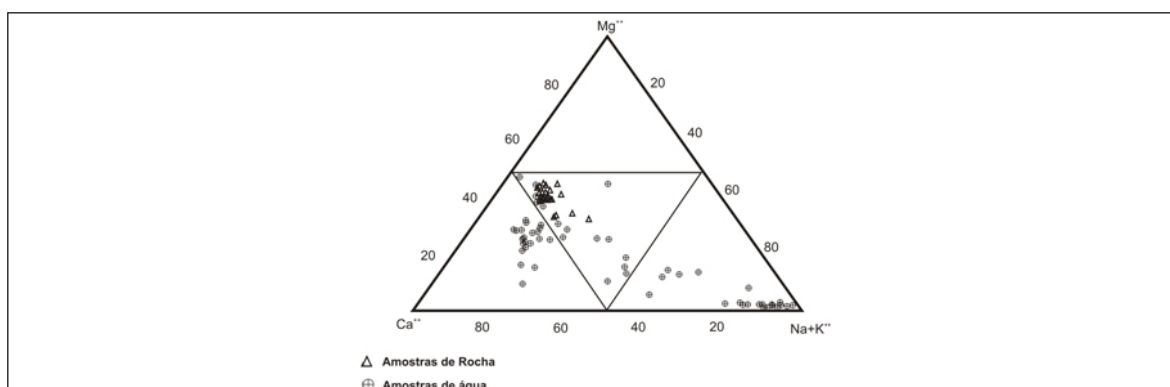


Figura 2 - Diagrama ternário com amostras de rocha e água plotadas.

Figure 2 – Ternary Diagram showing rock and groundwater samples.

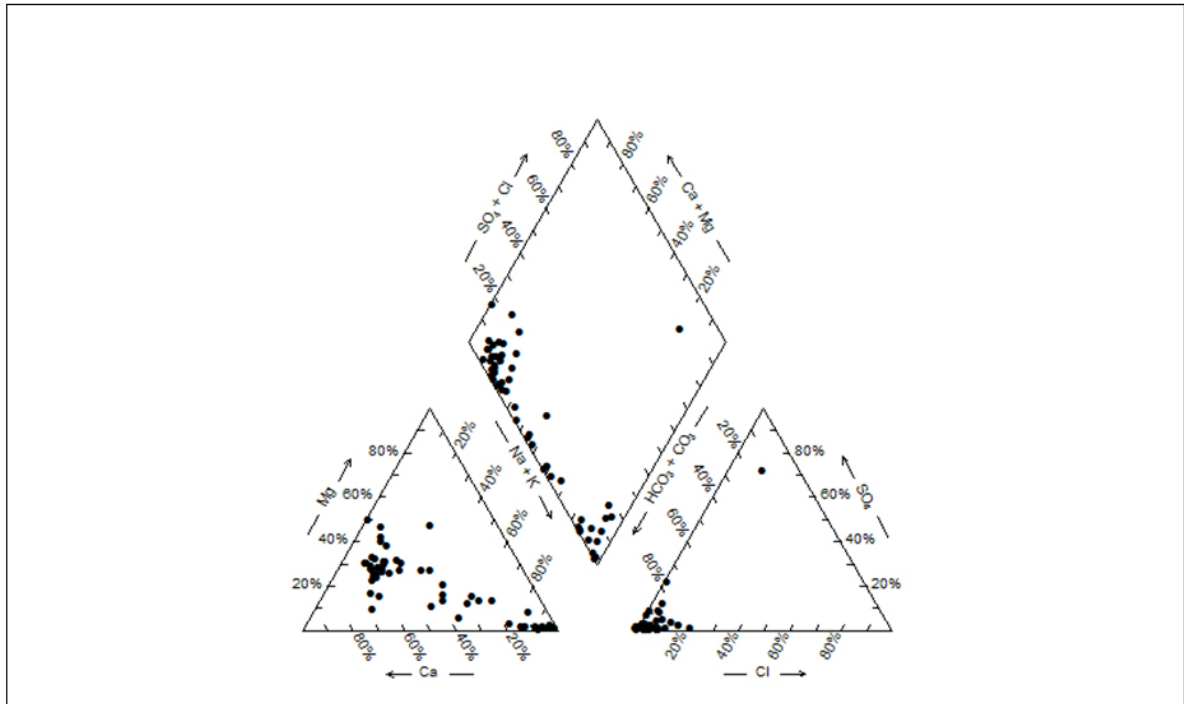


Figura 3 - Diagrama de Piper para as 57 amostras na área de estudo.
Figure 3 – Piper diagram for 57 samples collected in study area.

Com este diagrama observa-se que as amostras de rocha têm de um modo geral valores mais elevados do íon magnésio e valores mais baixos dos íons cálcio, sódio e potássio. Também se observa que as amostras de rocha não apresentam dispersão horizontal em sentido ao $\text{Na}^+\text{+K}^+$, esta dispersão é notada somente nas amostras de água.

Neste estudo observou-se que o domínio principal são águas do tipo bicarbonatada sódica (36,8%) com 21 amostras, seguida de bicarbonatada cálcica (35%) com 20 amostras, bicarbonatadas mistas (26,3%) com 15 amostras e por último águas sulfatadas sódicas (1,75%) com uma amostra.

No diagrama de Piper pode-se observar uma tendência de evolução de águas bicarbonatadas cálcicas e cálcio-magnesianas evoluindo para águas bicarbonatadas sódicas, retratando desta forma uma possível mistura de tipos de águas, representado por águas bicarbonatadas mistas. O bicarbonato é o anion mais abundante para todos os tipos de águas, exceto para as águas sulfatadas sódicas. Nas águas bicarbonatadas mistas os cátions apresentam um equilíbrio entre si. Nas águas sulfatadas sódicas os cátions mais abundantes são o potássio e o sódio.

Os poços com suas respectivas classes de água apresentam-se dispersos na área de estudo (figura 4).

Obteve-se índice de saturação próximo ao equilíbrio para os seguintes minerais: calcita, calcedônia, aragonita e quartzo (tabela 1).

A caulinita é o argilomineral mais estável neste ambiente geoquímico conforme mostrado pelo diagrama de Khorzinskii. Esta pode ser resultante do intemperismo químico sobre as rochas na região de estudo. Os diagramas de estabilidade mineral também mostraram que as amostras ocorrem em equilíbrio com a caulinita sugere o processo de monossilatização. Isto é resultado da hidrólise parcial do plagioclásio e piroxênio em pH próximos a neutralidade em que o alumínio é praticamente insolúvel.

Os índices de saturação das amostras configuram supersaturação de sílica sob a forma de calcedônia e quartzo em treze amostras o que pode indicar que o piroxênio e principalmente o plagioclásio constituem as fontes de sílica.

Os diagramas de Khorzinskii representam os campos de estabilidade de minerais aluminossilicatados e gibbsita em função dos teores de sílica, Na^+ , K^+ e Ca^{2+} (figura 5).

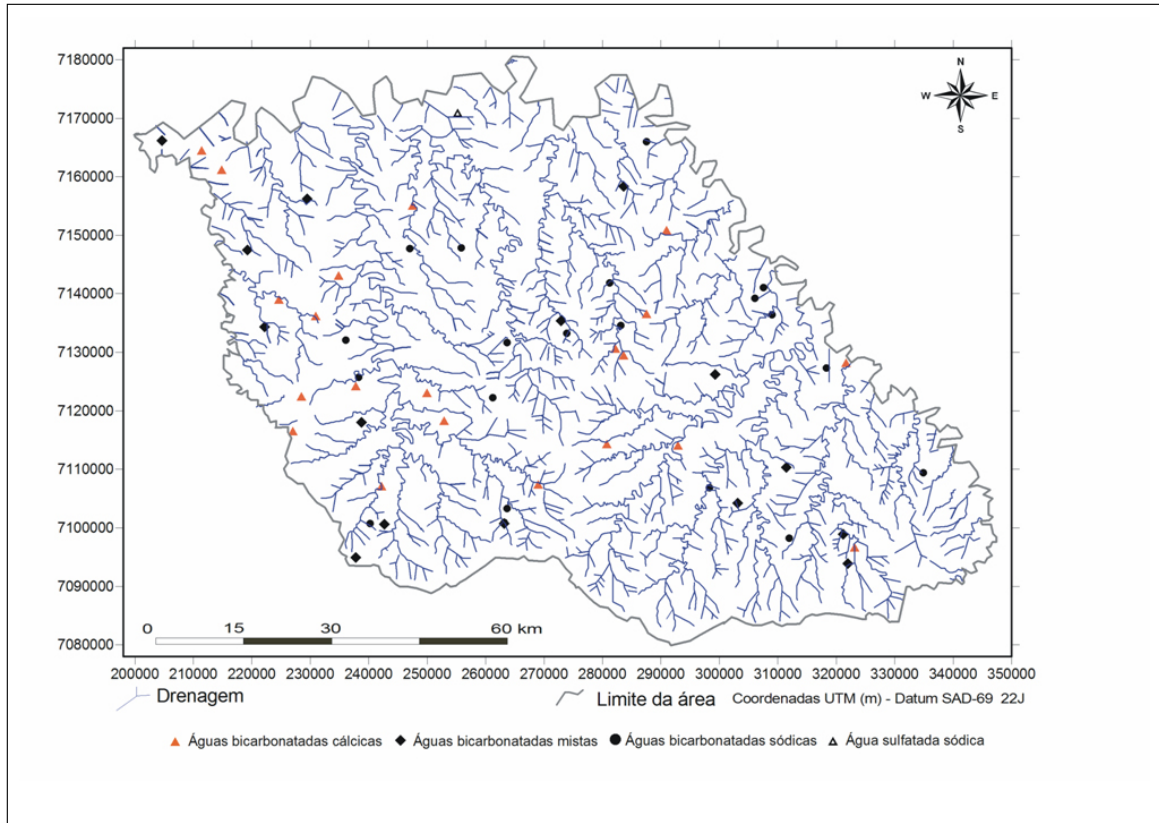


Figura 4 - Localização dos poços com a classificação para cada tipo de água segundo Piper.

Figure 4 – Wells location classified according the Piper diagram.

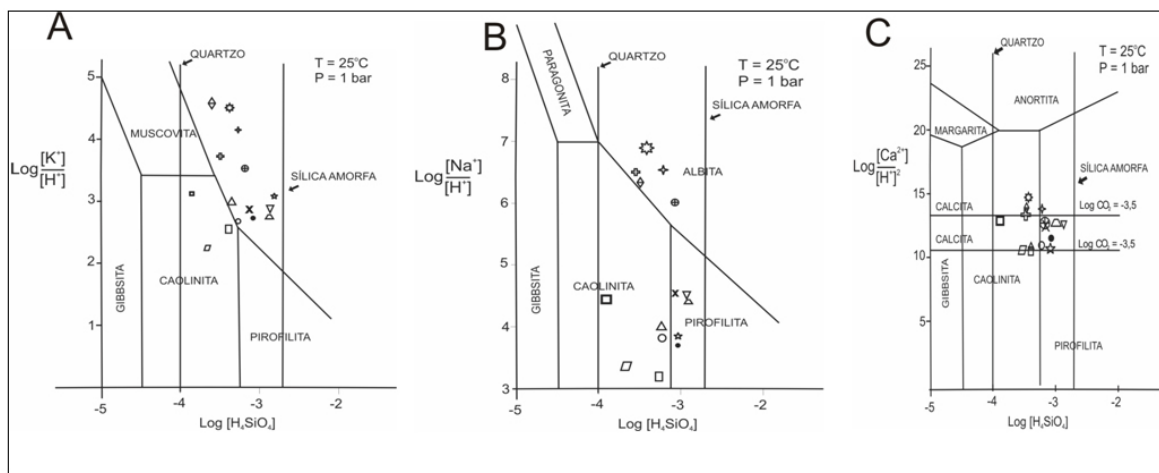


Figura 5 -Diagramas de Khorzinskii para as 15 amostras. A – parâmetro K^+ ; B – parâmetro Na^+ ; C – parâmetro Ca^{2+} .

Figure 5 – Khorzinskii diagram for 15 samples. A – parameter K^+ ; B – parameter Na^+ ; C – parameter Ca^{2+} .

Tabela 1- Índices de saturação dos minerais para as amostras.
Table 1 – Mineral saturation index for the samples.

Índices de Saturação					
Amostra/ Mineral	Calcita	Dolomita	Calcedônia	Quartzo	Aragonita
Bela Vista A	-0,07	-0,37	0,64	1,08	-0,22
Bom Jesus A	-0,05	-0,77	0,03	0,47	-0,19
Capanema A	0,09	-0,04	-0,34	0,10	-0,06
Capanema B	-0,69	-1,29	0,51	0,95	-0,84
Dois Vizinhos A	-0,94	-2,15	0,36	0,80	-1,09
Enéas Marques 7	-0,21	-1,67	0,16	0,59	-0,36
Francisco B. 28	-1,19	-2,54	-0,08	0,36	-1,34
Manfrinópolis A	0,47	0,72	0,68	1,12	0,33
Nova Esp. B	0,43	-0,13	0,39	0,83	0,28
Pérola D'Oeste A	-0,69	-1,38	0,53	0,97	-0,83
Realeza 1	0,13	-0,65	0,02	0,46	-0,02
Renascença A	-1,23	-2,80	0,24	0,67	-1,37
Renascença B	-1,58	-3,18	0,21	0,65	-1,73
Salgado Filho D	-0,11	-1,11	0,41	0,86	-0,25
Santo Ant. Sud. 2	-0,30	-0,73	0,50	0,94	-0,45
Bela Vista A	-0,07	-0,37	0,64	1,08	-0,22

No diagrama B (figura 5) observa-se que cinco amostras estão dispostas no campo da albita. Cinco amostras estão no campo da caulinita e cinco no campo da pirofilita. A albita é plagioclásio sódico mais comum em rochas vulcânicas como o basalto. A caulinita é um grupo de minerais de argila comum em zonas de alteração de rochas ácidas compostas de feldspatos.

O diagrama C (figura 5) observa-se que as amostras apresentam-se no campo da calcita que é um mineral comum em rochas ígneas vulcânicas alcalinas e básicas. Na Formação Serra Geral são descritos calcita nos basaltos (Fraga, 1986).

A maioria das águas em contato com os basaltos tem uma tendência a precipitar sílica seja como quartzo, calcedônia ou outro silicato, porém a reação é mais lenta do que a intemperização da rocha primária. Estes aspectos conduzem a que sejam encontrados teores de sílica superiores aquele do equilíbrio com a forma menos cristalizada menos solúvel da sílica que é o quartzo (Bittencourt et al., 2003).

A interação química da água de percolação com os minerais da rocha hospedeira é o fator mais influente para a ocorrência dos diferentes tipos de espécies químicas na água subterrânea. Na região de estudo esta interação está condicionada aos litotipos existentes compostos

essencialmente por rochas básicas, como basaltos e andesitos. Os basaltos da Formação Serra Geral são compostos essencialmente por plagioclásio e piroxênio. A composição química destes minerais é essencialmente Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} e K^+ e que estão ligadas fracamente as estruturas silicatadas de forma que podem passar facilmente para a água. Portanto haveria de se esperar que o comportamento químico da água também devesse ser tão somente típico de águas em rochas básicas composto essencialmente de plagioclásio e piroxênio. Porém sabe-se que há muita variação químico-mineralógica em todo este contexto configurando águas com características químicas diferentes. Então, observou-se a existência de quatro classes de água segundo Piper e são elas: águas bicarbonatadas cálcicas, águas bicarbonatadas sódicas; águas bicarbonatadas mistas e águas sulfatadas sódicas.

O processo de dissolução dos minerais é influenciado pelo pH, temperatura e grau de saturação de cada elemento. O pH varia de 6,69 a 9,95. Assim, o bicarbonato ocorre em todas as amostras que é o anion mais comum nessas águas. Este pode ter sido gerado diretamente por decomposição do ácido carbônico ou como produto da hidrólise dos silicatos do basalto. Já o carbonato ocorre em amostras com pH levemente alcalino a alcalino com um máximo de 112 mg.L^{-1} .

A coexistência de bicarbonato e carbonato é observada nas amostras com pH acima de 8,15.

Os componentes dissolvidos estão diretamente relacionados ao tempo de residência da água nos aquíferos, e as maiores concentrações de sólidos totais dissolvidos. Neste estudo os valores de STD variam 423 mg.L^{-1} a 52 mg.L^{-1} . Isto pode refletir em um tempo de residência potencialmente curto, limitando o tempo de interação água-rocha. Constatou-se que o poço com maior valor de STD é representado pela amostra de água sulfatada sódica, seguido por amostras de água de bicarbonatadas sódicas. As amostras que apresentam menores valores de STD são de modo geral, as águas bicarbonatadas cálcicas, bicarbonatadas mistas e bicarbonatada magnesianas.

Águas bicarbonatadas cálcicas ocorrem em poços com entradas de água menores que 170 m. Essas águas podem ser resultantes do intemperismo de plagioclásio cálcico e calcita. O caráter bicarbonático é diretamente influenciado pelo equilíbrio do sistema $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ vigente nas áreas próximas à recarga e também pelas reações de hidrólise dos silicatos nas rochas extrusivas. O campo das águas bicarbonatadas cálcicas possui um controle litoquímico, já que suas características químicas estão relacionadas com os processos de intemperismo que atuam sobre as rochas vulcânicas. Isto é uma característica bem comum em águas continentais relativamente diluídas.

As águas bicarbonatadas sódicas ocorrem em poços com entradas de água superiores predominantemente superiores a 110 m. Estas águas estão em nítido desequilíbrio com aquilo que seria de se esperar para um aquífero suportado por rochas basálticas típicas. São águas com quimismo formatado provavelmente em ambiente externo ao aquífero Serra Geral. Estas águas podem evidenciar a existência de condicionadores estruturais que seriam responsáveis pela mistura das águas dos aquíferos sotopostos, principalmente o Guarani. Outra possibilidade é retratada pela depleção da quantidade de cálcio e magnésio dissolvidos, assim, o aumento dos teores relativos em sódio é uma das conseqüências que pode resultar em águas bicarbonatadas sódicas.

As águas de constituição mista ocorrem em 15 amostras na área de estudo. Composições tendendo para o pólo sódico, como já foi mencionado, sugerem contribuição de fontes infrabasálticas, enquanto que teores maiores de magnésio podem perfeitamente se relacionar apenas com próprios basaltos pela própria composição mineralógica. Esta classe de água indica uma mistura de águas bicarbonatadas cálcicas com águas bicarbonatadas

sódicas.

Os basaltos, na área de estudo, são muito pobres em sulfetos e em outras formas de enxofre e isto é refletido nos baixos teores de sulfato observado. Os teores mais elevados podem sugerir misturas por águas oriundas de aquíferos subjacentes. Assim águas sulfatadas sódicas não são comuns em basaltos da Formação Serra Geral. Uma amostra apresenta o teor de $252,20 \text{ mg/L}$ de sulfato. A presença de pirita (FeS_2) pode elevar o teor de sulfato na água.

Os valores de cloreto, na área de estudo, são considerados normais para o aquífero Serra Geral. Os valores mais altos de cloreto podem estar relacionados a misturas com águas de aquíferos subjacentes, principalmente o Guarani, já que este é formado em ambiente desértico e flúvio-lacustre o que possibilitaria teores elevados de cloreto, como é o caso da amostra Nova Prata 2.

Os valores de nitrato observados estão considerados no esperado para o aquífero Serra Geral.

O íon magnésio pode ser proveniente principalmente de ferromagnesianos do basalto.

O ferro ocorre em baixas concentrações com um máximo de $0,64 \text{ mg/L}$. Estes valores são compatíveis com o esperado para o aquífero Serra Geral. Os valores baixos são atribuídos pelo fato de que apenas parte do ferro é colocado em solução, o restante compõe os minerais argilosos.

Os valores de fluoreto variam de $0,01$ a $2,95 \text{ mg.L}^{-1}$. Os teores mais altos podem sugerir o enriquecimento em flúor em águas subterrâneas do SASG é através da interação água-rocha em prolongado tempo. Outra hipótese baseia-se no controle estrutural e conexão hidráulica entre diferentes aquíferos, por intermédio de estruturas tectônicas que possibilitam a ascensão de águas de aquíferos sotopostos ao SASG (Nanni, 2008). Assim, o produto resultante são águas com teores acima do esperado para o fluoreto. A amostra Nova Prata A apresenta teor de $2,95 \text{ mg/L}$ que pode ser indicativa de mistura com aquíferos subjacentes.

As quinze amostras que apresentam informação a respeito da temperatura indicaram que treze amostras estão conforme o esperado segundo Buchmann (2002). Apenas duas amostras possuem temperatura acima de $23,65 \text{ }^\circ\text{C}$.

A classificação hidroquímica por íons principais possibilitou a três classes de água: águas bicarbonatadas cálcio-magnesianas; águas bicarbonatadas cálcio-sódicas e água sulfatada sódica-cálcica.

O diagrama ternário com amostras de água e rochas da região de estudo indicou que as amostras

de rocha têm de um modo geral, valores mais elevados do íon magnésio e valores mais baixos dos íons cálcio, sódio e potássio. Verifica-se que as amostras de rocha não apresentam dispersão horizontal em sentido ao $\text{Na}^+\text{+K}^+$. Apenas as amostras de água apresentam dispersão em sentido ao sódio. Assim, observa-se que uma parcela do magnésio não foi disperso na água. As amostras de água com maior teor de cálcio que as amostras de rocha indicam a facilidade da água em remover este cátion da rocha devido sua alta solubilidade. Os altos teores de sódio em amostras não ocorrem em rochas da Formação Serra Geral da região. Esta classe de água é representada pelas águas bicarbonatadas sódicas. O teor de sódio nesta classe varia de 18 a 67 mg.L^{-1} . Estes valores podem sugerir contribuições infrabasálticas, realçado pelo fato de amostras de rocha da região não apresentarem estes teores de sódio. O íon potássio é pouco presente nas amostras. A maior parte do potássio liberado por hidrólise é logo adsorvido por minerais argilosos. Assim as amostras de rochas possuem maior teor de sódio e potássio que as amostras de água.

A calcita é grande controladora de cálcio em águas com pH alcalino. O cálcio presente, sobretudo na forma de Ca^{2+} , é o cátion mais abundante nas amostras. Isto é o reflexo de sua facilidade de remoção de cálcio de plagioclásios do basalto.

As águas com maiores valores de pH são águas, geralmente, do tipo bicarbonatadas sódicas. Já as águas bicarbonatadas cálcicas e mistas apresentam os menores valores de pH para a área

de estudo.

Os altos valores de STD podem indicar águas com maior tempo de residência. Uma amostra apresenta STD de 423 mg.L^{-1} . Esta amostra apresenta teor de STD elevado em relação às demais amostras. Este fato corrobora para que o tempo de residência desta água seja maior, que por sua vez, possibilitou um maior tempo de interação água rocha aumentando seus teores de STD, sulfato e cloreto.

Águas mais ácidas são observados em amostras com STD menores. Isto indica que a acidez da solução de percolação que infiltra no solo relaciona-se com o ácido carbônico e apresenta pH, portanto, baixo. Na medida em que a água subterrânea se move ao longo de sua linha de fluxo no aquífero ocorre uma diminuição da acidez pelas reações de intemperismo químico e que há um aumento na quantidade de sólidos dissolvidos na solução de lixiviação. Portanto as águas com maior teor de STD, apresentam maior valor de pH.

Entre os minerais do grupo do plagioclásio, o plagioclásio cálcico intemperiza mais rapidamente que o plagioclásio sódico, liberando cálcio e sódio na água mais rapidamente que o potássio configurando valores mais baixos de potássio na água em relação ao cálcio e sódio. Com os cátions liberados, as estruturas dos minerais são parcialmente decompostas e parcialmente reconstituídas nas estruturas dos minerais argilosos. Assim apenas uma parte do silício, sob a forma principal de ácido silícico e uma parte do alumínio é absorvida pela solução aquosa.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO L. M. , FRANÇA A. B., POTTER, P. E. 1995. Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. UFPR/ Petrobrás, 16 pp.
- BITTENCOURT, A. V. L.; ROSA FILHO, E. F.; HINDI, 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, n. 17, 67-75, 2003.
- BUCHMANN FILHO, A. C. Características das águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Estado do Paraná. Curitiba 2002. 150 p. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós Graduação em Geologia, - Universidade Federal do Paraná – UFPR.
- CELLIGOI, A; DUARTE. U. Aspectos Hidrogeoquímicos da Formação Serra Geral em Londrina – PR – In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS ., 8 Recife, 1994. Anais... Recife: ABAS. p. 425 – 433.
- FERREIRA, C.H.N.; GOMES, M.E.B. ; MESQUITA, M.J.M. ; DUTRA, C. R.; BONGIOLO, E.M.; ARIOLI, E.E. Características estruturais de um derrame e estratigrafia da região de Salto Segredo. In: IV Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados, 2008, Foz do Iguaçu. Boletim de Resumos do IV Simpósio de Vulcanismo de Ambientes Associados, 2008.
- LICHT, O. A. B. Análise multielementar na gestão ambiental – Identificação e caracterização de

Províncias Geoquímicas naturais, alterações antrópica da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no Estado do Paraná, Brasil. Curitiba, V1-V2. 209 f. 2001. Tese (Doutorado em Geologia) - Setor de Ciências da terra, Universidade Federal do Paraná

MELFI, A. J. Potassium – Argon Ages for core sample of basaltic rocks from southern Brazil, *Geoch et Cosmoch, Acta*, 1976, p, 1079 -89

MINEROPAR & CPRM,. GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DO SUDOESTE DO ESTADO DO PARANÁ, 2006. Programa Geologia do Brasil. 101 p

NANNI, A. S. O Flúor em águas do Sistema Aquífero Serra Geral no Rio Grande do Sul: origem e condicionamento geológico./ Arthur Schmidt Nanni. –

Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2008.

ROSA FILHO, E. F; et al. Contribuição ao Estudo das Águas Subterrâneas nos Basaltos no Estado do Paraná. *Boletim Parananense de Geociências*, Curitiba, n 37, 1987, p 22-52

ROSA FILHO, E. F; et al. Contribuição ao Estudo das Águas Subterrâneas nos Basaltos no Estado do Paraná. *Boletim Parananense de Geociências*, Curitiba, n 37, 1987, p 22-52

SILVA, A. B; Conectividade e Compartimentação Magnética-estrutural dos Sistemas Aquíferos Serra Geral e Guarani na Região Central do Estado do Paraná. 2007. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós Graduação em Geologia, - Universidade Federal do Paraná – UFPR