

CARACTERIZAÇÃO DOS COMPARTIMENTOS ESTRUTURAIS DO SISTEMA Aqüífero GUARANI NO RIO GRANDE DO SUL

José Luiz Flores Machado¹

Resumo. O artigo dedica-se à descrição das características do Sistema Aqüífero Guarani (SAG) no estado do Rio Grande do Sul, onde é constituído por quatro grandes compartimentos, denominados de: Oeste, Leste, Norte-Alto Uruguai e Central-Missões. Os compartimentos foram mapeados e estudados de acordo com a sua conformação estrutural através de mapas de contorno estrutural. Também foram construídos mapas potenciométricos para a identificação dos principais fluxos das águas e mapas hidroquímicos, relacionados basicamente com a salinidade do sistema aqüífero. Com essa documentação foi possível identificar as mais importantes características hidrogeológicas dos quatro compartimentos do SAG no estado.

Abstract. This paper describes characteristics of the SAG in the Rio Grande do Sul State, where it is constituted by four large compartments namely: Oeste, Leste, Norte-Alto Uruguai and Central-Missões. The compartments were mapped and studied according to their structure on structural contour maps. Potentiometric maps were made to identify important groundwater flows and also hydrochemical maps related to the aquifer system salinity. This study made possible the identification of the most important hydrogeological characteristics of the SAG.

Palavras-chave: Sistema Aqüífero Guarani, compartimentação, hidrogeologia.

¹ Geólogo, CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Superintendência Regional de Porto Alegre. Rua Banco da Província, 105. Santa Teresa. Porto Alegre, RS CEP: 90840-030. Fone: 51-32337311. Fax: 51-32337772. email: machado@pa.cprm.gov.br

INTRODUÇÃO

O Sistema Aquífero Guarani ocupa com sua porção aflorante e confinada mais de 50% do estado do Rio Grande do Sul. De acordo com a figura 1, se observa que o mesmo é composto por diversas litologias, mostrando uma grande heterogeneidade nas suas características de ocorrência (Machado, 2005).

O conhecimento das grandes variações de potencialidade do SAG gerou a necessidade de compartimentação da sua ocorrência no Rio Grande do Sul, salientando-se que existe grande diversidade de orientação estrutural, já estabelecida em trabalhos anteriores de caráter mais localizado. Com relação à estruturação do SAG em escala regional, são também descritas em muitos trabalhos as principais estruturas e lineamentos que governam a evolução da Bacia do Paraná e por extensão o arcabouço estrutural do SAG (Almeida (1981), Fúlfaro et al. (1982), Zalán et al. (1986, 1990, 1991)).

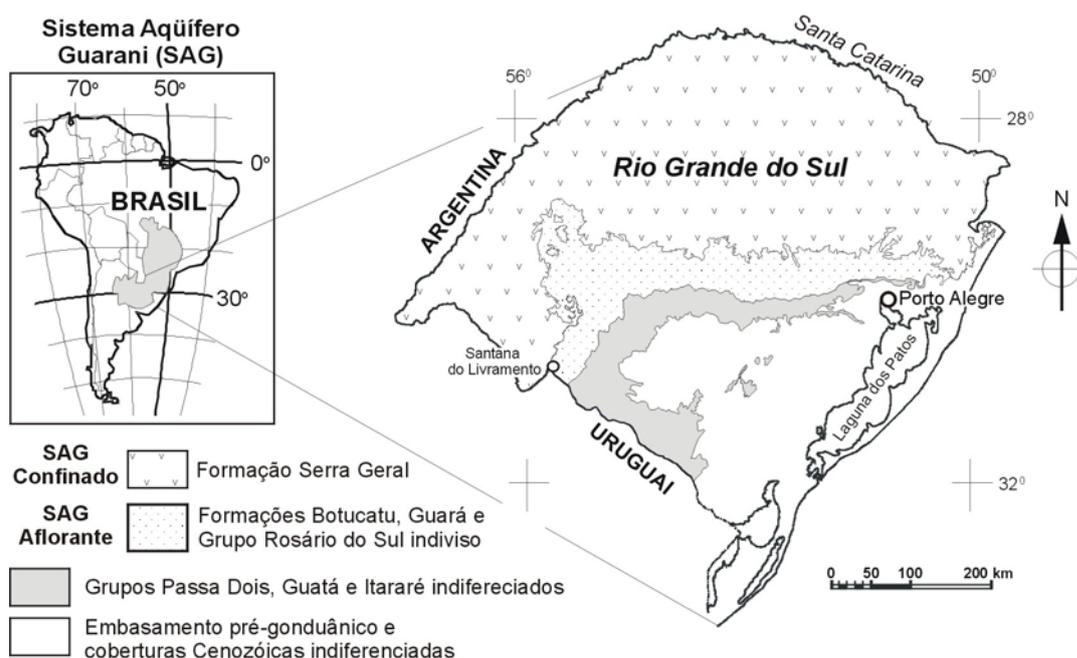


Figura 1. Mapa de localização do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul.

Apesar de todas estas evidências, a maioria dos estudos realizados sobre a ocorrência do SAG não menciona a influência destes sistemas de falhas no comportamento hidrogeológico do SAG, possivelmente devido ao fato de que esses estudos foram realizados em escalas pequenas, abrangendo o território brasileiro e os países limítrofes.

A seguir será feita a descrição das características dos compartimentos espaciais do SAG quanto à estrutura de seu topo, a distribuição de seus fluxos de água e também suas condições

hidroquímicas (salinidade). Segundo Machado (2005), o SAG no Rio Grande do Sul pode ser subdividido em quatro grandes compartimentos, denominados respectivamente de Oeste, Leste, Norte-Alto Uruguai e Central-Missões.

CARACTERIZAÇÃO DOS COMPARTIMENTOS ESTRUTURAIS DO SAG

Compartimento Oeste

Este compartimento ocupa a área conhecida por Fronteira Oeste e porção da Depressão Central do Rio Grande do Sul, fazendo parte da Sub-Província Hidrogeológica da *Cuesta* (Hausman, 1965, 1995).

No Mapa de Contorno Estrutural do Topo do SAG (Figura 2) estão traçadas as isolinhas que unem as cotas do topo da Unidade Hidroestratigráfica Botucatu (em contato com a Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral). As altitudes do SAG ao sul da calha do rio Ibicuí apresentam valores que raramente ultrapassam a + 150 m, estando estes valores restritos a região da Coxilha do Haedo, na face frontal da *cuesta* e próximos da fronteira com o Uruguai.

A partir do município de Alegrete, o SAG tende a um mergulho suave em direção oeste. O gradiente geral deste mergulho é de aproximadamente 1 m/km. Nas proximidades da fronteira com a Argentina, junto ao rio Uruguai, o topo do SAG apresenta cotas próximas ao nível do mar, com valores de cota de +50 m nos municípios de Uruguaiana e Itaqui, quando então ocorrem afloramentos das litologias arenosas da Unidade Hidroestratigráfica Botucatu. Nas imediações da área urbana de Quaraí (BR) e no interior da cidade de Artigas (UR), que lhe faz fronteira, novamente aparece uma janela arenosa da Unidade Hidroestratigráfica Botucatu, porém em cotas próximas de +100 m. Por influência de falhas noroeste, a porção central deste setor apresenta cotas que alcançam a -180 m e ao sul da cidade de Uruguaiana, paralelamente ao rio Quaraí, valores que chegam a -300 m na porção noroeste da fronteira do Uruguai com o Rio Grande do Sul.

O Mapa Potenciométrico do SAG (Figura 3), utilizou dados de cotas do nível estático (NE), tanto de poços nas áreas confinadas pela Formação Serra Geral, quanto àquelas representadas unicamente pelos afloramentos do sistema aquífero. A primeira constatação no exame das curvas de igual pressão é que existe uma continuidade entre os níveis confinados e aqueles em que as litologias arenosas já apresentam processos erosivos, localmente pronunciados.

A conformação das curvas potenciométricas quando confrontadas com as curvas obtidas do mapa de contorno estrutural do topo do SAG, mostram-se muito semelhantes. Neste caso é constante o gradiente hidráulico em direção oeste a partir do município de Alegrete e os valores de pressão hidrostática variam de +100 m a +50 m na fronteira com a Argentina (rio Uruguai).

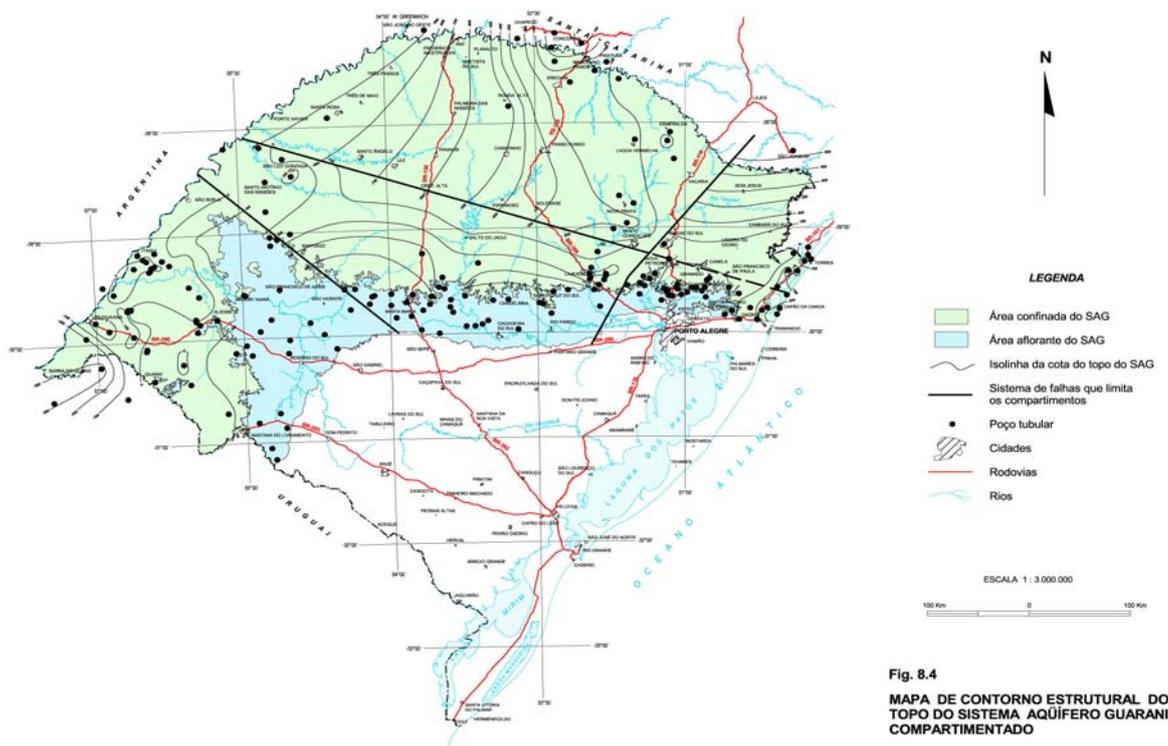


Figura 2. Mapa de Contorno Estrutural do Topo do Sistema Aquífero Guarani, extraído de Machado (2005).

Portanto, na área ao sul do curso do rio Ibicuí, estando as linhas de igual pressão com gradiente hidráulico de 0,36 m/km, proporcionam um fluxo regional oeste para esta área do compartimento, estando as áreas de descarga determinadas pelas linhas de fluxo concentradas na direção do rio Uruguai e nas proximidades do poço de Guaviravi (AR) onde a cota do nível estático (NE) se encontra próximo de +50 m.

É interessante notar que as linhas de fluxo se dirigem também em direção à região de Quaraí, porém, não existem confirmações que importantes fluxos ultrapassem a fronteira com o Uruguai, através do Departamento de Artigas. Nesse caso, a janela de arenitos que ocorre nesta região, correlacionada com as resultantes do falhamento que ocorre ao longo do rio Quaraí, antes de representar uma área de descarga regional é sim potencialmente uma área de recarga, resultante das condições estruturais que elevaram o topo do contato do SAG em relação aos derrames da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral.

Nas áreas onde existem grandes espessuras de derrames basálticos à oeste da cidade de Santana do Livramento, junto ao limite leste da *Cuesta* do Haedo, os níveis potenciométricos são concêntricos e as linhas de fluxo se dirigem em várias direções, indicando ser esta uma importante

área de recarga, especialmente correlacionadas com a ocorrência de arenitos da Unidade Hidroestratigráfica Botucatu. Entretanto, existem também na região de afloramento próxima a esta área valores de cargas hidráulicas que exibem características de área de recarga, relacionadas com a Unidade Hidroestratigráfica Guará.

Da região do município de Unistalda em direção aos municípios de São Francisco de Assis e Manoel Viana, as cargas hidráulicas obtidas proporcionam um fluxo norte-sul, em direção o curso do rio Ibicuí. Nessa região, devido ao alçamento da topografia resultante do sistema de falhas, os níveis estáticos nas Unidades Hidroestratigráficas Botucatu e Guará são muito profundos, tornando em muitos casos inviável a sua captação através de poços tubulares. São conhecidos de muito tempo os problemas de abastecimento de água na região de Unistalda, onde os arenitos da Unidade Hidroestratigráfica Botucatu encontram-se secos. Problemas semelhantes podem ser encontrados nos poços que, perfurados na Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral, apresentam baixíssimas vazões ou ocasionalmente são secos.

O Mapa Hidroquímico do SAG (Figura 4) apresenta os dados de salinidade (Totais de Sais Dissolvidos - STD) do sistema aquífero, obtido através de análises químicas. Nesse compartimento existe uma boa distribuição de dados, tanto na porção confinada, quanto na aflorante. Entre os municípios de Itaquí e São Borja e ao norte da cidade de Manoel Viana, as condições hidrogeológicas desfavoráveis à captação do SAG através de poços tubulares, tornam escassos os dados de análise de água. A análise das curvas de salinidade indica que os valores máximos estão na ordem de 400 mg/L de sais dissolvidos, sendo que na área confinada pela Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral, os valores iniciam em 100 mg/L e gradativamente alcançam os 400 mg/L. Na porção aflorante constata-se que entre os municípios de Rosário do Sul e São Francisco de Assis predominam os valores menores de 100 mg/L. Em direção ao município de Santana do Livramento, os valores aumentam até alcançar aproximadamente 300 mg/L.

Este comportamento descrito acima da salinidade, permite concluir que as recargas do sistema aquífero estão principalmente associadas com a infiltração através das litologias arenosas nas áreas aflorantes. Grande parte da área confinada por rochas basálticas na porção centro - sul do compartimento corresponde a áreas de circulação das águas, em direção às zonas de descarga junto ao rio Uruguai.

Compartimento Leste

Este compartimento ocupa parte da área litorânea, do Planalto Basáltico e Encosta da Serra do Rio Grande do Sul, englobando parte das Sub-Províncias Planalto, Borda do Planalto, Botucatu Leste, Rosário, Lagunar Interna Norte e Oceânica de Hausman (1995). O limite entre os Compartimentos Central - Missões e Norte - Alto Uruguai é o Sistema de Falhas Dorsal do Canguçu, ao qual está associada à Falha do Leão. No Mapa de Contorno Estrutural do Topo do SAG foram utilizados os dados do topo da Unidade Hidroestratigráfica Botucatu na sua porção confinada.

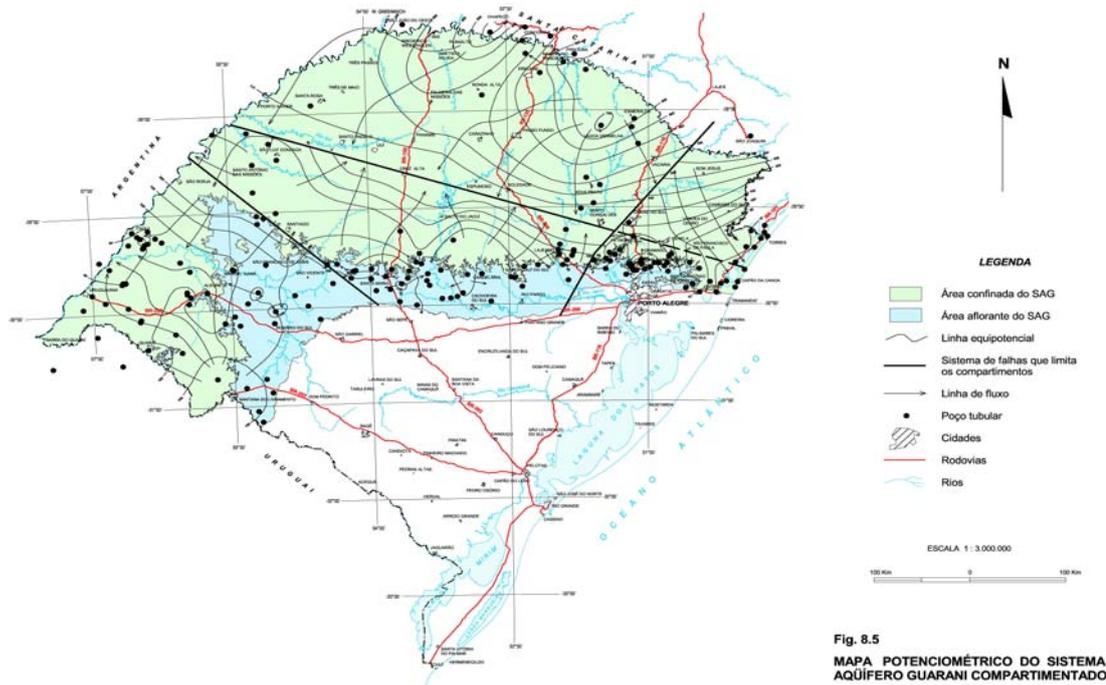


Figura 3. Mapa Potenciométrico do Sistema Aquífero Guarani, extraído de Machado (2005).

Apesar deste ser o menor compartimento estrutural do SAG, é possível distinguir pelo menos três áreas com comportamentos distintos:

1º) Na região nordeste do município de Caxias do Sul, as cotas do topo do SAG crescem substancialmente em direção ao município de São Joaquim (SC), passando de +100 m logo ao norte da cidade de Caxias para +600 m logo ao sul da cidade de São Joaquim (SC). À direita da extensão da Falha do Leão, a área de afloramento do SAG é muito estreita e ocupa as encostas erodidas do planalto basáltico, dificultando a recarga direta através das precipitações pluviométricas, que tendem a se transformar apenas em escoamento superficial.

A presença de cotas de topo tão elevadas para o SAG nessa região, confirma que existiram esforços de levantamento da Serra do Mar, tendo como consequência um levantamento do planalto basáltico em relação ao nível do mar. Como resultado, toda a região exhibe níveis positivos do topo

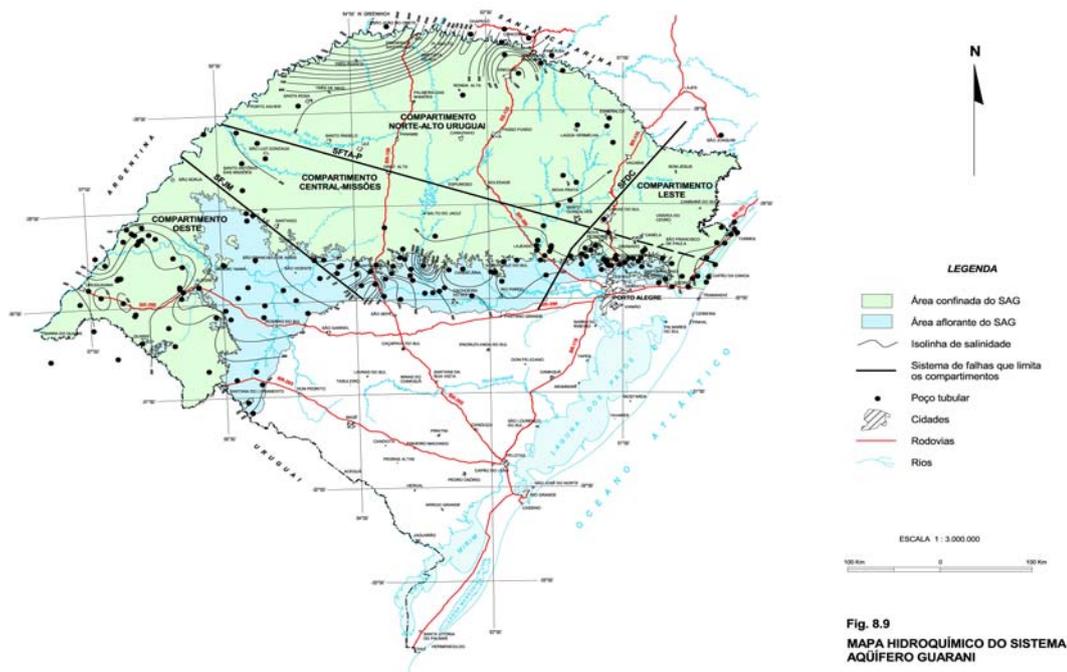


Figura 4. Mapa Hidroquímico do Sistema Aquífero Guarani, extraído de Machado (2005).

do SAG e altitudes do topo da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral que alcançam a mais de 1400 m acima do nível do mar.

2º) Da região que sai de Novo Hamburgo a Caxias do Sul destaca-se o município de Morro Reuter como o possuidor das maiores altitudes do topo SAG, quando alcança valores de +200 m. A partir deste município os valores diminuem radicalmente nas direções norte, sul, leste e oeste. Os menores valores, abaixo de +100 m entre Caxias do Sul e Morro Reuter, distribuem-se aproximadamente sobre a linha ocupada pelo Sistema de Falhas Terra de Areia - Posadas. Em praticamente toda a área abrangida entre os municípios de Ivoti até as proximidades do município de Santo Antônio da Patrulha, o topo do SAG ocupa regiões de encosta, sendo aflorante nos vales dos principais cursos de água de região, onde se podem ver influências que as estruturas tectônicas intrablocos possuem sobre o topo do SAG, quando, por exemplo, no município de Picada Café temos altitudes do SAG que variam entre +80 e +150 m.

3º) Para leste do município de Santo Antônio da Patrulha até as proximidades do município de Torres as altitudes das cotas do topo do SAG variam de 0 m até -200 m e são influenciadas predominantemente pelas falhas nordeste que controlam a construção da linha de costa. Ao norte de Capão da Canoa uma inflexão nas isolinhas de -200 m e -100 m marca a região onde passa o Sistema de Falhas Terra de Areia - Posadas. Em direção ao município de Torres, falhas noroeste alçam o topo do SAG, quando então apresenta cotas acima do nível do mar. Apesar da grande fragmentação intrablocos, a escala de trabalho e a densidade dos dados permitem apenas uma

cartografia baseada em linhas de contorno, o que não impede a interpretação das grandes variações como descontinuidades tectônicas.

O Mapa Potenciométrico do SAG (Figura 3) para este compartimento necessitou levar em consideração as ocorrências aflorantes do topo do SAG na região litorânea de Santa Catarina e a estimativa de nível estático no poço 1 - SJQ - 01 - SC da Petrobrás, que possui bem marcado o topo do SAG. O maior número de poços desse compartimento com dados piezométricos encontra-se nas porções sul e litorânea, onde ocorrem as menores espessuras de derrames basálticos. A grande quantidade de vales nos principais cursos da água proporciona o afloramento da Unidade Hidroestratigráfica Botucatu, tanto em locais próximos ao município de Caxias do Sul, fachada leste da unidade Hidroestratigráfica Serra Geral próximo ao litoral e na base dos *canyons* nas proximidades dos limites entre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina. O comportamento potenciométrico nesse compartimento é muito semelhante ao estabelecido pelo contorno estrutural do topo do SAG.

Na porção nordeste do compartimento entre os municípios de Caxias do Sul (RS) e São Joaquim (SC) o nível potenciométrico varia de +150 m a valores que superam a +500 m, com um gradiente de 6,4 m/km e contrasta com os valores obtidos de Araújo *et al.* (1995, 1999) que indica para a região de Caxias do Sul um nível potenciométrico de +300 m. As linhas de fluxo estão limitadas pelo falhamento nordeste correspondente à Falha do Leão indicando que a recarga está associada com o alto relacionado com a região de São Joaquim. A distância percorrida pela água associada ao gradiente potenciométrico e a profundidade de ocorrência do SAG proporcionam que neste compartimento possa ocorrer águas termais. Na região do município de Morro Reuter, também acompanhando as feições de contorno estrutural do SAG as curvas de igual carga hidráulica apresentam um formato ovalado de direção aproximadamente leste-oeste, com as linhas de fluxo em direção norte-sul-leste-oeste dirigindo-se aos cursos de água da região (rios Caí e Sinos predominantemente). Como a recarga se dá através da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral, nesta área apesar da posição topo-estrutural desfavorável da Unidade Hidroestratigráfica Botucatu é possível encontrar-se poços produtivos nela.

De acordo com o Mapa Potenciométrico do SAG (Figura 3) é possível verificar-se que a área regional de descarga do SAG está relacionada na região litorânea com as mesmas feições estruturais controladoras do topo do sistema aquífero. Desse modo, não se levando em consideração a divisão em blocos influenciados pelas estruturas tectônicas localizadas é possível admitir-se que as linhas de fluxo sigam gradiente sudeste, indo descarregar suas águas na região litorânea onde ocorre importante cordão de lagoas (Lagoa dos Barros, Quadros e Itapeva).

Através do Mapa Hidroquímico do SAG (Figura 4) observa-se que os dados de análise de água estão mais restritos a porção sul do compartimento, na interface entre a área aflorante e aquela confinada pela Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral. Outra área que apresenta dados significativos relacionados com a qualidade química do sistema aquífero situa-se na porção leste do compartimento, correspondente à região do litoral. No restante da área confinada pelos derrames, praticamente inexitem perfurações no SAG e por extensão análises químicas de suas águas.

Nas regiões que possuem dados observa-se que os valores de salinidade, em geral são superiores a 200 mg/L. No litoral os valores variam de 200 mg/L a mais de 300 mg/L, indicando que os fluxos estão em direção à linha de costa.

Na região sul do compartimento também predomina os valores entre 200 mg/L e 300 mg/L, com pequenas variações para mais, quando alcançam valores superiores a 500 mg/L, por influência de águas que ocorrem em maior profundidade. Poços com valores de STD inferiores a 100 mg/L são raros e encontram-se unicamente na porção aflorante.

Compartimento Norte – Alto Uruguai

Este compartimento ocupa integralmente a área geomorfológica do Planalto do Rio Grande do Sul, fazendo parte das Sub-Províncias Planalto e Borda do Planalto da Província Basáltica de Hausman (1995). O limite com o Compartimento Leste se dá através da Falha do Leão (Sistema de Falhas Dorsal de Canguçu) e com o Compartimento Central - Missões através do Sistema de Falhas Terra de Areia - Posadas.

Três situações são especialmente importantes na caracterização estrutural deste compartimento: a) entre os municípios de Lagoa Vermelha e Esmeralda são encontrados os valores de cota de topo do SAG próximos do nível do mar; b) do mesmo modo entre Aratiba (RS) e Concórdia (SC) são encontrados valores entre 0 (zero) e superiores a + 100 m; c) no restante da área predominam os valores negativos de cota do topo do SAG.

Neste compartimento pode-se observar que uma das principais áreas com cotas positivas do topo do SAG está relacionada com a região a norte de Esmeralda. É também em direção nordeste que alcança valores positivos muito elevados para o topo do SAG, quando no município de Lages (SC), o sistema aquífero possui altitudes superiores a 800 m. Esta situação apresenta a ocorrência de mergulhos acentuados para o topo do SAG, que apresenta a sua feição estrutural correlacionada com os eventos tectônicos e intrusivos formadores da estruturação dômica deste município catarinense.

Na divisa norte, entre os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, os municípios de Aratiba (RS), Marcelino Ramos (RS), Concórdia (SC) e Seara (SC) também apresentam uma feição de alto estrutural, com valores positivos para o topo do SAG, superiores a +100 m em Concórdia (SC). Ao contrário da área anteriormente descrita, aqui não existe influência do Domo de Lages (SC) na estruturação do topo do SAG.

No restante da área centro-oeste do compartimento, os dados de poços são escassos devido as grandes profundidades em que se encontra o SAG, o que torna a sua perfuração mais onerosa e de maiores dificuldades operacionais. Entretanto, os dados relativos ao topo do SAG mostram-se coerentes, segundo um sentido leste - oeste, onde os valores do topo decrescem de -100 m nas proximidades da Falha do Leão, para -800 m entre o município de Santa Rosa e o rio Uruguai.

O Mapa Potenciométrico do SAG (Figura 3) foi traçado basicamente através dos dados de nível estático dos poços tubulares profundos perfurados por empresas privadas para fins industriais e para o setor de estâncias hidrotermais. Os poços estratigráficos perfurados pela Petrobrás e Paulipetro, não possuem seus níveis estáticos medidos, exceção feita aos poços para pesquisa de petróleo onde ocorreu o fenômeno de artesianismo.

A configuração do traçado das linhas de fluxo neste compartimento mostra claramente duas regiões de onde estes fluxos partem, seguindo um sentido predominantemente norte – sul com o final de seu trajeto na zona influenciada pelo Sistema de Falhas Terra de Areia - Posadas e em menor proporção à extensão nordeste da Falha do Leão. Percebe-se claramente que esta divisão de fluxos hidrodinâmicos está condicionada por uma estruturação tectônica de direção nordeste, e segundo a interpretação de Zalán *et al.* (1990, 1991), deve ser correlacionada à porção mais meridional do Sistema de Falhas Lancinha - Cubatão.

Na porção oriental desta estrutura ocorrem fenômenos de artesianismo surgente em poços de águas termais, onde as temperaturas da água são superiores a 38 °C, proporcionando a exploração do turismo através de estâncias hidrotermais. Os níveis estáticos que nas imediações de Lages (SC) estão próximos a +800 m, no Rio Grande do Sul situam-se entre +700 e +600 m na divisa estadual e abaixo de +100 m junto ao Sistema de Falhas Terra de Areia - Posadas ao sul. O gradiente hidráulico médio em direção ao sul é de 7 m/km.

Entre a região oeste de Piratuba (SC), Concórdia (SC) e Seara (SC) na divisa com o Rio Grande do Sul, acompanhando as condições estruturais do topo do SAG que se encontra em cotas positivas, os níveis potenciométricos apresentam-se mais profundos, impossibilitando que nesta área possam ser perfurados poços surgentes e proporcionando que ela se comporte como um baixo térmico.

A partir da cidade de Chapecó (SC), os fluxos tomam a direção do rio Uruguai e ao sul, junto ao Sistema de Falhas Terra de Areia - Posadas. As curvas de igual pressão variam de +600 m a pouco menos de +100 m ao sul da cidade de Santa Rosa, com um gradiente hidráulico de 2,8 m/km.

As curvas potenciométricas de +400 a +200 m que são seccionadas pela calha do rio Uruguai proporcionaram que através de fraturas profundas, várias fontes de águas termais aflorassem nas margens desse rio, sendo mais famosa a que é captada na Estância Hidrotermal de Irai.

Pela observação do Mapa Hidroquímico do SAG (Figura 4) constata-se que os menores valores de STD estão próximos de 400 mg/L e os maiores ultrapassam a 3500 mg/L.

A distribuição de dados de análises químicas de água é bastante heterogênea, com maior quantidade de dados na divisa entre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Em parte esta situação pode ser explicada pelo fato de que, neste compartimento, o SAG está totalmente confinado pela Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral, cuja espessura que localmente ultrapassa a 1200 m, dificulta sobremaneira a perfuração de novos poços tubulares.

Os menores valores de STD correspondem a áreas onde existe recarga indireta através de litologias vulcânicas onde seus níveis potenciométricos e fraturamento profundos propiciam o fluxo descendente. Por outro lado, alguns poços apresentam salinidade crescente a partir dessas áreas por acréscimo de sais devido ao maior trânsito das soluções. Na porção limítrofe com o Estado de Santa Catarina, o acréscimo de sais pode estar associado com o fato de que localmente existe uma grande diminuição da espessura do SAG, com grande parcela da água originando-se da captação da Unidade Hidroestratigráfica Rio do Rasto, como pode ser constatado no poço SJO - 01 - CORNER, na cidade de São João do Oeste (SC).

Compartimento Central - Missões

Este compartimento ocupa parte da área conhecida como região das Missões, Borda Sul do Planalto Basáltico e Depressão Central do Rio Grande do Sul, fazendo parte das Sub-Províncias do Planalto, Borda do Planalto e Rosário de Hausman (1995). Os limites desse compartimento estão bem demarcados pelas predominâncias à leste das direções de fraturamento nordeste e o Sistema de Falhas Dorsal de Canguçu (Falha do Leão) e à oeste pelo Sistema de Falhas Jaguari - Mata, associado a fraturamentos de direção noroeste.

No Mapa de Contorno Estrutural do Topo do SAG (Figura 2) estão traçadas as isolinhas que unem as cotas do contato entre as litologias arenosas da Unidade Hidroestratigráfica Botucatu com as litologias vulcânicas da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral. É possível observar que existe um condicionamento particular na região das Missões, devido a efeitos de estruturação tectônica,

que em face de pequena distribuição de dados na porção confinada desse compartimento, não permite uma melhor individualização.

As altitudes do SAG na zona das Missões do Compartimento Central - Missões variam entre + 106 m no poço G 1636 SLU 5, da cidade de São Luiz Gonzaga e - 76 m no poço estratigráfico da Petrobrás (2 - IT - 1 - RS), na cidade de Santiago. O formato das curvas indica uma tendência de mergulho do SAG em várias direções a partir do um topo de + 106 m no município de São Luiz Gonzaga. O gradiente é suave de aproximadamente 5,3 m/km, com queda mais abrupta em direção ao Sistema de Falhas Terra de Areia - Posadas. Da região das Missões até o município de Teutônia no vale do rio Taquari, são observados nesse compartimento mergulhos do topo do SAG em direção ao norte até o limite do Sistema de Falhas Terra de Areia - Posadas. Esses mergulhos variam de 5,45 m/km na porção mais próxima da zona das Missões e de 6,7 m/km ao norte do município de Santa Cruz do Sul. As altitudes do topo do SAG variam de +200 m na região da escarpa dos derrames, decrescendo para valores abaixo da cota do nível do mar nas proximidades do Sistema de Falhas Terra de Areia - Posadas. A análise do Mapa de Contorno Estrutural do Topo do SAG (Figura) também evidencia um baixo estrutural na região do município de Nova Palma, devido a intersecção de duas direções (noroeste e nordeste) principais de fraturamento, que a partir dessa área tornam-se respectivamente dominantes à oeste e à leste. Esta conformação estrutural proporcionou que este compartimento apresente melhores condições de produtividade para os arenitos da Unidade Hidroestratigráfica Botucatu na zona das Missões, no município de Nova Palma e no Vale do Taquari, quando correlacionados com aqueles obtidos na região da escarpa do Planalto, como p. ex., nos municípios de Santa Maria, Mata e Silveira Martins.

Na região do município de Montenegro, sul e norte dos municípios de Bom Retiro do Sul, Venâncio Aires e Taquari respectivamente, os arenitos da Unidade Hidroestratigráfica Botucatu encontram-se aflorantes e mostram uma morfologia muito típica de morros testemunhos, com os topos escarpados preservados da erosão. A altitude destes morros testemunhos não raras vezes ultrapassa os 200 m, de modo que estes arenitos eólicos não apresentam importância hidrogeológica.

O Mapa Potenciométrico do SAG (Figura 3) utiliza os valores de cotas de nível estático relacionados unicamente com os poços que captaram a Unidade Hidroestratigráfica Botucatu, já que na área confinada pela Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral quase todos os poços foram concluídos na porção superior do sistema aquífero. Na área de afloramento foram utilizados os valores de nível estático das restantes unidades hidroestratigráficas.

Pela interpretação dessas curvas de igual pressão constata-se inicialmente que existe uma grande descontinuidade entre os níveis de água no aquífero confinado pelos derrames e aqueles

representados pelo afloramento das unidades aquíferas que estão abaixo da Unidade Hidroestratigráfica Botucatu.

De modo semelhante ao que ocorre com as curvas obtidas no Mapa de Contorno Estrutural do SAG, a conformação das curvas potenciométricas acompanha de maneira aproximada os mergulhos relacionados com a interface vulcânicas - arenitos. Assim, nesse caso os valores de pressão hidrostática acompanham o mergulho das camadas sedimentares em direção norte, sendo que os valores variam de + 300 m até aproximadamente o nível do mar, indicando que a recarga do SAG se processa nas regiões ao sul, nas proximidades da Escarpa do Planalto. As linhas de fluxo dirigem-se ao Sistema de Falhas Terra de Areia - Posadas, demonstrando ser esta estrutura tectônica a principal área de descarga desta porção central do SAG.

Dentro desse compartimento a Zona das Missões, destaca-se por possuir as curvas de igual pressão em um formato semicircular, acompanhamento de maneira aproximada a estrutura do topo do SAG já determinada nos mapas de contorno estrutural anteriormente citados. Nesse caso as linhas de fluxo são divergentes a partir dos municípios de Santo Antônio das Missões e São Luiz Gonzaga, dirigindo-se ao Sistema de Falhas Terra de Areia - Posadas e a noroeste em direção ao rio Uruguai. Na fronteira entre a Argentina e o Rio Grande do Sul, os valores de cota do nível estático (NE) próximo a + 50 m configuram uma das áreas de descarga do sistema aquífero.

O exame das curvas de contorno estrutural e potenciométrica do SAG sugerem a influência de estruturas tectônicas sobre as suas formas, evidenciando a diferença entre setores dentro de um mesmo compartimento. No caso específico da Zona das Missões dentro do Compartimento Central é possível observar que entre o poço estratigráfico 2 - IT - 01 - RS da Petrobrás e a cidade de Santiago existem uma descontinuidade estrutural e potenciométrica de direção nordeste que caracteriza o Sistema de Falhas Lancinha - Cubatão, interpretado através de métodos geofísicos por Zalán *et al.* (1986,1990).

De modo semelhante através da comparação das curvas de contorno estrutural e potenciométrica pode ser definido o local exato onde inicia o predomínio das direções nordeste e noroeste dos sistemas de falhas que compartimentam o SAG. Este local ocupa a reentrância morfológica dos derrames vulcânicos na região dos municípios de Nova Palma e Dona Francisca. Outras regiões podem ser afetadas em nível mais localizado por estruturas pertencentes aos grandes sistemas de falhas que delimitam os compartimentos, como ocorre nas regiões entre os municípios de Estrela e Encantado e também no município de Sobradinho, onde um poço tubular apresentou o topo da Unidade Hidroestratigráfica Botucatu muito acima dos valores esperados, tendo em conta o seu contato com a Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral nestas regiões. Estas ocorrências de nível mais localizado não influenciam a interpretação e caracterização global dos compartimentos,

sendo inviáveis de serem tratadas em uma escala regional que abrange toda a área do SAG no Rio Grande do Sul.

A porção aflorante do SAG apresenta uma distribuição de cargas potenciométricas que não possui conexão hidráulica com a porção confinada descrita anteriormente. De um modo geral os fluxos de água das unidades hidroestratigráficas nesta área dirigem-se para os principais cursos de água da região, sendo estes as mais importantes áreas de descarga desta porção do compartimento. Ao contrário do que ocorre na porção confinada, onde o nível de água corresponde basicamente aos fluxos da Unidade Hidroestratigráfica Botucatu, na porção aflorante os níveis são resultantes das médias das cargas hidráulicas das unidades hidroestratigráficas atravessadas pelas perfurações.

Pelo Mapa Hidroquímico do SAG (Figura 4) observa-se que existe uma grande heterogeneidade dos dados de análises químicas entre as áreas aflorantes e as confinadas. Também ocorre uma grande diferença entre os valores de STD entre as áreas aflorantes e as confinadas.

Nas áreas confinadas pela Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral predominam poços que captam quase exclusivamente a Unidade Hidroestratigráfica Botucatu. Devido às condições de recarga, de porosidade e permeabilidade das litologias arenosas eólicas, os valores de STD são em média 200 mg/L, com tendência de aumento da salinidade em direção ao Sistema de Falhas Terra de Areia - Posadas.

Nas áreas aflorantes os valores mínimos de STD estão abaixo de 100 mg/L junto ao Sistema de Falhas Jaguari - Mata e os valores máximos superam a 6000 mg/L, no município de Agudo, na região central do estado. As grandes diferenças entre os valores máximos e mínimos são devido a dois fatores: 1º) o tempo de residência das águas em alguns aquíferos como, p. ex., as Unidades Hidroestratigráficas Passo das Tropas 1 e 2 ; 2º) a captação na região aflorante de unidades hidroestratigráficas com diferentes concentrações salinas como, p. ex., as Unidades Hidroestratigráficas Passo das Tropas e Pirambóia, que não estão conectadas hidráulicamente.

CONCLUSÕES

O Sistema Aquífero Guarani no estado do Rio Grande do Sul apresenta-se subdivido em pelo menos quatro grandes compartimentos, que são denominados de: Oeste, Leste, Norte-Alto Uruguai e Central-Missões.

No Compartimento Oeste, o topo do sistema aquífero mergulha predominantemente na direção oeste e as linhas de fluxo dirigem-se principalmente para as grandes drenagens, sendo que a direção principal do fluxo das áreas confinadas é em direção ao rio Uruguai na divisa com a Argentina. Em direção ao Uruguai os fluxos de água são inexpressivos.

O conteúdo de sais (STD) é muito baixo nas áreas aflorantes, variando predominantemente entre 50 e 200 mg/L. Nas áreas confinadas estes valores aumentam e situa-se entre 200 e 400 mg/L.

No Compartimento Leste, o topo do sistema aquífero mergulha na direção sul e as linhas de fluxo nesse compartimento estão predominantemente direcionadas para sul e sudeste, onde estão as áreas de afloramento. Entretanto, não podem ser considerados como contínuos os fluxos, pois os vários falhamentos localizados podem truncar a continuidade das camadas aquíferas. Somente os fluxos não capturados pelas drenagens superficiais alcançam as áreas de descarga na zona litorânea.

Com relação ao conteúdo de sais (STD), os poços perfurados apresentam valores entre 200 e pouco mais de 300 mg/L. Esse compartimento caracteriza-se pela insuficiência de dados químicos para a área confinada pelas grandes espessuras de derrames, desconhecendo-se o conteúdo de sais do SAG nessas áreas.

O Compartimento Norte - Alto Uruguai, o grande mergulho do sistema aquífero é na direção oeste e as linhas de fluxo dirigem-se do nordeste do compartimento, na região de Lagoa Vermelha, e do norte do estado (já nas proximidades da cidade de Chapecó em Santa Catarina) para a região sul, onde se situa o Sistema de Falhas Terra de Areia - Posadas. Apenas pequena parte do fluxo, na região noroeste alcança o limite do Estado do Rio Grande do Sul e a Argentina, sendo que as áreas de descarga devem situar-se também junto da calha do rio Uruguai.

Com relação ao conteúdo de sais (STD), o estudo de sua distribuição em área é dificultado pelo escasso número de perfurações profundas e análises químicas de água. Entretanto, com o compartimento é totalmente confinado são esperadas grandes mineralizações nas águas. Os valores correspondentes a maiores salinidades, variam de 800 a mais de 3500 mg/L. Em áreas de menor cobertura os valores situam-se entre 400 e 500 mg/L.

No Compartimento Central – Missões, o mergulho do sistema aquífero é predominantemente na direção norte e as linhas de fluxo na região central do compartimento dirigem-se para o Sistema de Falhas Terra de Areia - Posadas ao norte. Na região das Missões parte dos fluxos dirige-se para a calha do rio Uruguai. Nas áreas aflorantes os fluxos dirigem-se para as principais drenagens superficiais. As características das áreas de recarga e descarga do SAG nesse compartimento não permitem classificá-lo como um aquífero transfronteiriço.

Com relação ao conteúdo de sais (STD), os poços construídos na porção confinada e que captam as litologias da Unidade Hidroestratigráfica Botucatu, possuem valores médios de 200 mg/L. Quando captam litologias da Unidade Hidroestratigráfica Passo das Tropas 2 a salinidade aumenta significativamente. Nas áreas aflorantes, a variação do conteúdo de sais é mais acentuada,

com os valores de STD abaixo de 100 mg/L aumentando para mais de 6000 mg/L, dependendo da unidade hidroestratigráfica captada ou sua posição no trajeto recarga - circulação - descarga.

As condições estruturais e potenciométricas do SAG nesse compartimento fazem com que não se comporte como um aquífero transfronteiriço, pois existe uma falta de continuidade hidráulica com as litologias presentes nos países limítrofes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida F. F. M. 1981. Síntese sobre a tectônica da Bacia do Paraná. *In: SBG, Simp. Reg. de Geol.*, 1, *Atas*, p.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*. UFPR/PETROBRÁS, Curitiba, 16 pp. e anexos.
- Araújo L. M., França A. B., Potter P. E. 1999. Hydrogeology of the Mercosul aquifer system in the Paraná and Chaco-Paraná Basins, South America, and comparison with the Navajo-Nugget aquifer system, USA. *Hydrogeology Journal*, **7**(3):317-336.
- Fúlfaro V. J., Saad A. R., Santos M. V., Viana R. B. 1982. Compartimentação e evolução tectônica da Bacia do Paraná. *Rev.Bras.Geoc.*,**12** (4): 590 - 611.
- Hausman, A. 1965 Esboço Hidrogeológico do Rio Grande do Sul. *In: UFRGS. Centro Acad. Est de Geol.. Semana de Debates Geológicos*. p. 37 -71.
- Hausman, A. 1995. Províncias Hidrogeológicas do Rio Grande do Sul. *Acta Geologica Leopoldensia*. Série Mapas, **2**.
- Machado, J. L. F. 2005 Compartimentação Espacial e Arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar. Unisinos. São Leopoldo, RS. 237 p. ilustr.
- Zalán P. V., Conceição J. C. J., Wolf S., Astolfi M. A. M., Vieira I. S., Appi V. T., Neto E. V. S., Cerqueira J. S., Zanotto O. A., Paumer M. L., Marques A. 1986. *Análise da Bacia do Paraná*. PETROBRÁS/DEPEX/CENPES, Rio de Janeiro, 172 pp. (Relatório GT – OS – 009/25)
- Zalán P. V., Wolf S., Conceição J. C. L., Astolfi A. M., Vieira I. S., Appi V. T., Zanotto O. A., Marques A. 1991. Tectonics and Sedimentation of Paraná Basin. *In: International Gondwana Symposium, 7, Proceedings*, p. 83 - 117.

Zalán 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.