

INFLUÊNCIA DOS FALHAMENTOS REGIONAIS NA ESTRUTURAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

José Luiz Flores Machado ^{1,2}; Ubiratan F. Faccini ¹

Resumo. Este artigo trata da influência que os grandes sistema de falhamentos do Rio Grande do Sul produzem na estruturação espacial e hidroestratigráfica do Sistema Aquífero Guarani (SAG). Foram confeccionadas sete seções geológicas e hidrogeológicas que permitiram a delimitação de quatro grandes compartimentos estruturais. O Compartimento Leste é limitado pelo Sistema de falhamentos do Leão e os aquíferos estão associados com as Formações Botucatu e Pirambóia ou exclusivamente Fm. Botucatu na porção norte-nordeste do compartimento. O Compartimento Oeste é limitado pelo Sistema de falhamentos Jaguari-Mata e sua hidroestratigrafia é semelhante à da porção uruguaia do SAG, com a ocorrência das Formações Guará e Botucatu correlacionáveis com Formação Tacuarembó do Uruguai. O Compartimento Norte-Alto Uruguai pertence à área de influência norte do Sistema de falhamentos Terra de Areia-Posadas, estando totalmente confinado pelos derrames vulcânicos, e o SAG é representado apenas por litologias eólicas da Formação Botucatu. O Compartimento Central caracteriza-se principalmente pela presença de aquíferos associados com as formações triássicas.

Abstract This paper shows the effects of great fault systems of Rio Grande do Sul State on Guarani Aquifer System structural organization and hydrostratigraphy. Seven geological and hydrogeological cross-sections were produced delineating four great structural compartments. The Leste compartment is limited by Leão fault system and the aquifers are associated with Botucatu/Pirambóia Formations or only Botucatu Formation in the north-northeast portion of the compartment. The Oeste compartment is limited by Jaguari-Mata fault system and its hydrostratigraphy is similar to the uruguayan portion of the aquifer system. The Norte-Alto Uruguai compartment is influenced by the north portion of the Terra de Areia-Posadas Fault System, with eolian litologies of Botucatu Formation totally confined by volcanic lavas. The Central Compartment is composed by aquifers associated to triassic formations.

Palavras-chave: Sistema Aquífero Guarani, compartimentação estrutural, hidroestratigrafia

¹ Programa de Pós Graduação em Geologia PPGeo-UNISINOS. Av. Unisinos, 950, São Leopoldo, RS.
ufaccini@euler.unisinos.br

² Serviço Geológico do Brasil. CPRM -SUREG/PA. Rua banco da Província 105, Porto Alegre, RS. CEP 90840-030 Telefone (51) 3233.7311, FAX (51) 3233.7772 machado@pa.cprm.gov.br

Introdução

Este artigo trata das condições de ocorrência do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Estado do Rio Grande do Sul. Muitos estudos sobre esse sistema aquífero já foram realizados até a presente data, em geral tratam-se de abordagens sintéticas em escalas de 1: 2.500.000 a 1: 5.000.000, sobre sua distribuição e características hidrogeológicas nos quatro países em que ocorre. O SAG conhecido como uma das maiores reservas de água subterrânea de água doce do mundo, abrange uma extensão aproximada de 1,2 milhões de Km², estendendo-se além do Brasil, pelo Uruguai, Argentina e Paraguai.

Trabalhos recentes sobre a estruturação do Sistema Aquífero Guarani no Uruguai e na porção influenciada pelo Arco de Ponta Grossa no Estado do Paraná, têm demonstrado a compartimentação do sistema aquífero, com base em grandes estruturas tectônicas, que individualizam compartimentos com características hidrogeológicas bem definidas. Exemplos das influências destas estruturas sobre o fluxo hidrodinâmico do sistema são documentados nos trabalhos de Montañó *et al.* (2002) para a Bacia Chaco-paranaense do Uruguai e Rosa F^o *et al.* (2003) para o Estado do Paraná.

O Aquífero Serra Geral, constituído por litologias originadas dos derrames basálticos da Bacia do Paraná, confina as litologias intergranulares do Sistema Aquífero Guarani em sua maior área de ocorrência. As rochas basálticas apresentam um padrão de fraturamento relacionado com a evolução das sucessivas reativações de falhamentos originados já no pré-cambriano. Esta estruturação tectônica reflete-se também no Sistema Aquífero Guarani, mostrando uma subdivisão em pelo menos quatro grandes compartimentos que apresentam arcabouços hidroestratigráficos diferenciados.

O SAG no Estado do Rio Grande do Sul apresenta grande complexidade estratigráfica, quando comparado com os outros estados brasileiros e mesmo com a sua ocorrência nos países limítrofes, pois é constituído pelo Grupo Rosário do Sul, praticamente circunscrito aos limites geográficos do Estado.

O objetivo principal deste trabalho é apresentar a compartimentação estrutural do SAG no Rio Grande do Sul, além de uma síntese das características de cada compartimento estrutural e de sua organização hidroestratigráfica.

Materiais e Métodos

O presente estudo foi desenvolvido com base em 199 poços tubulares e sondagens minerais, coletados em órgãos públicos como a Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), Programa

de Açudes e Poços da Sec. de Obras Públicas e Saneamento, Departamento de Comandos Mecanizados da Sec. da Agricultura, Banco de Dados Nacional (SIAGAS) da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e empresas privadas de perfuração. Em trabalhos de campo também foram tomadas medidas com aparelho GPS barométrico de cotas do contato entre os arenitos da Formação Botucatu e os derrames básicos e ácidos da Formação Serra Geral.

Para o embasamento geológico e cartográfico, foram obtidas informações estratigráficas e estruturais junto ao Mapa Geológico do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) em escala 1:1.000.000, edição de 1989 e Mapa Geológico do Rio Grande do Sul da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) em escala 1:1.000.000, inédito. Também foram consultados e cadastrados poços para prospecção de petróleo da Petrobrás e Paulipetro para auxiliar no levantamento da estratigrafia do sistema aquífero nas áreas com dados esparsos.

Como o objetivo do trabalho trata da compartimentação do sistema aquífero em grandes blocos estruturais, com características hidroestratigráficas bem definidas através de um controle tectônico, os dados básicos utilizados foram cotas de contato do SAG com outras unidades aquíferas e também os contatos entre outras litologias que compõem sua estruturação estratigráfica.

Para a visualização das estruturas que individualizam os compartimentos do SAG, foram construídas seções geológicas e hidrogeológicas a partir de correlação estratigráficas de poços. Foram construídas 4 seções entre os municípios de: Minas do Leão e Butiá (leste do estado), Rondinha e Caxias do Sul, Unistalda (RS) e São João do Oeste (SC), Estrela e Esmeralda. Excetuando-se a seção geológica em Minas do Leão, as restantes foram confeccionadas em áreas em que o SAG está confinado pelas litologias vulcânicas da Formação Serra Geral. Nessas áreas as cotas do topo da Formação Botucatu são mais confiáveis, pelo fato das mesmas estarem em contato concordante com as litologias confinantes e protegidas da erosão, como ocorre na área aflorante.

Considerações preliminares sobre a proposição de compartimentação do SAG no RS

Embora muitos trabalhos tenham se realizado visando o estudo do SAG no estado (mais propriamente os aquíferos correspondentes à Formação Botucatu e ao Grupo Rosário do Sul de maneira independente), o único mapa que apresenta o contorno estrutural do topo deste sistema deve-se a Araújo *et al.* (1995), quando para ele sugerem o nome de Aquífero Gigante do Mercosul. Por esse mapa, apesar da pequena escala de apresentação (1:5.000.000), tem-se a idéia de um aquífero homogêneo, que em outras escalas dificultam a visualização de sua real distribuição em área. Essa mesma concepção permaneceu no exame do Mapa Hidrogeológico do Aquífero Guarani de Campos

(2000), devido novamente ao efeito de escala. As primeiras informações sobre as heterogeneidades tanto estratigráficas como estruturais relacionadas com as formações aquíferas que compõem o grande SAG são devidas a Hausmann (1965, 1966) e são ampliadas por esse mesmo autor na Acta Geológica Leopoldensia – Série Mapas de 1995.

A atual estruturação do SAG está condicionada aos eventos tectônicos que afetaram as formações geológicas no estado, do escudo pré-cambriano aos derrames basálticos, tendo o sistema aquífero se estruturado de acordo com as sucessivas reativações que ocorreram principalmente do final do permiano até o cretáceo (Figura 1). Os trabalhos de Eilers (1993) e Eilers *et al.* (1993), Frasca e Lisboa (1993), Frasca (1996), Lisboa (1993, 1996), Lisboa *et al.* (1985), Takahashi (1991) e Takahashi *et al.* (1993) e Agrar und Hidrotechnik (1970) em áreas específicas de ocorrência do SAG no Rio Grande do Sul, estudando detalhadamente as linhas estruturais que ocorrem no Aquífero Serra Geral, demonstram que o aquífero basáltico apresenta controles tectônicos bem definidos.

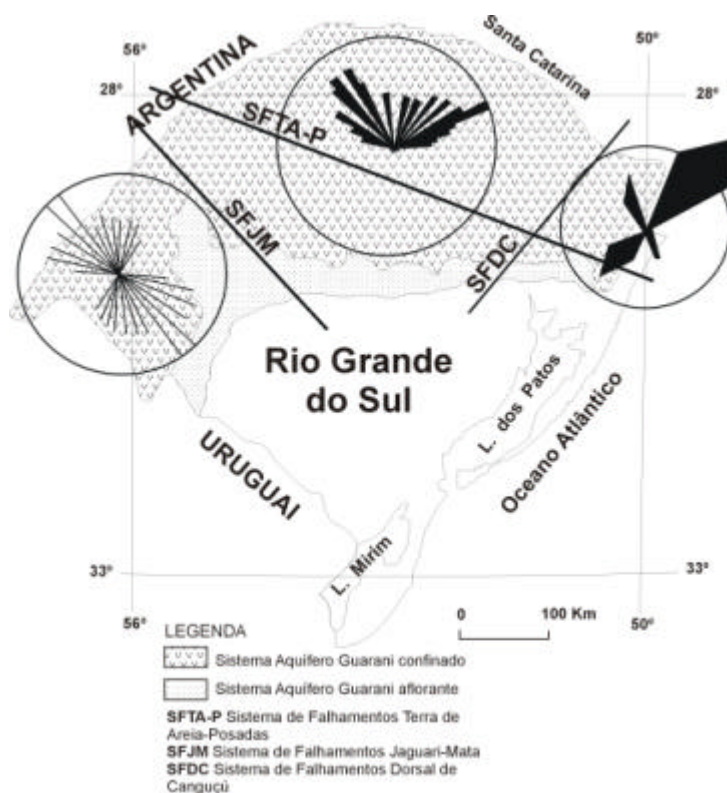


Figura 1 Principais sistemas de falhamentos que compartimentam o Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul.

Na região leste do estado, no basalto as fraturas tendem a predominar na direção nordeste, enquanto na região oeste o predomínio é dos fraturamentos noroeste. Na porção central do estado,

segundo Lisboa (1996), ambas a direções se entrelaçam proporcionando o aparecimento de feições geomorfológicas mamelonares, devido ao efeito da erosão sobre os cruzamentos de fraturas. A região que apresenta feições mamelonares, descritas por Lisboa (1996), foi estudada em parte por Takahashi (1991) e Takahashi et al. (1993), baseando-se na análise de 561 lineamentos obtidos de fotos aéreas 1:110.000 e mosaico de Radar em escala 1:1.000.000, que plotados em diagrama de rosetas mostraram a bidirecionalidade das estruturas, confirmando o intenso cruzamento de fraturas. Da região central do estado em direção ao oeste, os falhamentos noroeste apresentam maiores rejeitos, enquanto que do centro ao leste, as falhas nordeste apresentam maior importância, sendo os rejeitos mais significativos nas proximidades do litoral.

Este trabalho documenta a compartimentação do SAG do RS em pelo menos quatro subdivisões de maior hierarquia, com características estruturais e hidrogeológicas bem definidas: Compartimentos Leste, Oeste, Central – Missões e Norte – Alto Uruguai.

Compartimentação estrutural do SAG

Compartimento Leste

Área de influência do Sistema de falhamentos Dorsal de Canguçu – SFDC (Falha do Leão)

Na região leste do Estado, nas bacias hidrográficas dos rios dos Sinos e Caí, estudos baseados na interpretação de fotografias aéreas 1:60.000, concluiu após uma ordenação em mapa de 996 medições de falhas e fraturas na bacia hidrográfica do rio Caí, que na parte norte da região, ocorre a predominância de fraturamentos N 70° - 75° E e, secundariamente N 35° - 40° E (Figura 1). Na parte sul, próximo ao município de Montenegro, o máximo principal orienta-se N 45° - 50° E e o secundário entre N 70° - 75° E. Na bacia hidrográfica do rio dos Sinos 761 medições indicam predominância da direção N 60° - 70° E, estando o segundo pico entre N 40° - 50° E (Agrar und Hydrotechnik, 1969,1970). Lisboa et al. (1985) utilizando mosaico de Radar em escala 1: 250.000, identificaram lineamentos em duas regiões denominadas de Lajeado Grande (51°00' W a 50°30' W) e Tainhas (50°30' W a 50°00' W), ambas situadas entre as latitudes (29°00' S e 29°30' S), na região da Fachada Atlântica (Lisboa, 1996). Nesta área os lineamentos orientam-se na direção N 30° - 40° E. Na Figura 2 visualiza-se a estrutura que representa o prolongamento do sistema de falhamentos Dorsal de Canguçu (SFDC) na região gonduânica onde é conhecido como Falha do Leão que delimita a porção ocidental do Compartimento Leste.

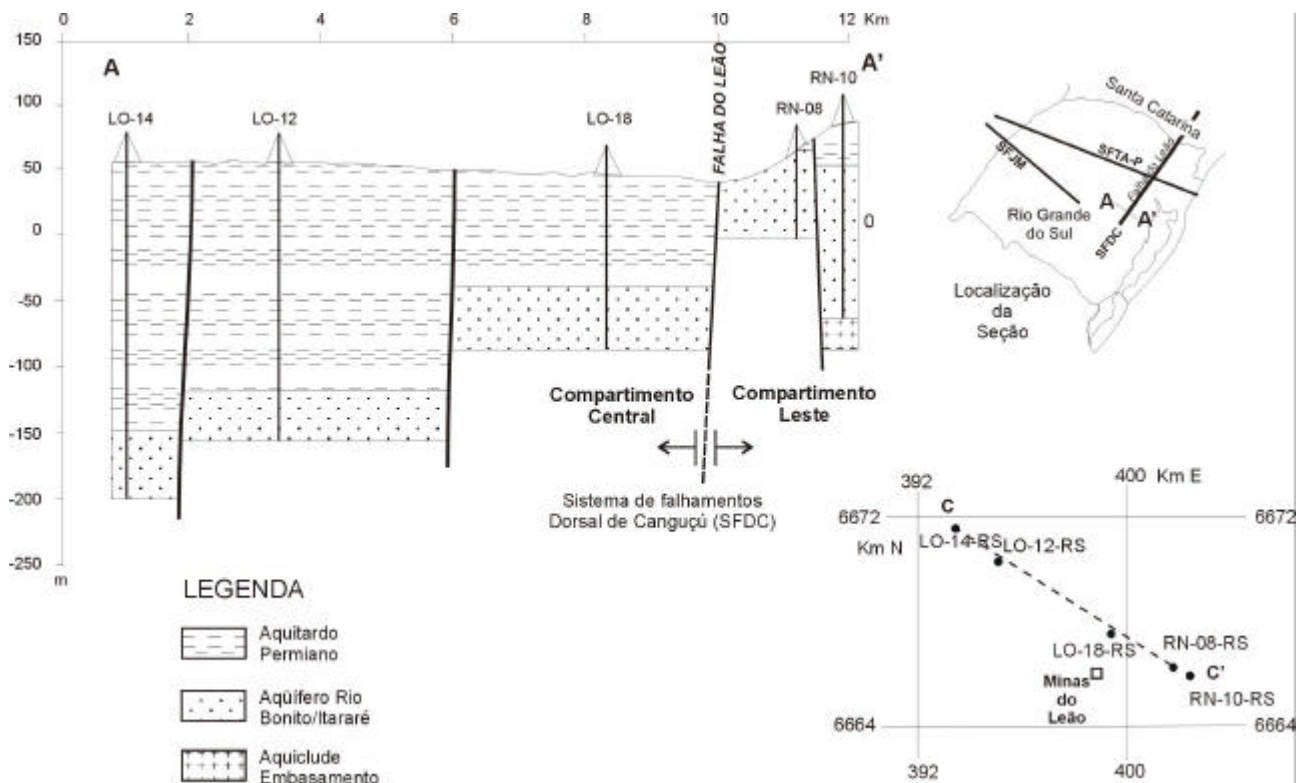


Figura 2 Seção geológica representando a compartimentação do Sistema Aquífero Guarani pelo sistema de falhamentos Dorsal de Canguçu (Falha do Leão).

O Compartimento Leste apresenta dois condicionamentos estruturais. Na porção litorânea, as falhas nordeste estão com rejeitos escalonados em direção ao oceano, segmentando o topo do SAG que alcança valores negativos de cota inferiores a 200 metros. Da região de Taquara até as proximidades de São Sebastião do Caí, possui variações menores nos valores das cotas do topo e somente a partir de Caxias do Sul (Figura 3) as cotas voltam a alcançar valores positivos maiores, que chegam a + 680 metros no poço 1-SJO -01- RS da Petrobrás, em São Joaquim (SC).

Compartimento Oeste

Área de Influência do Sistema de Falhamentos Jaguari – Mata (SFJM).

Eilers (1993) e Eilers *et al.* (1993), a partir da tomada de direção de 316 lineamentos na região de Alegrete, mapeados em imagens LANDSAT MSS/Canais 4,5,7 (1:500.000) e Radar banda X (1:250.000), construiu diagrama de rosetas onde predominaram as direções N 40° -50° W. Frasca *et al.* (1993) e Frasca (1996) estudando as áreas entre os municípios de São Francisco de Assis, Manoel Viana e as localidades de Unistalda e Vila Kramer no oeste do Estado, região com aproximadamente 7155 Km², verificou, através do estudo de imagens LANDSAT, em 1633 amostras os lineamentos, a dominância das orientações noroeste, confirmando as observações de Eilers (1993) para a região de

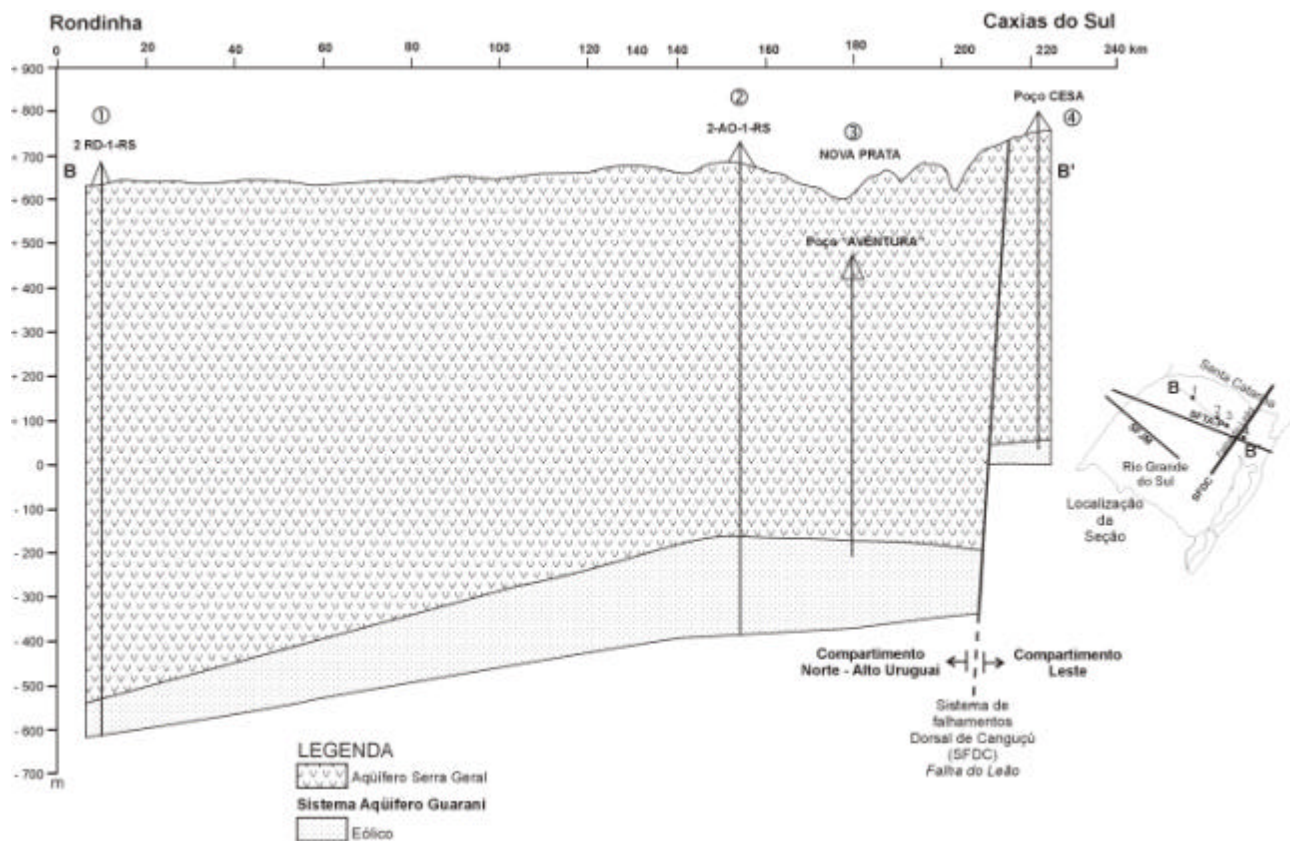


Figura 3 Seção geológica ilustrando o efeito do sistema de falhamentos da Dorsal de canguçu (SFDC) sobre o Sistema Aquífero Guarani, causando a elevação das cotas do topo do SAG no Compartimento Leste, em relação ao Compartimento Norte-Auto Uruguai.

Alegrete. Esse compartimento apresenta mergulho das camadas quase que homogeneamente em direção oeste, mergulhando principalmente para a fronteira da Argentina e, em parte, para o Uruguai (Figura 4). Devido à escala utilizada nos trabalhos e a não interferência no arcabouço estratigráfico do SAG, esses falhamentos de menor amplitude não estão representados na seção.

Compartimento Norte – Alto Uruguai.

Área de Influência do Sistema de falhamentos Terra de Areia – Posadas (SFTA – P).

A compartimentação anteriormente descrita (Oeste, Central e Leste), no entanto, não explica totalmente o modo de distribuição do SAG no estado, pois poços tubulares profundos e furos estratigráficos perfurados pela Petrobrás e Paulipetro mostram um aquífero com comportamento

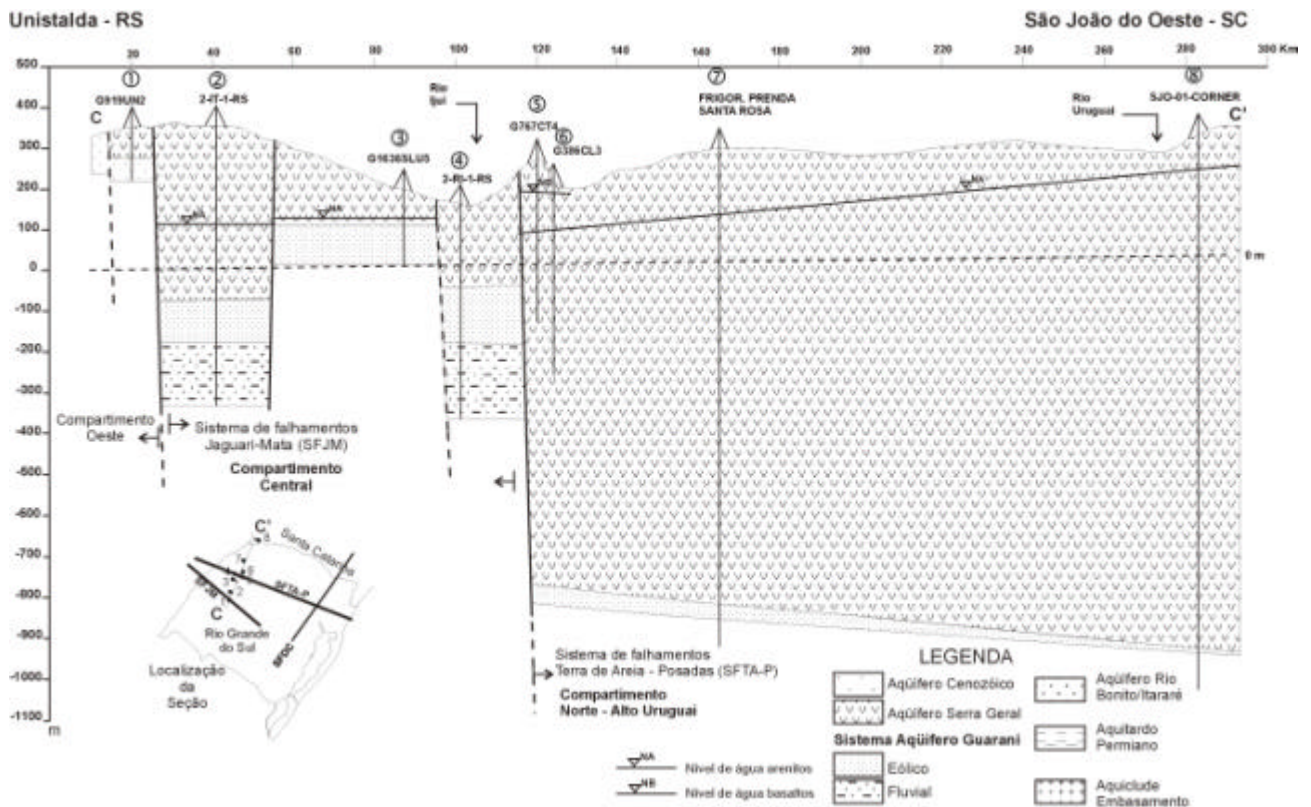


Figura 4 Seção hidrogeológica mostrando o sistema de falhamentos Jaguari-Mata (SFJM) delimitando os compartimentos Oeste e Central e O sistema de falhamentos Terra de Areia-Posadas (SFTA-P) que delimita os compartimentos Central e Norte-Alto Uruguai.

estratigráfico e estrutural muito diferenciado das áreas já delimitadas pela reativação dos sistemas de falhamento herdados dos grandes eventos tectônicos ocorridos no embasamento cristalino riograndense.

As seções Unistalda-São João do Oeste e Estrela-Esmeralda (Figuras 4 e 5) demonstram que a existência de um Lineamento Torres – Posadas sendo a expressão do sistema de falhamentos Terra de Areia – Posadas (SFTA-P), com direção N 70° W. Este sistema atravessa o Rio Grande do Sul quase perpendicularmente, alcançando e ultrapassando o rio Uruguai, na altura da foz do rio Ijuí. Próximo ao rio Uruguai, na região das Missões, os rejeitos podem ser superiores a 800 metros como visualizado na seção hidrogeológica da Figura 4. Esse sistema de falhamentos que secciona a porção cretácica do SAG representa o limite meridional do compartimento Norte – Alto Uruguai. Nessa região o SAG mostra características estratigráficas marcantes que o diferenciam do que ocorre no restante do estado e que o relacionam com a ocorrência do mesmo no Estado de Santa Catarina.

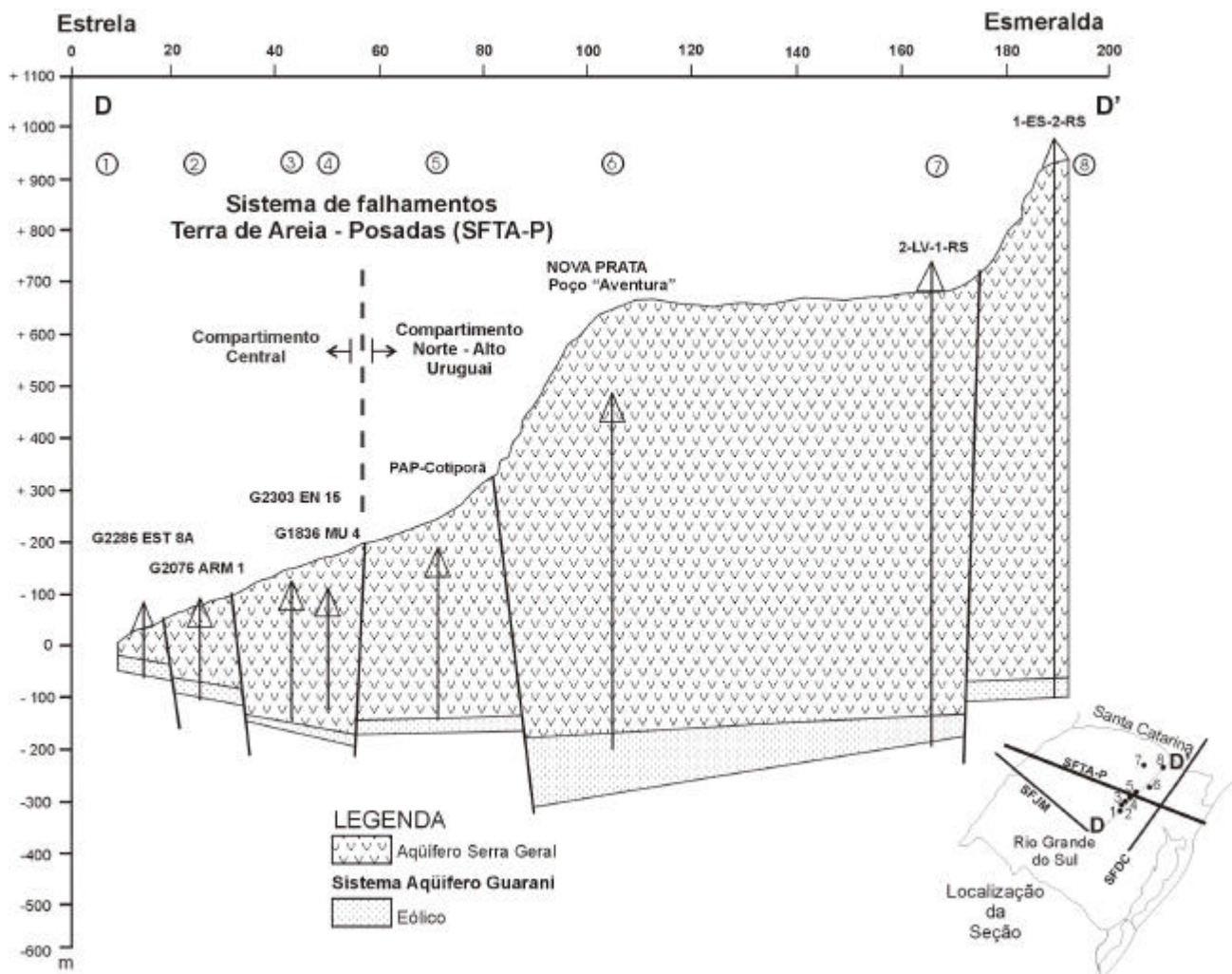


Figura 5 Seção Geológica onde visualiza-se o sistema de falhamentos Terra de Areia – Posadas delimitando os Compartimentos Central e Norte – Alto Uruguai.

O traçado desse sistema de falhamentos, apesar de sua amplitude, não é facilmente seguido nas imagens de satélite e radar, sendo que em muitos locais é mais facilmente detectado pelas características hidrogeológicas dos poços. Assim, é de grande importância a detecção de diferenças potenciométricas e hidroquímicas nos poços que captam tanto o SAG quanto o Aqüífero Serra Geral nessa zona de falhamento que, além da estratigrafia, condiciona também a ocorrência de áreas de recarga, circulação e descarga de parte da porção transfronteiriça do SAG (Machado e Faccini, 2004, em preparação).

Compartimento Central – Missões

Área de Influência Sul do Sistema de falhamentos Terra de Areia – Posadas (SFTA – P).

Os mapeamentos geológicos, poços tubulares e furos de sonda estudados permitem que, em escala regional, o sistema de falhamentos Jaguari - Mata e o sistema de falhamentos Dorsal de Canguçu (mais propriamente sua extensão representada pela Falha do Leão) sejam consideradas como os limites dos blocos oeste e leste do SAG dentro do Estado, delimitando dois arcabouços hidroestratigráficos distintos para cada uma dessas áreas e formando um compartimento maior que engloba a área central e a região das Missões. A seção geológica da Figura 5 ilustra bem o condicionamento estrutural desse compartimento.

Dentro do Compartimento Central, a região abrangida pelas Missões apresenta uma estrutura dômica para o topo do SAG a partir do limite do sistema de falhamentos Jaguari – Mata, com direções de mergulho para norte, noroeste e nordeste, estando o topo do aquífero quase aflorante nas proximidades do Rio Uruguai e em cotas negativas nas imediações do rio Ijuí (Machado & Faccini, em preparação).

A região Central caracteriza-se por um intenso fraturamento, com as mudanças de direção dos falhamentos nordeste e noroeste a partir das regiões próximas ao município de Santa Maria. Mais à direita, nas proximidades do limite com o Compartimento Leste, as estruturas tectônicas promovem o aparecimento de cotas negativas para o topo do SAG já nas proximidades das áreas de afloramento. Em toda a região Central o mergulho das camadas do SAG é exclusivamente em direção norte e com exceção de áreas próximas a Nova Palma e ao rio Taquari em Estrela, o topo do SAG apresenta-se alçado na topografia, em cotas superiores a 200 metros.

Arcabouço Hidroestratigráfico do SAG

O arcabouço do SAG está intimamente relacionado com sua estruturação tectônica e pode ser assim sucintamente descrito (Machado, 1998; Giardin & Faccini, 2002; Faccini *et al.*, 2003):

- a) A Hidroestratigrafia do Compartimento Oeste é semelhante à porção uruguaia do SAG. Somente neste compartimento são encontradas litologias da Formação Guará, correlacionável a Formação Tacuarembó no Uruguai. No topo ocorrem os arenitos eólicos correspondentes à Formação Botucatu. Quando confinado, o SAG é capeado pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral.

- b) A Hidroestratigrafia do Compartimento Central caracteriza-se pelo fato do SAG apresentar uma constituição litológica única em todo o estado e mesmo no restante do país, com a predominância de formações triássicas. Na base ocorre de maneira intermitente a Formação Pirambóia capeada pela fácies fluvial da Formação Sanga do Cabral, o que ocasiona que grande quantidade de poços tubulares sejam secos ou de baixa vazão. O melhor aquífero da seqüência é representado pelo Membro Passo das Tropas da Formação Santa Maria. No topo ocorrem as formações Caturrita e Botucatu. Quando o SAG está confinado pelos derrames vulcânicos, os poços tubulares captam exclusivamente a Formação Botucatu.
- c) A Hidroestratigrafia do Compartimento Leste difere-se do anterior por não apresentar as litologias triássicas das Formações Santa Maria (Membros Passo das Tropas e Alemoa) e Caturrita. Predominam aqui as litologias eólicas basais da Formação Sanga do Cabral, mais propriamente correlacionável com a Formação Pirambóia, e os arenitos eólicos da Formação Botucatu.
- c) A Hidroestratigrafia do compartimento Norte – Alto Uruguai caracteriza-se pela presença exclusiva da Formação Botucatu como integrante do SAG e está totalmente confinado pelos derrames vulcânicos da Formação Serra Geral, estando os afloramentos restritos somente ao território catarinense. Nesse compartimento estão os poços tubulares mais profundos do SAG no Estado do Rio Grande do Sul.

Conclusões

A partir da elaboração de seções geológicas e hidrogeológicas sobre importantes sistemas de falhamentos e a análise das cotas do contato do SAG com as litologias vulcânicas confinantes, identificam-se quatro compartimentos estruturais de maior hierarquia do SAG no Rio Grande do Sul.

O Compartimento Leste representa o domínio dos falhamentos e fraturamentos de direção predominantemente nordeste, sendo seu limite ocidental com os outros compartimentos a Falha do Leão. Próximo do litoral, uma grande sucessão de blocos originados dos falhamentos de direção nordeste resultantes da abertura do Oceano Atlântico, produzem alterações no registro estratigráfico. Predominam as litologias das formações Pirambóia e Botucatu ao sul do Sistema de falhamentos Terra de Areia – Posadas e as litologias eólicas da Formação Botucatu a norte.

O Compartimento Oeste corresponde ao domínio dos falhamentos de direção noroeste, sendo seu limite oriental com o Compartimento Central representado pelo Sistema de falhamentos Jaguari –

Mata. No topo do SAG as litologias das Formações Guará e Botucatu são correlacionáveis a Formação Tacuarembó do Uruguai.

O Compartimento Norte – Alto Uruguai é limitado ao sul pelo Sistema de falhamentos Terra de Areia – Posadas e a leste pela Falha do Leão. Caracteriza-se pela presença exclusiva da Formação Botucatu, estando totalmente confinada pelos derrames vulcânicos.

O Compartimento Central – Missões corresponde a área de influência sul do Sistema de falhamentos Terra de Areia – Posadas. Dentro desse compartimento o mergulho das formações é em direção predominantemente norte, como pode ser visualizado nas seções. Seu confinamento estrutural proporcionou que nesse compartimento o SAG possua uma constituição litológica única em todo o Estado, com predominância das formações triássicas e no topo as litologias eólicas da Formação Botucatu.

Estando o SAG compartimentado estruturalmente e com um arcabouço hidroestratigráfico complexo, é fundamental que os estudos relacionados com o fluxo hidrodinâmico, a hidráulica de poços e qualidade química de suas águas leve em consideração essa condição, para que o planejamento, gestão e proteção sejam realizados com qualidade técnica compatível com a importância desse sistema aquífero,

Referências Bibliográficas

AGRAR UND HIDROTECHNIK 1969 Estudo Hidrológico da Bacia do Rio do Sinos. Secretaria de Obras Públicas do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. (Relatório Inédito).

AGRAR UND HIDROTECHNIK 1970 Estudo hidrológico da Bacia do Rio Caí. Secretaria de Obras Públicas do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. (Relatório Inédito).

ALMEIDA, F.F.M. 1981 Síntese sobre a tectônica da Bacia do Paraná. IIIº Simpósio Regional de Geologia. SBG-SP, Curitiba, Atas. 1:243 -275.

ARAÚJO, L.M.; FRANÇA, A.B.; POTTER, P.E. 1995 Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: mapas hidrogeológicos das formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Petróleo Brasileiro S/A (Petrobrás), 16 p. e anexos.

- CAMPOS, H.C.N.S. 2000 Modelación Conceptual y Matemática del Acuífero Guaraní, Cono Sur. Mapa Hidrogeológico del Acuífero Guaraní. Escala 1:2.500.000. Acta Geologica Leopoldensia. Estudos Tecnológicos. Série Mapas 4. Unisinos. 51p. 1 Mapa.
- EILERS, V.H.M. 1993 Análise hidrogeológica da Região Sudoeste do Rio Grande do Sul através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. IPH/UFRGS. 128 p. Anexos.
- EILERS, V.H.M.; CAICEDO, N.L.; LISBOA, N.A. 1993 Análise hidrogeológica da região sudoeste do Rio Grande do Sul através de técnicas de sensoriamento remoto e do uso do Sistema Geográfico de Informações. In: 1º Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul. Gramado. Anais. 2: 131-141.
- FACCINI, U.F.; GIARDIN, A.; MACHADO, J.L.F. 2003 Heterogeneidades Litofaciológicas e Hidroestratigrafia do Sistema Aquífero Guarani na Região Central do Estado do Rio Grande do Sul. In: Paim, P.S.G; Faccini, U.F.; Netto, R.G. (eds). 2003 Geometria, Arquitetura e Heterogeneidades de Corpos Sedimentares – Estudo de Casos. Convênio 88.98.0750.00 PADCT III.
- FRASCA, A. A. S. 1996 Aplicações de sensoriamento remoto e análise de lineamentos em estudos tectônicos na Região de São Francisco de Assis, Porção da Borda Meridional da Bacia do Paraná, RS. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. CEPSSRM/UFRGS. 105 p.
- FRASCA, A.A.; LISBOA, N.A. 1993 Contribuição do sensoriamento remoto na compartimentação morfotectônica e morfoestrutural da Bacia do Paraná, Grupo São Bento, RS e suas relações com as estruturas do embasamento. In 7º Simpósio de Sensoriamento Remoto. Curitiba. Anais. 3: 211-220.
- GIARDIN, A.; FACCINI, U.F. 2002 Heterogeneidades Faciológicas e Hidroestratigrafia do Aquífero Guarani na Região Central do Rio Grande do Sul: abordagem metodológica e resultados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12. Florianópolis, 2002. Anais, Florianópolis, ABAS, 16 p. (CD-ROM).
- HAUSMAN, A. 1965 Esboço hidrogeológico do Rio Grande do Sul. In: SEMANA DE DEBATES GEOLÓGICOS. Porto Alegre, RS. Centro Acad. Est. Geol, UFRGS. P.37 –71.
- HAUSMAN, A. 1995 Províncias hidrogeológicas do Rio Grande do Sul. Acta Geologica Leopoldensia. Série Mapas. São Leopoldo, RS.
- LEINZ, V. 1949 Contribuição à geologia dos derrames basálticos do Sul do Brasil. Boletim da Faculdade de Ciências e Letras, USP. São Paulo. 5: 1 – 61.

- LISBOA, N. A.; SCHUCK, M.T. de O.; EICK, N.C.;CARRARO, C.C 1985 Identificação de uma estrutura tectônica elíptica na Formação Serra Geral (RS), através de imagens do LANDSAT, radar e aerofotos. 2º Simpósio Sulbrasileiro de Geologia. Anais... SBG. Florianópolis, SC.p.131 – 145.
- LISBOA, N.A. 1993 Compartimentação hidrogeológica e diferenciação hidrogeoquímica em aquíferos do extremo sul do Planalto Meridional do Rio Grande do Sul In: 1º Simpósio de Recursos Hídricos do Cone Sul. Gramado. Anais. 4: 539-548.
- LISBOA, N.A. 1996 Fácies, estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos em unidades hidrogeológicas do Sistema Aquífero Serra Geral, na Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul. Curso de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado. 135 p.
- MACHADO, J.L.F. 1998 Hidroestratigrafia química preliminar dos aquíferos da Região Central do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10. São Paulo,1998. *Anais*, ABAS. São Paulo. (CD-ROM).
- MACHADO, J.L.F.; FACCINI, U. F. 2004 Compartimentação Estrutural do SAG no Rio Grande do Sul: características hidrodinâmicas e hidroquímicas (em preparação).
- MONTAÑO, J.; ROSA Fº, E.F.; HINDI, E.C.; CICALESE,;MONTAÑO, M.; URTASUN, S.G. 2002 Importância de las estructuras geológicas em el modelo conceptual del Sistema Acuífero Guarani – Área Uruguay. *Revista Águas Subterráneas*. 16:111-119.
- PAULIPETRO Consórcio CESP/IPT 1982 Geologia da Bacia do Paraná. São Paulo, SP.
- ROSA Fº, E.F.; HINDI, E.C.; ROSTIROLLA,S.P.; FERREIRA, F.J.F.; BITTENCOURT, A.V.L. 2003 Sistema Aquífero Guarani – Considerações preliminares sobre a influência do Arco de Ponta Grossa no Fluxo das Águas Subterráneas. *Revista Águas Subterráneas*. Curitiba: ABAS. 17: 91-111.
- TAKAHASHI, H. A. 1991 Caracterização morfoestrutural e hidrogeológica de aquíferos em meio fraturado através de técnicas de sensoriamento remoto e análise estatística, em Setor do Planalto Meridional – RS. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. IPH/UFRGS. 126 p.
- TAKAHASHI, I.A.; HAERTEL, V.; LISBOA, N.A. 1993 Caracterização morfoestrutural e hidrogeológica de aquíferos em meio fraturado através de técnicas de sensoriamento remoto e análise estatística em setor do Planalto Meridional, RS. In: 7º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba. Anais. 3: 332 – 350.

ZÁLAN, P.V.; WOLFF, S.; VIEIRA, E.S.; CONCEIÇÃO, J.C.P.; APPI, V.T.; NETO, E.V.S.;
CERQUEIRA, J.R.; MARQUES, A. 1990 The Paraná Basin. *In*: Leighton, M.W.; Kolata, D.R.;
Oltz, D.F.; Eidel, J.J. (eds). *Interior Cratonic Basins*. AAPG Memoir 51: 681 – 708.