

CONTROLE LITOESTRATIGRÁFICO DA SALINIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE SÃO GABRIEL, RS.

Antonio Pedro Viero^{1*}; Marcelo Goffermann² & Eliane Born da Silva¹

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma caracterização química das águas subterrâneas da região de São Gabriel em relação aos principais íons dissolvidos. Os resultados das análises obtidos em 55 poços tubulares mostram concentrações elevadas de TDS em grande parte das amostras, tendo o sódio, o bicarbonato, o sulfato e o cloreto como parâmetros mais abundantes. As altas concentrações destes íons tornam a água imprópria para consumo humano em 14,5 % dos poços e são registradas principalmente no aquífero Rio Bonito onde sofre influência dos sedimentitos da Formação Irati. Os arenitos da Formação Rio Bonito representam o principal aquífero da região, ao passo que a Formação Irati caracteriza-se na principal fonte de salinização das águas, tendo o cálcio, o bicarbonato e o sulfato origem na dissolução e hidrólise de calcita e anidrita, enquanto o sódio deriva, principalmente, de troca catiônica com o cálcio. Embora a fonte dos sais dissolvidos resida essencialmente na Formação Irati, as águas salinizadas são encontradas maioria das unidades hidroestratigráficas da região, o que decorre das conexões hidráulicas entre as mesmas.

Palavras chave: Aquífero Rio Bonito; salinização água subterrânea; São Gabriel.

ABSTRACT

This paper presents a characterization of groundwater chemistry in the São Gabriel region based on the main dissolved ions. The analytical results of 55 sampled wells show high concentrations of TDS in most samples. Sodium, bicarbonate, sulphate and chloride are the most abundant parameters. The high concentrations of these ions make the groundwater unfit for drinking in 14.5% of the wells. The wells with potability restriction are recorded mainly in Rio Bonito aquifer where it is influenced by sedimentary rocks from Irati Formation. The sandstones of Rio Bonito Formation are the main aquifer of the region, while the Irati Formation is the main source of dissolved salts. The main source of calcium, bicarbonate and sulfate is the dissolution and hydrolysis of calcite and anhydrite, while the sodium derives mainly from cation exchange by clay minerals. Besides the source of dissolved salts is essentially the Irati Formation, groundwater with high concentration of TDS occur throughout the region resulting from the hydraulic connections between the hydrostratigraphic units.

INTRODUÇÃO.

O município de São Gabriel está localizado na porção centro-sul do Rio Grande do Sul, próximo ao limite das bacias hidrográficas Vacacaí Mirim e Santa Maria. Os recursos hídricos subterrâneos são amplamente utilizados na região, tanto para a irrigação quanto para o abastecimento humano. A captação das águas subterrâneas é feita predominantemente no Sistema Aquífero Palermo/Rio Bonito e, em menor escala, no Sistema Aquífero Cristalino II (CPRM, 2005).

^{1*} Instituto de Geociência/UFRGS; antonio.viero@ufrgs.br

² CPRM - Serviço Geológico do Brasil; marcelo.goffermann@cprm.gov.br

O Sistema Aquífero Palermo / Rio Bonito estende-se desde o município Candiota até Santo Antonio da Patrulha, aparecendo como principal sistema na região de São Gabriel. Suas litologias são representadas por arenitos finos a médios, cinza a esbranquiçados, intercalados com camadas de siltitos argilosos, carbonosos de cor cinza escuro. As capacidades específicas são em média inferiores a $0,5 \text{ m}^3/\text{h.m.}$ As salinidades variam entre 800 e 1500 mg/l, porém em grandes profundidades as águas são salinas com sólidos totais dissolvidos podendo ultrapassar 10.000 mg/l.

O Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II compreende todas as rochas graníticas, gnáissicas, andesíticas, xistos, filitos e calcários metamorfizados que estão localmente afetados por fraturas e falhas. Geralmente apresentam capacidades específicas inferiores a $0,5 \text{ m}^3/\text{h.m.}$, ocorrendo também poços secos. A salinidade nas áreas não cobertas por sedimentos de origem marinha é inferior a 300 mg/l. Poços nas rochas graníticas podem apresentar enriquecimento em flúor (CPRM, 2005)

As atividades econômicas dominantes na região compreendem a pecuária, a agricultura e agroindústria, estas ligadas ao cultivo de arroz. A rizicultura irrigada, em particular, demanda grandes volumes de água, o que é suprido através de barramento e acumulação de águas superficiais. A demanda por águas subterrâneas está concentrada, principalmente, no abastecimento de propriedades rurais, pequenas comunidades rurais e agroindústrias.

ASPECTOS GEOLÓGICOS DA ÁREA DE ESTUDOS

A geologia da região de São Gabriel é caracterizada pela ocorrência de rochas sedimentares da Bacia do Paraná e Embasamento Cristalino. Os sedimentitos da Bacia do Paraná compreendem a Formação Rio Bonito, Sub-grupo Estrada Nova e Formação Rio do Rastro, enquanto o embasamento Cristalino é representado pelo Complexo Cambai.

Complexo Cambai

O Complexo Cambai apresenta dois domínios distintos, sendo um ortognáissico e outro paragnáissico, este aparecendo intercalado com o primeiro (CPRM, 2008). No domínio ortognáissico predominam gnaiesses monzograníticos, granodioríticos, tonalíticos ($750 \pm 10 \text{ MA}$) e trondjemíticos ($736 \pm 10 \text{ Ma}$) contendo enclaves de anfibolitos ($733 \pm 13 \text{ MA}$), metaultramafitos e metagabros. Os paragnaiesses, por outro, contêm lentes de mármore metapelitos, metarenitos e xistos magnesianos, estando todo o conjunto metamorfizado no fácies anfibolito médio a inferior. O conjunto de litotipos apresenta-se afetado por fraturas e falhas, o que imprime uma certa porosidade e permeabilidade secundária às rochas.

Rochas Sedimentares da Bacia do Paraná

A Formação Rio Bonito é constituída predominantemente por arenitos finos a médios nas porções da base e do topo e siltitos folhelhos, calcários, intercalações de arenitos e camadas de carvão na porção media da unidade. Os arenitos de topo são finos a muito finos com laminação plano-paralela e ondulada, intercalados com leitos de argila e folhelhos carbonosos na porção de topo. Na porção inferior, os arenitos são finos a médios, por vezes grossos, com estratificação cruzada. Subordinadamente ocorrem arenitos muito finos, siltitos, argilitos, folhelhos carbonosos, leitos de carvão e conglomerados (HOLZ, *et al.*, 2000). No município de São Gabriel, a Fm. Rio

Bonito está assentada diretamente no Embasamento Cristalino e aparece ao longo de uma faixa NE-SW com largura da ordem de 20 km.

A Formação Palermo é formada por siltitos e siltitos arenosos acinzentados ou amarelo-esverdeados com nódulos de sílex na sua porção basal. Frequentemente ocorrem intercalações com arenitos finos e estruturas tipo hummocky, *flaser*, ondulada e lenticular, que indicam ambiente deposicional de *shoreface* e plataforma marinha (HOLZ, *et al.*, 2000).

A Formação Irati é constituída principalmente por folhelhos, lamitos, siltitos, calcários e folhelhos betuminosos, depositado em ambientes de mar isolado e de circulação restrita (Holz, *et al.*, 2000), que ocorrem desde o município de Aceguá até o sul do estado de Mato Grosso. O ambiente deposicional e as características químicas e mineralógicas conferem à Formação Irati forte potencial de salinização das águas subterrâneas na Bacia do Paraná (Kern *et al.*, 2007) . No município de São Gabriel, esta formação aflora ao longo de uma faixa de direção NE-SW com cerca de 10 km e registra litotipos como argilitos, folhelho cinza, folhelhos negros (betuminosos) e concreções calcárias.

O Subgrupo Estrada Nova contém as Formação Serra Alta e Formação Teresina. A Fm. Serra Alta é composta por argilitos, folhelhos e siltitos escuros, normalmente maciços ou com laminação plano-paralela incipiente, apresentando localmente lentes e concreções calcíferas. Apresentam conteúdo fóssilífero composto por restos de peixes, pelecípodes, palinórfos e conchostráceos (Holz *et al.*, 2000). A Formação Teresina é constituída por argilitos, folhelhos e siltitos cinza escuros depositados em ambiente marinho mais profundo na base e mais raso e agitado, dominado por marés, no topo (Schneider *et al.*, 1974). O que a diferencia da Formação Serra Alta é a ocorrência de lâminas de silito e arenito muito fino. É comum a ocorrência de estratificação paralela e ondulada e de lentes e concreções calcíferas.

A Formação Rio do Rasto é constituída por arenitos finos, bem selecionados, intercalados com siltitos e argilitos depositados em ambiente de mar raso (Membro Serrinha) e lentes de arenitos finos intercalados com siltitos e argilitos depositados em ambiente continental flúvio-deltaico (Membro Morro Pelado).

ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

Os poços tubulares do município de São Gabriel têm profundidade média de 70 metros com variação entre 10 e 273 m. A vazão de estabilização varia de 0,1 a 24 m³/h, com valor médio de 4,55 m³/h, enquanto a capacidade específica varia entre 0,01 e 6,55 m³/h.m, com média de 0,54 m³/h.m. Os poços com as melhores vazões captam água no Sistema Aquífero Palermo/Rio Bonito, tanto nas áreas de afloramento quanto em locais onde se encontra sotoposto por unidades estratigráficas superiores. Cabe destacar que a captação de água no Sistema Palermo/Rio Bonito ocorre exclusivamente em camadas areníticas confinadas da Formação Rio Bonito. A ocorrência confinada da unidade hidroestratigráfica Rio Bonito/Palermo é corroborada por perfis de sondagem da CPRM que registram sua presença com profundidades entre 4 a 116 m em locais próximos a poços de boa vazão. As outras unidades litoestratigráficas da região apresentam vazões menores que 3 m³/h. Porém, como estas vazões ocorrem principalmente nas áreas rurais, são em geral suficientes para a demanda das pequenas famílias e atividades da pecuária, não constituindo um problema de abastecimento. O nível estático dos poços apresenta valor médio de 15,03 m, variando de 0 m

(alguns poços apresentam artesianismo jorrante) a 64 m, enquanto o nível dinâmico varia de 10 a 190 m com média de 41,64 m.

Além dos sistemas aquíferos referidos, na região estudada foram identificados os sistemas Aquitardos Permianos que compreendem as formações Irati, Estrada Nova e Rio do Rastro (CPRM, 2005).

ASPECTOS HIDROQUÍMICOS

As águas subterrâneas de São Gabriel apresentam concentrações de TDS entre 56 e 2404 mg/L. Valores maiores que 500 mg/L são registrados em 50% e acima de 1000 mg/L em 12% dos poços analisados. A concentração de 1000 mg/L corresponde ao limite de potabilidade estabelecido pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

A salinidade elevada está associada, predominantemente, ao sódio, sulfato, bicarbonato e cálcio, além do cloreto em poucas amostras (Tab. 1). Estes parâmetros mostram concentrações que variam num amplo espectro de valores, em muitos casos comprometendo a potabilidade das águas subterrâneas e sua utilização para outros fins.

Tabela 1. Concentrações de TDS e principais íons dissolvidos nas águas subterrâneas de São Gabriel. VMP: limite de potabilidade (Portaria 518/2004/MS); NSVMP: número de amostra com teor acima do VMP.

| | Concentrações em mg/L | | | | | |
|--------|-----------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------|
| | TDS | Na ⁺ | SO ₄ ⁻ | HCO ₃ ⁻ | Ca ⁺⁺ | Cl ⁻ |
| Média | 384,0 | 130,0 | 81,0 | 236,0 | 30,5 | 41,0 |
| Máximo | 2404,0 | 522,0 | 251,0 | 521,0 | 161,0 | 219,0 |
| Mínimo | 8,0 | 1,2 | 4,0 | 10,0 | 1,6 | 5,0 |
| VMP | 1000 | 200 | 250 | - | - | 250 |
| NSVMP | 7 | 8 | 2 | - | - | 0 |

As águas subterrâneas mais salinizadas, que registram os maiores conteúdos de TDS, estão concentradas numa faixa de orientação NE-SW, passando pelo perímetro urbano de São Gabriel, onde aflora a Formação Irati e unidades imediatamente sotopostas a ela (Fig. 1).

O sódio e o sulfato apresentam padrão de distribuição espacial similar aos sólidos totais dissolvidos, numa aparente relação com os sedimentitos da Formação Irati (Fig. 2). O cálcio, por outro lado, tem os altos teores distribuídos numa área mais ampla, com registros em poços do embasamento cristalino, Fm. Rio Bonito e Fm. Irati.

As concentrações de sódio mostram correlação positiva com os TDS e bicarbonato e ausência de correlação com o cloreto (Fig. 3). A boa correlação positiva com bicarbonato e sulfato aponta a troca de cátions como a origem mais provável da maior parte do sódio, dado que não ocorrem nas rochas da região minerais que contenham sódio e bicarbonato ou sódio e sulfato. Neste processo, o sódio trocável contido nos argilo-minerais é trocado parcialmente com o cálcio dissolvido na água. A fonte do cálcio reside na dissolução e hidrólise de calcita e anidrita, ambos encontrados com alta frequência na Formação Irati, sendo a calcita registrada, ainda, como cimento nos sedimentitos da Fm. Estrada Nova e arenitos da Fm. Rio Bonito (Ketzer, *et al.*, 2003).

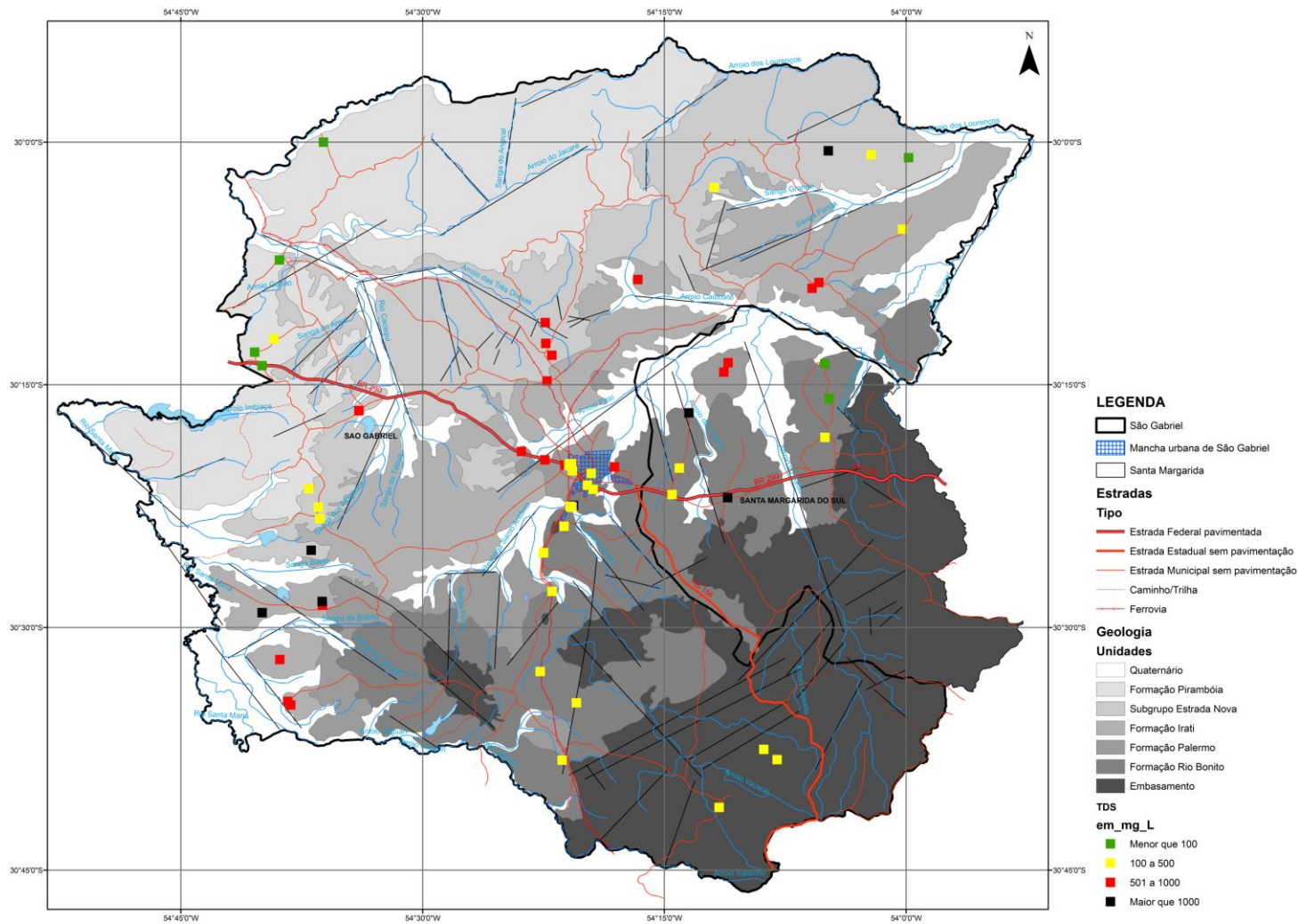


Figura 1. Mapa de distribuição de TDS nas águas subterrâneas de São Gabriel.

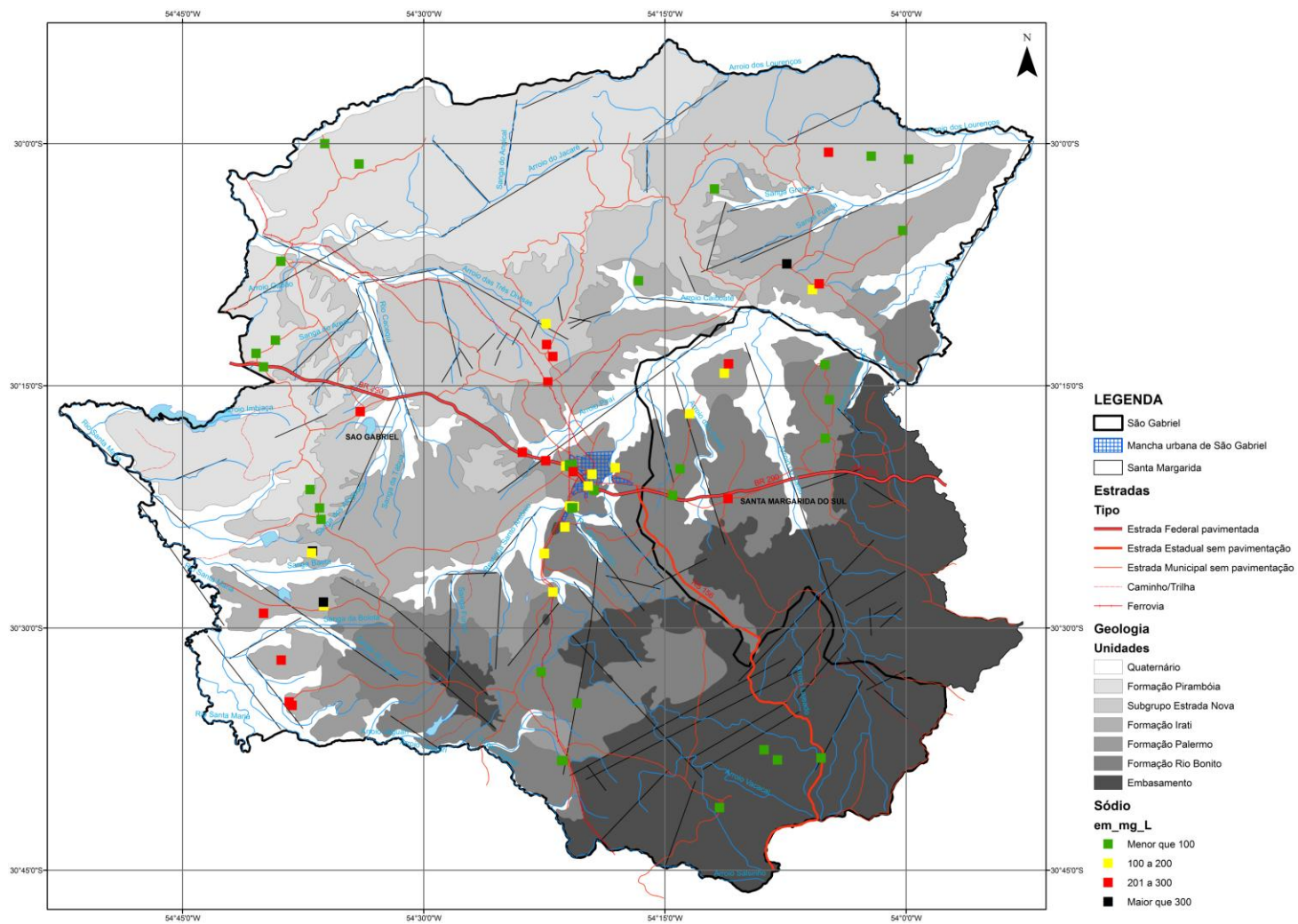


Figura 2. Mapa de distribuição de Na^+ nas águas subterrâneas de São Gabriel.

Os processos geoquímicos que hidrolisam e dissolvem calcita e anidrita associados à adsorção somente do cálcio pela troca com sódio nos argilo-minerais é que resultam na correlação positiva do sódio com o bicarbonato e o sulfato. A inexistência de correlação do sódio com o cloreto e a predominância de baixas concentrações deste ânion na água indicam que a dissolução de halita não se constitui numa fonte importante do sódio nem da salinização das águas subterrâneas estudadas.

As águas do Aquífero Rio Bonito mostram predominância de cálcio nas regiões aflorantes, enquanto o sódio predomina onde se encontra confinado e sob influência dos aquíferos permianos, especialmente a Formação Irati.

As altas concentrações de TDS, sódio, sulfato, cálcio, cloreto originadas, principalmente no Aquífero Permiano Irati ocorrem, também, no Aquífero Rio Bonito e Embasamento Cristalino, o que denota a ocorrência de conexões hidráulicas (drenância vertical) entre os aquíferos permianos e aquíferos sotoposto.

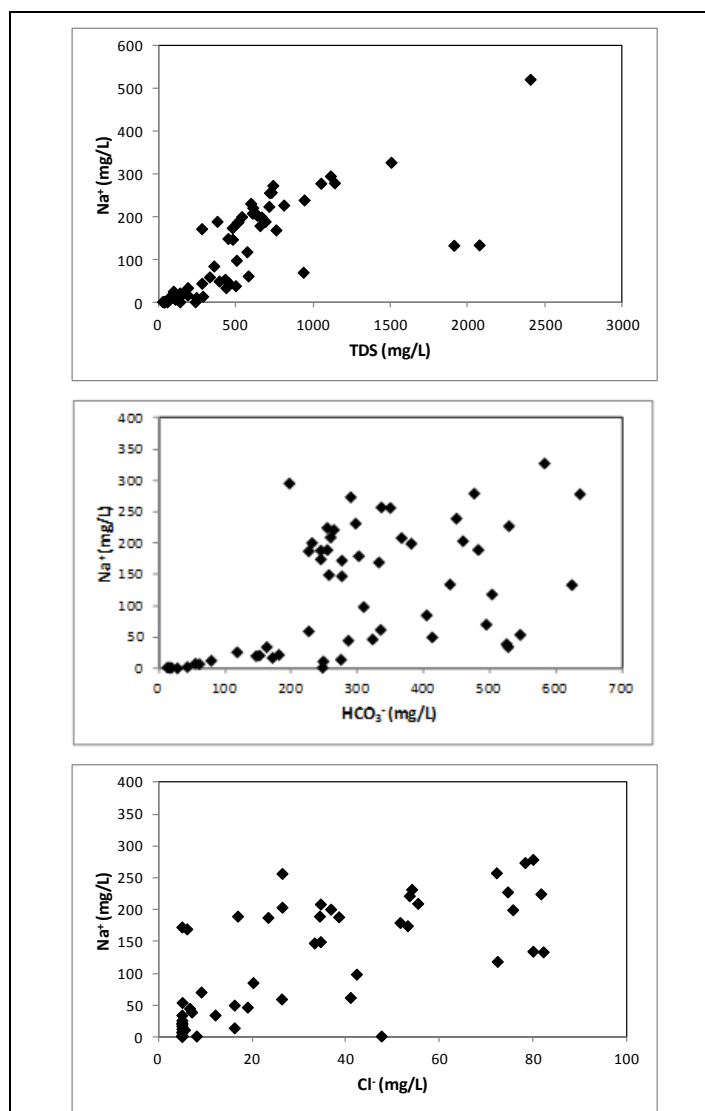


Figura 3. Diagrama de variação binário do sódio contra TDS, bicarbonato e cloreto. Nota-se a ocorrência de dois trends paralelos no diagrama com o HCO₃⁻.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na região de São Gabriel, o Sistema Aquífero Palermo/Rio Bonito é o mais utilizado para o abastecimento das comunidades rurais, indústria e agricultura. Também são registrados poços nos sistemas aquíferos Pirambóia e Embasamento Cristalino, neste com menores vazões. As águas subterrâneas da região apresentam altas concentrações de sólidos totais dissolvidos (salinização) em grande parte dos poços, sendo os principais parâmetros o sódio, o sulfato, o cálcio, o bicarbonato e o cloreto. As altas concentrações de sódio, TDS e sulfato imprimem restrição de potabilidade em 14,5%, 12,7% e 3,6 % dos poços, respectivamente. A grande maioria dos poços com água imprópria para consumo humano se localizam ao longo de uma faixa de direção NE-SW onde o aquífero Rio Bonito sofre influência do aquífero permiano, principalmente a Formação Irati, a qual representa a principal fonte de salinização das águas na região. A origem do bicarbonato, do cálcio e do sulfato reside na dissolução e hidrólise de calcita e anidrita, enquanto o cloreto e parte do sódio provêm da dissolução de sais e maior parte do sódio de processos de troca catiônica com o cálcio, onde o este é adsorvido pelos argilo-minerais e o sódio é liberada para a solução aquosa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CPRM (2005). Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande Sul. Porto Alegre, RS. 1 CD-ROM. Escala 1:750.000.
- CPRM (2008). Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul. Rio de Janeiro, RJ. 1 CD-ROM. Escala 1:750.000.
- HOLZ, M & CARLUCCI, R. (2000). Litoestratigrafia, Estratigrafia de Sequencias e Evolução Paleofisiográfica da zona de borda da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul durante o Eo-Permiano. In: *Geologia do Rio Grande do Sul*. Org. por Holz, M. & De Ros, L.F. Ed. CIGO/UFRGS, Porto Alegre, RS. pp. 303-322.
- KERN, M. L.; VIERO, A. P.; MACHADO, G. (2007). The Fluoride in the Groundwater of Guarani Aquifer System: the Origin Associated with Black Shales of Paraná Basin. *Environmental Geology*, (55), pp. 1219-1233.
- KETZER, J.M.; HOLZ, M.; MORADI, S.; AL-AASM, S. (2003). Sequence stratigraphic distribution of diagenetic alterations in coal-bearing, paralic sandstones: evidence from the Rio Bonito Formation (Early Permian), southern Brazil. *Sedimentology*, (50), pp. 855-877.
- SCHNEIDER, R.L.; MUHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F. & NOGUEIRA, A.A. (1974). Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná: *In anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia*, Porto Alegre, Jun. 1974, 1, pp. 41-65.