

## **Avaliação do Potencial Hidrogeológico, Vulnerabilidade Intrínseca e Hidroquímica do Sistema Aquífero Serra Geral no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul**

**Marcos Alexandre de Freitas e Raquel Barros Binotto**

*CPRM - Serviço Geológico do Brasil - Superintendência Regional de Porto Alegre  
marcos@pa.cprm.gov.br; rbinotto@pa.cprm.gov.br*

**Arthur Schmidt Nanni**

*Universidade Federal de Santa Catarina  
arthur.nanni@gmail.com*

**Ana Lúcia Mastrascusa Rodrigues**

*Departamento de Qualidade Ambiental - FEPAM/RS  
analmr@fepam.rs.gov.br*

**Carlos Ronei Bortoli**

*Profill Engenharia e Ambiente  
carlos@profill.com.br*

*Recebido: 23/07/09 - revisado: 07/07/10 - aceito: 20/03/12*

---

---

### **RESUMO**

*O comportamento hidrogeológico e hidroquímico de uma dada região subordina-se a algumas considerações específicas, as quais irão determinar que papel a água subterrânea desempenha dentro do ciclo hidrológico regional. O parâmetro fundamental é a constituição geológica da área. Os tipos litológicos existentes e a atividade tectônica desenvolvida sobre eles definirão os aquíferos, sua posição e inter-relação, características hidroquímicas e possibilidade de aproveitamento. A constituição morfológica da área, sua topografia e rede de drenagem irão fornecer dados com relação à capacidade de infiltração, tempo de residência das águas, áreas de recarga e de descarga dos aquíferos. Neste contexto, este artigo avalia o potencial hidrogeológico, a vulnerabilidade intrínseca e os tipos hidroquímicos das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral utilizadas para abastecimento humano de pequenas comunidades rurais em regiões de criação de suínos no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, bem como indica as áreas mais ou menos vulneráveis à contaminação. Os resultados obtidos espacializam uma zona, na área de estudo, com potencial hidrogeológico muito bom e vulnerabilidade intrínseca do aquífero baixa a moderada, contraposta a zonas com potencial hidrogeológico variando de bom a pobre e vulnerabilidade intrínseca do aquífero moderada a alta. Os tipos hidrogeoquímicos principais identificados contemplam águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e águas bicarbonatadas sódicas.*

**Palavras-chave:** *hidrogeologia, hidroquímica, Sistema Aquífero Serra Geral, Rio Grande do Sul.*

---

---

### **INTRODUÇÃO**

No período de junho de 2002 a junho de 2006 foi desenvolvido o Projeto “Monitoramento da Qualidade das Águas nas bacia hidrográficas dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo, que se inserem na Unidade de Planejamento e Gestão (U30), Região Hidrográfica do Uruguai/RS, como subsídio à gestão de recursos hídricos e ao controle

ambiental”, sob a coordenação da Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM/RS), no qual se inserem os resultados apresentados e discutidos no decorrer do presente artigo (FEPAM, 2003a, b, c).

A área de estudo (U30) contempla uma área de aproximadamente 10.900 km<sup>2</sup> situada no extremo noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, na Região Hidrográfica do Uruguai (Figura 1), que engloba as bacias dos rios Amandaí, Buricá, Comandaí, Lajeado Grande, Santo Cristo, Santa

Rosa, Turvo e outros afluentes menores que drenam diretamente para o rio Uruguai.

O retângulo envolvente da área de estudo tem como limites geográficos os paralelos 27°05' e 28°15' e meridianos 53°20' e 55°25'. Abrange total ou parcialmente territórios de cinquenta e sete municípios.

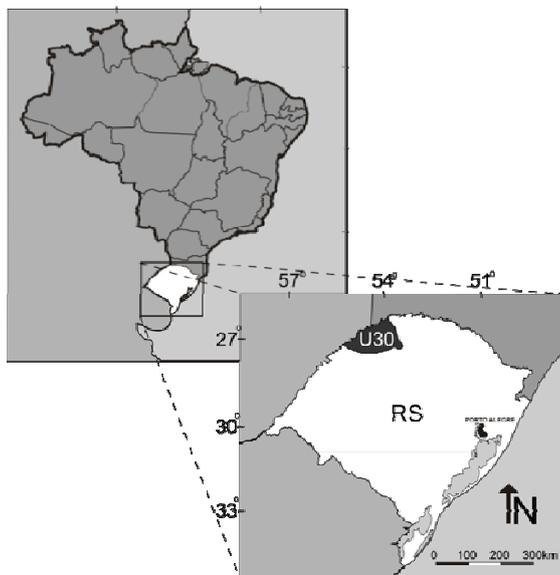


Figura 1 - Localização da área de estudo.

## HIDROGEOLOGIA

O entendimento do comportamento hidrogeológico e hidroquímico de uma dada região é fundamental para sua gestão e adequabilidade ao uso, seja ele consumo humano, industrial, irrigação ou dessedentação animal.

Hausman, em 1962, elaborou um dos primeiros trabalhos de hidrogeologia regional para o estado do Rio Grande do Sul, tendo culminado no Mapa de Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Segundo este autor, a região onde se insere a área de estudo é denominada Província Basáltica, mais precisamente Sub-Província Planalto.

Atualmente, considera-se que a área de estudo pertence ao compartimento geológico da Bacia do Paraná, mais especificamente à Formação Serra Geral e formações subjacentes. Desta forma, existem dois domínios aquíferos distintos na região em estudo: o Sistema Aquífero Guarani (SAG) e o

Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). O primeiro encontra-se confinado em profundidades da ordem de 1.000 metros, desempenhando papel de reserva estratégica na região, enquanto que o segundo é o aquífero mais acessível e largamente utilizado na bacia hidrográfica.

As rochas vulcânicas da Formação Serra Geral afloram sobre cerca de 800.000 km<sup>2</sup> na Bacia do Paraná e apresentam grande importância hidrogeológica, principalmente no sul do Brasil, decorrente da elevada explotabilidade das suas zonas aquíferas. As águas subterrâneas são exploradas por intermédio de poços tubulares e captações de fontes, com vazões variando entre 1 e 220 m<sup>3</sup>/h (Rebouças & Fraga, 1988), sendo usadas para consumo humano, industrial, pastoril e também para balneabilidade.

O SASG (Machado *et al.*, 2005) constitui, portanto, um meio aquífero heterogêneo e anisotrópico, com as condições de armazenamento e circulação da água restritas às descontinuidades das rochas como falhas, fraturas, juntas, zonas de dissolução, etc.

Möbus (1987), adotando técnicas de análise de agrupamento e análise fatorial, estudou o comportamento hidrogeológico do aquífero fraturado na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Sua pesquisa abrangeu uma área limitada a oeste pela cidade de Porto Lucena, a leste por Santo Augusto, a sul por Guarani das Missões e a norte por Tuparendi. Na análise estrutural e hidrogeológica foi empregada a técnica de agrupamento de dados “*cluster analysis*” físico-químicos e hidrodinâmicos de poços tubulares, como ferramenta auxiliar na caracterização hidrogeológica da área estudada. Foram analisados sessenta e oito poços tubulares, basicamente da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), caracterizados por sete variáveis: número de entradas d’água, profundidade da última entrada d’água, descarga específica, pH, razão Cl/HCO<sub>3</sub>, sólidos totais e espessura do manto de alteração. Tal análise resultou na obtenção de cinco grupos diferentes.

Lisboa (1996) apresentou os resultados do tratamento de dados geoquímicos de águas subterrâneas pertencentes ao SASG no Rio Grande do Sul. Foram descritas três unidades hidrogeológicas: Abóbada Oeste Aplainada, localizada entre os rios Ibicuí e Quarai, Abóbada Central Den-sadamente Dissecada, na bacia do Alto Uruguai; Fachada Atlântica Dissecada, nas bacias do Rio Caí e Antas (Figura 2).

Verificou-se a presença de águas de intemperismo das rochas vulcânicas nos três compartimentos, as quais são geralmente bicarbonatadas cálcicas. Na Abóbada Oeste também foi caracterizada a existência de uma fácies de intemperismo bicarbonatada magnesiana, relacionada ao longo tempo de residência. Nos três compartimentos, foi observada a ocorrência de águas bicarbonatadas sódicas, cuja origem é explicada pela mistura de águas de intemperismo das rochas vulcânicas com águas ascendentes do Aquífero Botucatu (Sistema Aquífero Guarani – SAG). Mais precisamente na área da Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo, o mesmo autor cita que o relevo é densamente dissecado, com manto de alteração descontínuo e pouco espesso, os vales são entalhados e profundos determinando uma condição de baixa altitude. Este fato, associado à presença em subsuperfície do Arco de Lagoa Vermelha, favorecem a elevação do nível potenciométrico do SAG, o que gera um fluxo profundo ascendente do arenito para o basalto, causando um armazenamento nas fraturas do basalto de águas originadas no aquífero poroso subjacente.



Figura 2 - Domínios hidrogeológicos do SASG no Rio Grande do Sul (Lisboa, 1996).

Mais recentemente, Nanni (2008) definiu seis fácies hidroquímicas no SASG no estado do Rio Grande do Sul: bicarbonatadas cálcicas; bicarbonatadas sódicas; bicarbonatadas e sulfatadas com flúor; sulfatadas sódicas; sulfatadas e sódicas fluoretadas. A área de estudo (U30) insere-se na fácies bicarbonatada sódica.

Além do estabelecimento dos tipos hidroquímicos, a definição da vulnerabilidade natural dos aquíferos configura-se como ferramenta auxiliar na gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Segundo Foster (2007), a expressão vulnerabilidade à poluição dos aquíferos passou a ser utilizada de forma intuitiva a partir do início de 1980 - inicialmente na França. Desde o final dos anos 80, houve várias tentativas de formalizar a definição da expressão e desenvolver sistemas de mapeamento relacionados (DRASTIC, GOD, SINTACS, etc.). Todos tentaram representar processos complexos de forma simplificada, cientificamente embasados, mas envolvendo fatores diversos, aplicando graus de simplificação e subjetividade diversos.

Nanni *et al.* (2005) estabeleceram a vulnerabilidade natural e o risco de contaminação pela atividade suinícola do SASG em bacias piloto da U30, através da análise das características físicas do aquífero e da produção suinícola, sistematizadas em matrizes de definição de pesos e valores.

Neste contexto, o presente artigo objetiva descrever o potencial hidrogeológico e os tipos hidroquímicos das águas subterrâneas que ocorrem na área de estudo (U30), bem como indicar a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação.

As águas do SASG estão condicionadas a fatores de ordem genética e tectônica. O primeiro fator é condicionante intrínseco da permeabilidade horizontal, enquanto o segundo condiciona as permeabilidades verticais, condutores hidráulicos, às quais interconectam as estruturas aquíferas interderrames aquíferos associados a outras formações geológicas da bacia do Paraná.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar o estudo do potencial hidrogeológico foram compilados dados existentes de poços tubulares profundos perfurados pela CORSAN, pelo Programa de Açudes e Poços da Secretaria de Obras Públicas (PAP/SOPS/RS), pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e pela empresa

de perfuração Formobra de Santa Rosa na área de estudo, em um total de 302 poços.

Tais dados contemplaram informações sobre litologias atravessadas durante a perfuração de cada poço, nível estático, nível dinâmico, vazão, rebaixamento, entradas de água, etc., as quais compuseram um banco estruturado em Microsoft Access™.

Adicionalmente, para dar suporte à interpretação estrutural, foram traçados os lineamentos morfoestruturais da área de estudo através de análise visual de imagens do sensor LANDSAT-7 e mosaico de RADAR do Projeto RadamBrasil na escala 1:250.000, adotando o princípio da não inferência (Schuck *et al.*, 1986).

O traçado dos lineamentos morfoestruturais possibilitou gerar o mapa de densidade de fraturas da área de estudo, através do programa Rockworks™. Este mapa representa a razão entre o comprimento acumulado dos lineamentos e a área das células. A grade foi gerada a partir de células com dimensão de 2,5 x 2,5 km e 1.280 lineamentos.

A partir dos dados dos poços tubulares levantados se procedeu ao tratamento estatístico básico contemplando os parâmetros profundidade, quantidade de revestimento, profundidade da última entrada d'água, vazão e vazão específica.

As informações geológicas, geomorfológicas, estruturais, coletadas através da pesquisa bibliográfica e trabalhos sistemáticos, aliadas aos dados existentes dos poços tubulares e ao tratamento estatístico básico dos dados, permitiram elaborar um mapa do potencial hidrogeológico da área de estudo, na escala 1:250.000.

A avaliação da qualidade da água subterrânea foi realizada a partir da compilação de 155 análises sendo 127 análises físico-químicas do Laboratório da CORSAN e 28 físico-químicas e bacteriológicas do laboratório da UNIJUÍ. As análises da CORSAN mostraram-se na maioria das vezes completas, principalmente em termos de cátions e ânions principais. As da UNIJUÍ apresentam somente o pH, dureza total, alcalinidade a fenolftaleína, alcalinidade total, cloretos, ferro total, e coliformes totais e fecais.

Para o estudo da qualidade das águas subterrâneas foi considerada somente uma análise por poço, sempre a mais completa e mais recente. Adotou-se o estudo clássico de hidroquímica visando os diferentes tipos geoquímicos de águas subterrâneas existentes na área de estudo com o uso do programa Qualigraf™.

Os tipos geoquímicos das águas do SASG foram determinados através do gráfico de Piper,

plotando-se os percentuais de miliequivalentes dos principais cátions e ânions.

Com relação à vulnerabilidade à contaminação, a mesma é considerada uma propriedade intrínseca do meio aquífero e depende das suas características hidrogeológicas. Na qualidade de fraturado, o aquífero Serra Geral possui capacidade de armazenar água apenas nas fraturas, sejam elas associadas às superfícies de contato entre derrames, a processos secundários como juntas de resfriamento das rochas ou, ainda, à atividade tectônica. A escolha do modelo a ser utilizado recaiu em uma adaptação do Método GOD (Foster & Hirata, 1993). Assim, os parâmetros selecionados para a determinação da vulnerabilidade à contaminação foram: (i) densidade de fraturamento; (ii) declividade do terreno; e (iii) tipo e espessura de solo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Potencial Hidrogeológico e Vulnerabilidade Intrínseca

A profundidade dos poços inventariados (Tabela 1) varia de 21,5 a 470 m, com média de 131,5 m e mediana 126 m, predominando as profundidades entre 100 e 150 m. A quantidade média de revestimento colocada nos poços, que normalmente reflete a espessura do manto de alteração, gira em torno de 15 metros. A estatística da profundidade da última entrada d'água (PUEA), com média de 76,86 m e mediana de 66 m, mostra que, apesar de existirem contribuições superiores a 150 m, a predominância é de entradas d'água menores de 120 m.

As vazões dos poços (Tabela 1) variam de nulos até 78,26 m<sup>3</sup>/h, apresentando média de 15,31 m<sup>3</sup>/h e mediana de 10,7 m<sup>3</sup>/h. Estes valores, quando comparados com outras regiões do Planalto Gaúcho, comprovam a boa potencialidade hidrogeológica desta área. As vazões específicas médias dos poços igualmente são altas quando consideradas para aquíferos de meio fraturado (média de 1,14 e mediana 0,64 m<sup>3</sup>/h/m).

As vazões mais comuns são as que variam de 5 a 10 m<sup>3</sup>/h, seguidas dos intervalos de 1 a 5 e de 10 a 15 m<sup>3</sup>/h. Considerando a mediana das vazões específicas observa-se que os poços mais produtivos estão na faixa de 50 a 100 m de profundidade, ocorrendo uma queda na produtividade conforme avança a perfuração, principalmente após os 150m.

Tabela 1 - Estatística de alguns parâmetros construtivos dos poços tubulares.

	Profundidade (m)	Quantidade de revestimento (m)	Profundidade da última entrada d' água (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Vazão específica - Q/s (m <sup>3</sup> /h/m)
Amostragem	353	193	154	347	297
Mínimo	21,5	2,5	1	0	0,0041
Máximo	470	80,7	265	78,26	6,6
Média	131,46	15,36	76,85	15,3113	1,14
Mediana	126	12	66	10,7	0,64
Quartil inferior	94,75	7,36	21	5,4	0,171
Quartil superior	158,67	20	118	20	2,68
Variância	2852,39	146,47	3862,83	196,701	114,3684
Desvio padrão	53,4077	12,102	62,1517	14,025	10,69
Coefficiente de variação	0,40625	0,78755	0,80869	0,91599	3,13692

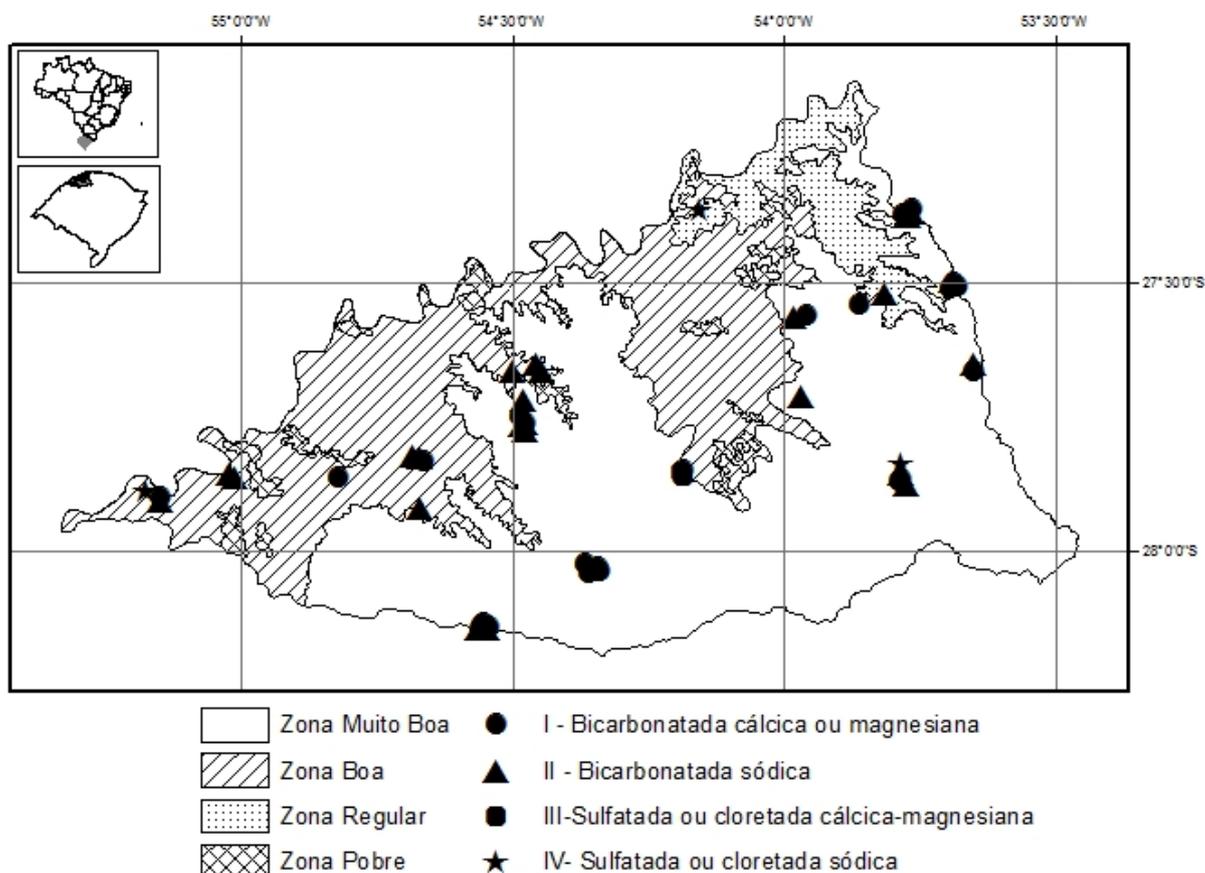


Figura 3 - Distribuição do potencial hidrogeológico e hidrogeoquímico na área de estudo.

Dentro do SASG foram evidenciadas quatro zonas com características geológicas, estruturais e geomorfológicas bem definidas e distintas entre si que possibilitaram a divisão da área de estudo (U30)

em termos de potencial hidrogeológico (Figura 3). As expectativas de vazões abaixo referidas em cada zona estão embasadas nos dados brutos e tratados dos poços levantados.

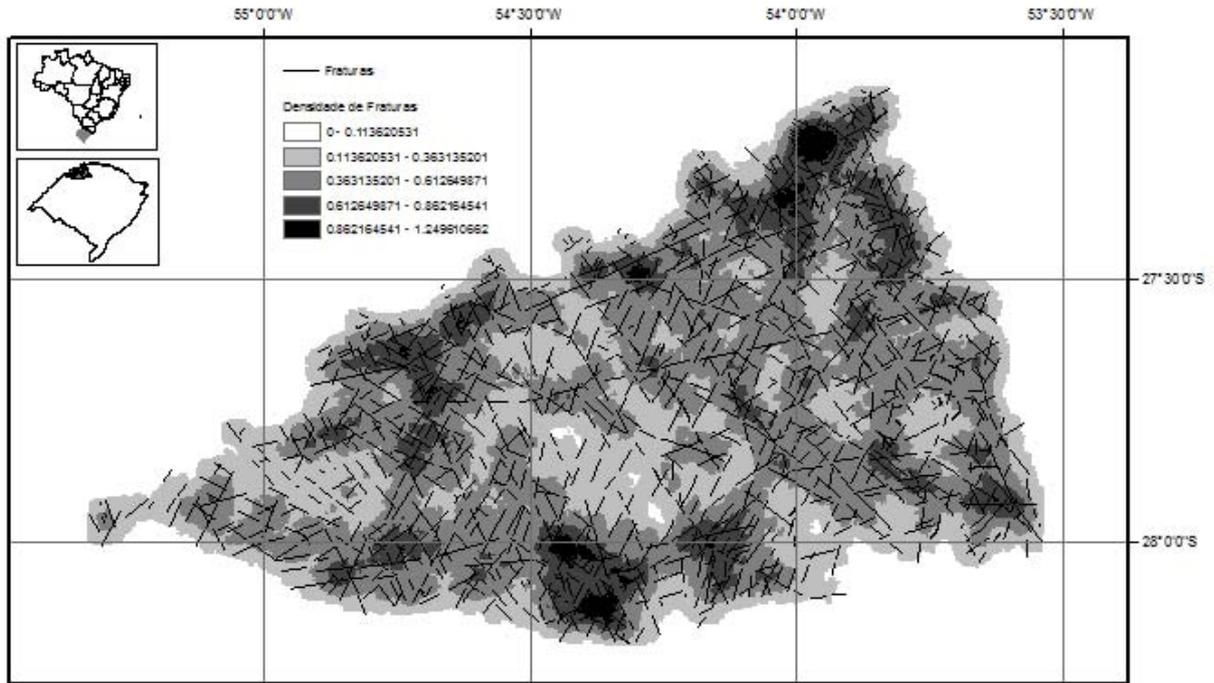


Figura 4 - Mapa de densidade de fraturas (km/km<sup>2</sup>) da área de estudo (U30).

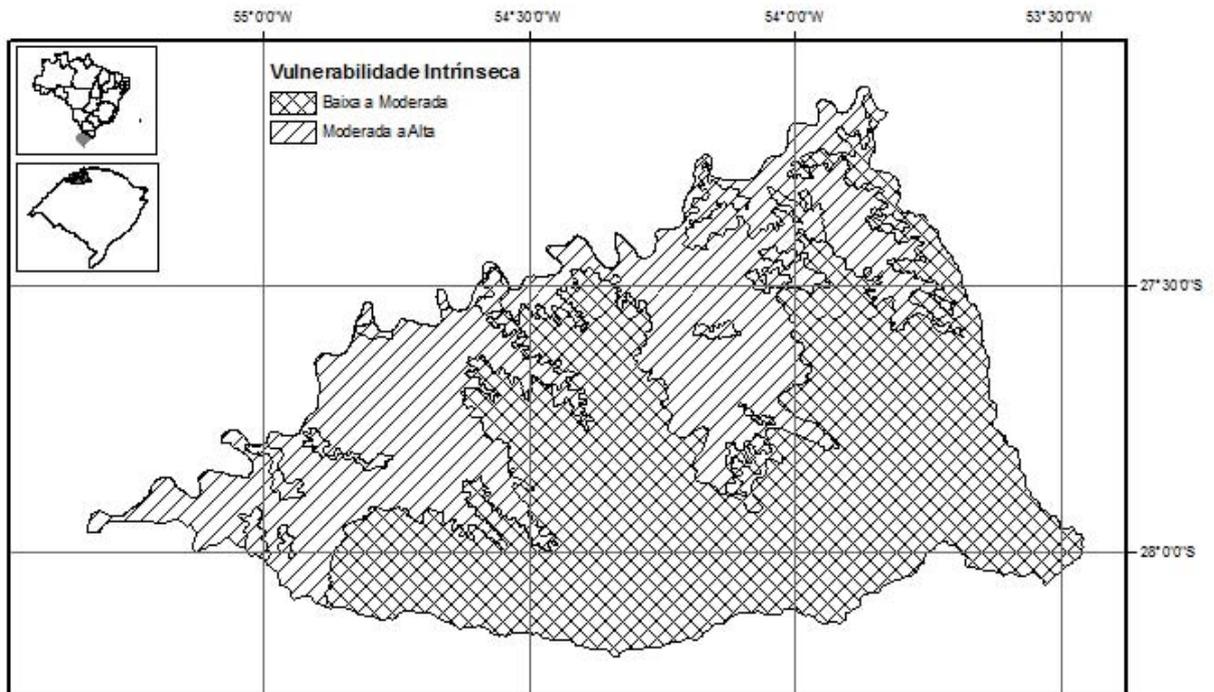


Figura 5 - Mapa de vulnerabilidade intrínseca da área de estudo (U30).

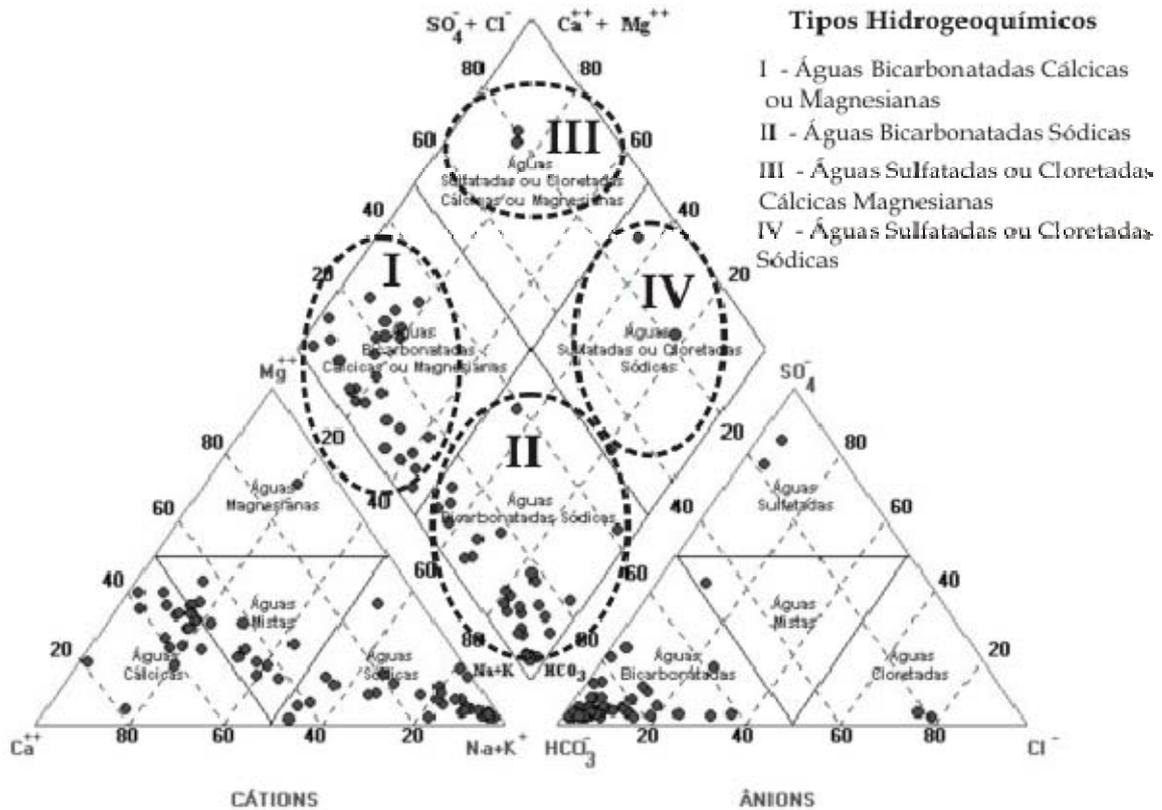


Figura 6 - Diagrama de Piper para o Sistema Aquífero Serra Geral na área de estudo.

A **Zona Muito Boa** abrange a maior parte da superfície da bacia e caracteriza-se por ocupar a região mais elevada (altitudes que vão de 250 a 600 m), com relevo suavemente ondulado, de declividade muito baixa a nula, exibindo bom desenvolvimento de solos. Possui também baixa densidade de drenagem, indicando, juntamente com os critérios topográficos, um pequeno escoamento superficial. Tais características, associadas às fraturas tectônicas, permitem a recarga do SASG nestas áreas. É a zona potencialmente melhor em termos de água subterrânea e onde é possível se obter as melhores vazões (até 80m<sup>3</sup>/h), desde que os poços sejam locados segundo o critério estrutural, sendo as grandes fraturas de direção NW e NE as preferenciais.

A **Zona Boa** praticamente circunda a zona anterior. As cotas topográficas oscilam aproximadamente entre 100 e 300m, e a declividade do relevo é suave a moderada. Em termos de comportamento hidrogeológico trata-se de uma área transicional entre a recarga e descarga do aquífero fraturado. São previstas vazões médias entre 5 e 50m<sup>3</sup>/h e os

poços devem interceptar fraturas de preferência de direção NW. Junto ao rio Uruguai, mais precisamente no extremo oeste, no nordeste, e no centro norte da área (vale do rio Buricá), são esperadas zonas de descarga do SASG. Tal fato é possível devido a potenciometria favorável do aquífero poroso, associada às estruturas tectônicas profundas e abertas de direção NE. Alguns poços situados nestas áreas apresentam evidências hidroquímicas de mistura de águas entre o SASG e o SAG, como é o caso dos municípios de Tiradentes do Sul e Porto Xavier.

A **Zona Regular** ocorre basicamente no setor nordeste da área ocupando áreas declivosas de relevo acentuado, com cotas que atingem valores próximos dos 400 metros. Caracteriza-se também por apresentar solos pouco desenvolvidos, alta densidade de drenagem, o que reflete em um alto escoamento superficial. Por todos estes fatores, deve ser considerada como uma zona potencialmente ruim para água subterrânea. Os poços nela perfurados têm alta chance de se apresentarem nulos ou com pequenas vazões. São esperadas vazões

da ordem de  $5\text{m}^3/\text{h}$ , no entanto, excepcionalmente, podem ocorrer maiores vazões associadas a grandes lineamentos morfo-estruturais.

A **Zona Pobre** caracteriza-se por pequenas áreas dispersas ao longo da bacia, que apresentam um relevo com declividade acentuada. Nestas áreas, onde a espessura dos solos é muito pequena, as taxas de deflúvio são altas e a infiltração é menor que nas áreas circunvizinhas. A circulação superficial predomina sobre a subterrânea. Trata-se de uma área potencialmente ruim para ocorrência de água subterrânea, com expectativa de vazões de no máximo  $2\text{m}^3/\text{h}$ , não sendo recomendável a perfuração de poços tubulares profundos. Deve-se optar por outra forma de captação como a proteção e aproveitamento de fontes.

Na Figura 4 é apresentado o mapa de densidade de fraturas, determinado a partir das morfo-estruturas. É indicativo da magnitude da deformação rúptil sofrida pelas rochas, sugerindo que quanto maior a densidade de fraturamento maior a possibilidade de acumulação e recarga de água subterrânea, além de refletir uma maior vulnerabilidade intrínseca do sistema aquífero.

Observa-se que as zonas de maior densidade de fraturamento estão localizadas nos setores oeste, centro-sul; noroeste, extremo leste, centro-leste, norte e nordeste.

As porções leste, sudeste e sul da área de estudo (U30) ocupam áreas que variam entre 350 e 600m de altitude, com conformação de coxilhas de declividade muito baixa a nula, formando áreas extensas de relevo suave e plano. Houve um intenso processo de peneplanização dando origem a solos espessos (mais de 30 metros) avermelhados e do tipo latossolo. Tais características associadas ao fator tectônico (estruturas e densidade de fraturas) favorecem a recarga do aquífero nestas áreas.

Na faixa central da bacia, a altitude oscila entre 150 e 300m, o relevo é suave a moderado. Nas cotas topográficas próximas ao limite de 150m verificam-se no terreno ondulações mais declivosas, e morros de pequeno porte concentrados junto às principais drenagens da região, aumentando o grau de dissecação do terreno.

Na porção mais ocidental da bacia, ocorrem cotas menos elevadas, que variam entre 100 e 150m. O relevo é moderado a acentuado com declividades de até  $80^\circ$ , originando paisagens de morros de cotas elevadas e altas declividades intercaladas com vales em forma de "U". Os solos são mais rasos, do tipo litólico, e surgem nas encostas e fundos de vale consideráveis áreas de depósitos alúvio-coluvionares.

Neste contexto, a vulnerabilidade intrínseca relativa do SASG na área de estudo (Figura 5) apresenta-se menor (baixa a moderada) na zona considerada muito boa em termos de potencial hidrogeológico, devido a sua maior espessura de solos e manto de alteração. Nas demais zonas, o aquífero fraturado possui uma vulnerabilidade relativa moderada a alta, observando-se, também, um número maior de áreas com maiores densidades de fraturas (Figura 6).

### Hidroquímica

No que se refere às características hidroquímicas, foram identificados quatro grupos, a seguir comentados, conforme ilustra o diagrama de *Piper* (Figura 6) e o mapa de distribuição espacial dos diferentes tipos hidroquímicos de água da Figura 3.

As águas do tipo I Bicarbonatadas Cálcicas ou Magnesianas ( $\text{HCO}_3$  Ca/Mg) apresentam um pH variando entre 6,3 e 9,4; com média 7,2; Sais Totais Dissolvidos (STD) médio de  $136,02\text{mg/L}$ ; F médio de  $0,135\text{mg/L}$ . A dureza varia de 24 a  $171\text{mg/L}$  de  $\text{CaCO}_3$ , com média de  $70,6\text{mg/L}$ , o que caracteriza tais águas como águas pouco duras. São águas que apresentam um tempo de residência não muito longo, com recarga relacionada às precipitações pluviométricas através do manto de intemperismo (Hausmann, 1962; Lisboa, 1996). Das características físico-químicas e químicas, destacam-se por apresentar valores mais baixos de pH e sólidos totais dissolvidos.

As águas bicarbonatadas sódicas (tipo II) são alcalinas (pH entre 7,1 e 10,1) com pH médio de 8,9; STD médio é de  $248,7\text{mg/L}$ , podendo atingir até  $468,0\text{mg/L}$ . A dureza total varia de 1 a 85, com média de  $21,5\text{mg/L}$  de  $\text{CaCO}_3$ , classificando-as como águas brandas ou moles. O teor de fluoretos atinge valores de até  $1,8\text{mg/L}$ , com média de  $0,6\text{mg/L}$ . Destacam-se por apresentar valores de pH invariavelmente alcalinos, baixa dureza e sólidos totais dissolvidos com teores que sugerem mistura com águas provenientes de áreas de potenciometria mais elevada do aquífero subjacente, conforme verificado por vários autores, em áreas próximas à bacia (Lisboa, 1996; Rebouças e Fraga, 1988; Freitas e Machado, 2000, Nanni, 2008).

O tipo III-sulfetadas ou cloretadas Ca/Mg são em geral águas com pH abaixo de 7, STD em torno de  $50\text{mg/L}$ , dureza abaixo de  $20\text{mg/L}$  (águas moles) além de apresentarem teores baixos de fluoretos.

O quarto grupo, sulfetadas ou cloretadas sódicas, são em geral alcalinas (pH médio de 8,1),

STD alto (média de 741,0 mg/L), com dureza elevada e teor de F relativamente alto (média de 1,8 mg/L). Este tipo de água, juntamente com o tipo III, também apresenta influência do aquífero poroso subjacente. Tais águas representam o estágio final de evolução hidrogeológica e, portanto, apresentam o maior tempo de residência em comparação com os demais tipos acima comentados (Freitas & Machado, 2000; Machado *et al.*, 2005).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área de estudo (U30) apresenta como seu principal recurso de água subterrânea o SASG, constituído por uma sequência de lavas mesozoicas que compõem um sistema heterogêneo e anisotrópico, onde a ocorrência de água subterrânea está vinculada a descontinuidades. Tais descontinuidades são formadas por movimentos tectônicos (falhas e fraturas) e atectônicas (juntas de resfriamento).

O SAG, subjacente, só era explotado, no âmbito do estudo, em um poço profundo localizado no município de Santa Rosa. Este sistema aquífero desempenha importante papel de reserva estratégica para a região.

A profundidade média de captação dos poços tubulares que captam água do SASG é de 131 m. Apesar de atingirem até 470 m, o intervalo de profundidade mais frequente é o de 100 a 150 m. As vazões variam de 0,5 até 78,26 m<sup>3</sup>/h, com média de 15,31 m<sup>3</sup>/h, sendo o intervalo mais frequente o de 5 a 10 m<sup>3</sup>/h. Os poços mais produtivos estão na faixa de 50 a 100 m, ocorrendo uma queda na produtividade com o acréscimo da profundidade, principalmente após os 150 m.

O SASG foi separado em quatro domínios segundo seu comportamento hidrogeológico: zona muito boa, zona boa, zona regular e zona ruim. A primeira é a zona potencialmente melhor em termos de água subterrânea e onde é possível se obter as melhores vazões atingindo até 80m<sup>3</sup>/h. Na Zona Boa são previstas vazões médias entre 5 e 50m<sup>3</sup>/h. A Zona Regular apresenta poços nulos ou de pequenas vazões. A Zona Pobre é uma área potencialmente ruim para ocorrência de água subterrânea, com expectativa de vazões de no máximo 2m<sup>3</sup>/h, não sendo recomendável a perfuração de poços tubulares. Deve-se optar nestas áreas por outra forma de captação como o aproveitamento de fontes.

A vulnerabilidade intrínseca do aquífero na bacia apresenta-se menor (baixa a moderada) na zona aquífera muito boa do que nas demais zonas.

Os tipos hidrogeológicos do SASG são separados em tipo I - Águas Bicarbonatadas Cálcicas ou Magnesianas (44,4% do total das amostras), II - Águas Bicarbonatadas Sódicas (47,6% do total das amostras); III - Águas Sulfatadas ou Cloretadas Cálcicas Magnesianas (3,2% do total das amostras) e IV - Águas Sulfatadas ou Cloretadas Sódicas (4,8 % do total das amostras).

As águas do tipo I apresentam um tempo de residência não muito grande, com recarga relacionada às precipitações pluviométricas através do manto de intemperismo. Estas águas estão associadas com as áreas de recarga do SASG na área e se destacam por apresentar valores mais baixos de pH e sais totais dissolvidos.

As do tipo II caracterizam-se por apresentar valores de pH invariavelmente alcalinos, baixa dureza e sólidos totais dissolvidos com teores que sugerem mistura com águas provenientes de áreas de alta potenciometria do aquífero Guarani subjacente.

O tipo III representa águas com pH abaixo de 7, baixo STD, dureza baixa além de apresentarem baixos teores de fluoretos.

O quarto grupo apresenta águas alcalinas, com STD alto, dureza elevada e teor de Flúor relativamente alto. Este tipo de água, também apresenta influência do aquífero Guarani.

## REFERÊNCIAS

- FEPAM. 2003a. Levantamento e Análise de Dados Secundários Relativos aos Meios Físico, Biótico e Sócio-Econômico da Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo – Inventário dos Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos da Bacia Hidrográfica dos rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo: Relatório I - Diagnóstico dos Aspectos Físicos, Bióticos e Antrópicos. Relatório de Consultoria elaborado por Profill Engenharia e Meio Ambiente. Disponível em [http://www.fepam.rs.gov.br/programas/monitoramento\\_uru.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/programas/monitoramento_uru.asp).
- FEPAM. 2003b. Levantamento e Análise de Dados Secundários Relativos aos Meios Físico, Biótico e Sócio-Econômico da Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo – Inventário dos Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos da Bacia Hidrográfica dos rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo: Relatório II - Disponibilidade Hídrica.

- Relatório de Consultoria elaborado por Profill Engenharia e Meio Ambiente. Disponível em [http://www.fepam.rs.gov.br/programas/monitoramento\\_uru.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/programas/monitoramento_uru.asp).
- FEPAM. 2003c. Levantamento e Análise de Dados Secundários Relativos aos Meios Físico, Biótico e Sócio-Econômico da Bacia Hidrográfica dos Rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo – Inventário dos Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos da Bacia Hidrográfica dos rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo: Relatório III - Demandas Hídricas. Relatório de Consultoria elaborado por Profill Engenharia e Meio Ambiente. Disponível em [http://www.fepam.rs.gov.br/programas/monitoramento\\_uru.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/programas/monitoramento_uru.asp).
- FOSTER, S. Aquifer pollution vulnerability concept and tools – use, benefits and constraints. In: Groundwater Vulnerability Assessment and Mapping - Selected papers from the Groundwater Vulnerability Assessment and Mapping International Conference, Ustron, Poland, 2004. Edited by: Andrzej J. Witkowski, Andrzej Kowalczyk & Jaroslav Vrba. UK: Taylor & Francis Group, 2007. 252 p.
- FOSTER, S. & HIRATA, R. Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas. Um método baseado em dados existentes. (trad. Ricardo Hirata et al) São Paulo: Instituto Geológico, 1993. 92p. [Boletim n.10]
- FREITAS, M. A. E MACHADO, J. L. F. Hydrochemistry of Serra Geral Aquifer In Western Santa Catarina State. 1st Joint World Congress on Groundwater. Anais. Fortaleza. 31/07 a 04/08 de 2000. Publicação digital.
- HAUSMANN, A. Aspectos hidrogeológicos das áreas basálticas do Rio Grande do Sul. Boletim Paranaense de Geografia, Curitiba, n. 18/20, 177-213, 1962.
- LISBOA, N. A. Fácies, estratificação hidrogeoquímica e seus controladores geológicos, em unidades hidrogeológicas do Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia do Paraná, Rio Grande do Sul. Tese de doutoramento, curso de pós-graduação em geociências, UFRGS, Porto Alegre. 1996. 135p.
- MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. Projeto Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul: escala 1:750.000; relatório final. Porto Alegre: CPRM, 2005.
- MOBÜS, G. Análise estrutural e hidrogeológica do aquífero fraturado da Formação Serra Geral-Região noroeste do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1987. IPH-UFRGS. Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos. 124 p.. Dissertação de Mestrado.
- 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. [127 f.]. il. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, RS - BR, 2008.
- NANNI, A. S.; TEDESCO, M. A.; FREITAS, M. A., de; BINOTTO, R. B. Vulnerabilidade natural e risco de contaminação do aquífero subterrâneo Serra Geral pela suinocultura na Região das Missões - RS . In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa, 2005.
- REBOUÇAS, A.C. E FRAGA, C.G. Hidrogeologia das rochas vulcânicas do Brasil. Revista Água Subterrânea n° 12. Agosto de 1988. p 30-55.
- SCHUCK, M. T. O. ; LISBÔA, N. A.; EICK, N. C. Análise e interpretação lito- estrutural de imagens. Uma aplicação do conceito multi na faixa metamórfica ao sul de Santana da Boa Vista-RS. In: Simpósio Latino- Americano de Sensoriamento Remoto, Gramado, 1986. Anais.v.1 p 447-452.

***Evaluation of the Hydrogeological Potential, Intrinsic Vulnerability and Hydrochemistry of the Serra Geral Aquifer System in the Northwest of Rio Grande do Sul State***

**ABSTRACT**

*Hydrogeological and hydrochemical behavior in a given region is subordinated to a few specific considerations which will determine the role of groundwater in the regional hydrological cycle. The basic parameter is the area geology. The existing lithological types and tectonic activity developed over them will define the aquifers, their position and interrelations, hydrochemical characteristics and the possibility of developing them. The area morphology, topography and drainage system will supply data concerning the capacity for infiltration, time of residence of the water and aquifer recharge and discharge areas. In this context, the article evaluates the hydrogeological potential, intrinsic vulnerability and hydrochemical types of the groundwater in the Serra Geral Aquifer System, used for human supply in small rural communities in pig farming areas in the Northwest of Rio Grande do Sul state. It also indicates the areas that are more or less vulnerable to contamination. The results obtained spatialize a zone in the area of the study, with a very good hydrogeological potential and low to moderate intrinsic vulnerability of the aquifer, as opposed to zones with a hydrogeological potential that varies from good to poor and moderate to high intrinsic vulnerability of the aquifer, The main*

*hydrogeochemical types identified include calcium or magnesium bicarbonated waters and sodium bicarbonated waters.*

**Key-words:** *Hydrogeology, Hydrochemistry, Serra Geral Aquifer System, Rio Grande do Sul*