

# ANÁLISE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO QUARAÍ – RIO GRANDE DO SUL

José Luiz Silvério da Silva<sup>1</sup>; Eduardo Samuel Riffel<sup>2</sup>; Eliane Ferreira dos Santos<sup>3</sup>

## RESUMO

Este trabalho apresenta estudo relacionado a atual situação das águas subterrâneas, pertencentes aos Sistemas Aquíferos Serra Geral/SASG e Guarani/SAG, inseridas na Bacia Hidrográfica do Rio Quaraí nos municípios de Santana do Livramento e Quaraí - RS. Utilizando-se programas hidrogeológicos, espacializou-se em coordenadas UTM, a localização dos poços cadastrados, a direção de fluxos das águas subterrâneas e a vulnerabilidade natural dos aquíferos com a elaboração de cartogramas, através do software SURFER. A partir do Diagrama de Piper confeccionado no software AQUACHEM Waterloo Hydrogeologic's, estabeleceu-se os tipos químicos de água. Analisou-se o índice de vulnerabilidade dos aquíferos com base na metodologia GOD, desenvolvida Foster et al. (2003), com base no banco de dados pré-existentes obtidos pelos poços cadastrados na CPRM. A partir da simulação de 93 poços nota-se que há uma contribuição do fluxo da água subterrânea para a perenização das águas do Rio Quaraí. Devido ao fato dessa região ser área de recarga direta a partir das precipitações pluviométricas para o SAG, e constatado pelo método GOD que a área pode ser vulnerável a contaminação por um agente poluidor imposto na superfície do terreno, faz-se necessário que sejam implementados projetos de gestão de águas subterrâneas nessa área buscando uma sustentabilidade ambiental.

## ABSTRACT

The aim of this paper is to present study regarding to groundwaters pertaining for the Serra Geral Aquifer System/SASG and Guarani/GAS, filling in the basin of the Quaraí river in the city of Santana do Livramento and Quaraí Brazil. Were used hidrogeologic's softwares, searching through UTM coordinates, locating the wells registered, the direction of groundwater's flow and the vulnerability index of aquifers over cartograms, elaborated in the SURFER software. Over Piper's Diagram fact in the AQUACHEM software, establish the watertypes finds in the area. Were analyzed the vulnerability index of aquifers based on the GOD methodology Foster et al. (2003), based in the database existent provided for the wells registered. Over the simulation of 93 wells were observed on contribution of the groundwater's flow for the perennation in the Quaraí river.

<sup>1</sup> Professor Adjunto da UFSM/CCNE, Av. Roraima, Prédio 17, Sala 1605, CEP 97119-900 Sta. Maria/RS silverio@smail.ufsm.br

<sup>2</sup> Acadêmico em Geografia-UFSM, Av. Roraima, Prédio 17, Sala 1605, CEP 97119-900 Sta. Maria/RS edriffel@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Geógrafa/Mestranda em Eng. Civil-UFSM Av. Roraima, Prédio 17, Sala 1605, CEP 97119-900 Sta. Maria/RS efsantos2004@yahoo.com.br

Since due to the fact that region be recharge area of the aquifer over the precipitation for the GAS, and find out for the GOD method that area would be vulnerability to contamination over agents imposed from the surface outcrops. It is necessary to improve the knowledge that new projects will be suffer in the management of underground water resources in this area looking for an environmental sustainability.

**Palavras chave: Aquífero, Vulnerabilidade, Bacia Hidrográfica.**

## 1- INTRODUÇÃO

A água constitui um elemento fundamental para manutenção da vida humana e de todas as espécies no planeta Terra. Com o passar dos anos, porém, a água está se deteriorando face à utilização desenfreada desse recurso natural que denota a idéia de ser abundante e inesgotável.

A água é considerada atualmente um recurso natural finito, colocada à progressiva escassez faces a necessidades crescentes do seu uso decorrente do avanço das tecnologias, do crescimento populacional e urbano, da modernização agrícola e industrial, entre outros. São fatores que tem contribuído para utilização dos recursos hídricos de forma não sustentável.

Em decorrência de diversas estiagens e também pela deterioração considerável, tanto do ponto de vista qualitativo como quantitativo dos recursos hídricos superficiais, inúmeros municípios brasileiros passaram a utilizarem o recurso hídrico subterrâneo como forma de abastecimento público.

Esta ação, porém, muitas vezes é realizada de forma predatória e precipitada, pois não se tem o conhecimento adequado para a perfuração de poços, o que pode acarretar problemas de deterioração qualitativa dos aquíferos, como também uma série de impactos associados à saúde humana e ao meio ambiente. Também construções irregulares como, por exemplo, os postos de combustíveis, lixões e cemitérios não regulamentados, podem ser possíveis fontes de contaminação, assim como, vazamentos de fossas sépticas, entre outros.

Devido a esses fatores se fazem necessários mais cautela e estudos frente ao desconhecimento social dos recursos hidrogeológicos e suas limitações, realizando-se estimativas corretas e de adequado aproveitamento, regulação e proteção do abastecimento, a fim de garantir a disponibilidade continua deste recurso natural tão necessário à vida.

Nos municípios de Santana do Livramento e Quaraí ocorrem rochas vulcânicas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) localizado na borda da bacia sedimentar do Paraná no extremo Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul e afloramentos “janelas” de arenitos pertencentes à

Formação Botucatu, que podem servir como áreas de recarga direta a partir das precipitações pluviométricas para o Sistema Aquífero Guarani (SAG).

Em áreas de recarga de aquífero, ele se torna mais vulnerável a contaminações, como é o caso nos municípios de Santana do Livramento e Quaraí. As fontes de contaminação costumam ser locais, mas seus efeitos podem propagar-se a grandes distâncias e persistir por muito tempo, às vezes por várias gerações, porque a água poluída armazena-se no subsolo e sua renovação natural é muito lenta (Margaret, 1993). Entre os principais agentes, têm-se os contaminantes não metálicos, dependendo do grau de contaminação os aquíferos não podem ser recuperados, ou os custos se tornam muito elevados. Surge à necessidade de medidas eficazes e programas de proteção dos aquíferos, controlando as atividades humanas potencialmente poluidoras, planejando assim o uso e ocupação do solo.

## **1.1- Objetivos**

O objetivo geral deste trabalho foi averiguar a atual situação dos recursos hídricos subterrâneos na Bacia Hidrográfica do Rio Quaraí, entre os municípios de Santana do Livramento e Quaraí, destacando-se suas potencialidades, geologia, qualidades físico-químicas e fluxo das águas subterrâneas, a fim de avaliar a vulnerabilidade natural dos aquíferos.

### *1.1.1- Objetivos Específicos*

Atualização do cadastro de poços tubulares, escavados e fontes/nascentes na área de estudo, com base no cadastramento da CPRM/SIAGAS; interpretação das classes hidroquímicas realizadas com base na locação das análises do Diagrama de Piper (HEM, 1996), usando-se o aplicativo *Aquachem Waterloo hydrogeologic's* licenciado pelo LabHidrogeo/UFSM; espacialização dos poços cadastrados e a direção de fluxo das águas subterrâneas através do software SURFER 8.0 (licenciado pelo LabHidrogeo/UFSM); e por fim analisar a vulnerabilidade natural dos aquíferos, a partir do método *GOD* de Foster e Hirata (1993) e Foster et al. (2003).

## **1.2- Localização da Área de Estudo**

O objeto de estudo deste trabalho é o município de Santana do Livramento e o município de Quaraí. Entre estes municípios desenvolve-se a *Cuesta do Haedo*, importante estrutura para talvez

condicionar o fluxo de águas subterrâneas para a Bacia do Rio Quaraí (U-60) (Silvério da Silva et al., 2006).

A Bacia Hidrográfica do Rio Quaraí (Figura 1) abrange uma superfície de 6.557,08 km<sup>2</sup> (FEPAM, 2007). Limita-se ao Norte, Leste e Oeste com a Bacia do Ibicuí (U-50); e ao Sul com o Rio Quaraí (República Oriental do Uruguai). É constituída pelo Rio Quaraí e os arroios Espinilho, Sarandi, Cati, Quaraí Mirim, Garupá, Vertentes e Caiboaté (coralx.ufsm.br/ifcrs/hidrografia.htm).

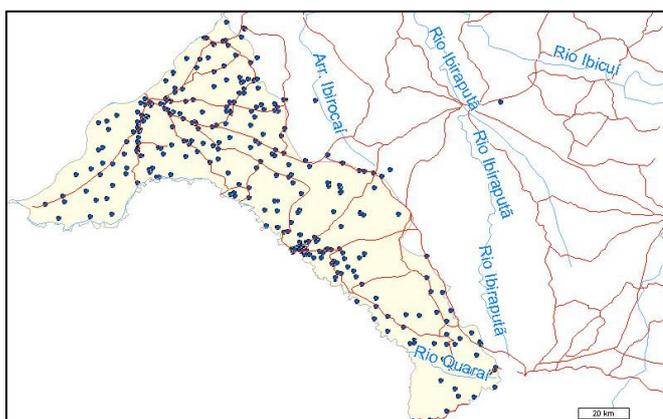


Figura 1- Mapa da Bacia do Rio Quaraí (U-60) com a localização dos poços  
Fonte: CPRM/SIAGAS, 2008

O Rio Quaraí (Figura 2) nasce a Leste, na Coxilha Negra, desce para o Sul onde serve de divisa com a República Oriental do Uruguai, tendo sua foz no ponto extremo Oeste do Rio Grande do Sul, no município de Barra do Quaraí. O Rio Ibirapuitã, numa extensão de cerca de 11 km, serve de divisa com o município de Rosário do Sul e como divisão com o município de Santana do Livramento estão os arroios Cati (afluente do Rio Quaraí pela margem direita) e Chapéu.



Figura 2 – Rio Quaraí, divisa Quaraí/Br – Artigas/Uy  
Fonte: [www.prouruguay.rs.gov.br](http://www.prouruguay.rs.gov.br)

Os municípios de Santana do Livramento e Quaraí (Figura 3) estão localizados na porção Sudoeste do estado do Rio Grande do Sul. O município de Santana do Livramento está localizado entre as coordenadas UTM aproximadas 637259 e 646209 de Longitude Oeste e 6579012 e 6586022 de Latitude Norte e o município de Quaraí entre as coordenadas geográficas 30°22'34'' de latitude Sul e 56°26'25'' de longitude Oeste, abrangem uma área de cerca de 6.950 km<sup>2</sup> (IBGE, 2008) e 3.147,6 km<sup>2</sup> (FEE, 2004), respectivamente.

Os municípios são drenados pelas águas das bacias hidrográficas do Rio Ibicuí (U-50) e do Rio Quaraí (U-60), que por sua vez integram a Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, de acordo com o Sistema Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul (SEMA, 2008); e por águas subterrâneas pertencentes ao Sistema Aquífero Serra Geral/Guarani.

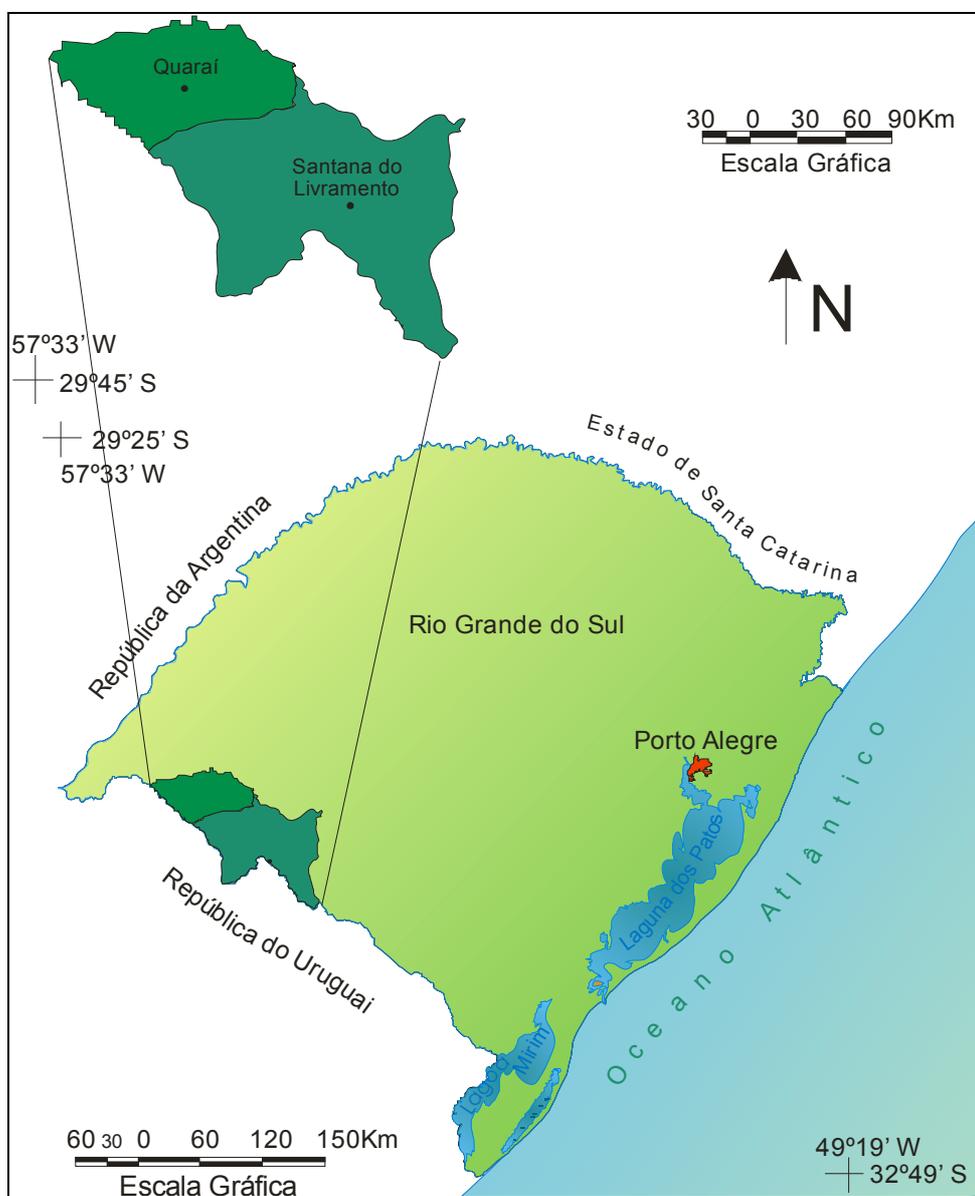


Figura 3- Mapa de localização da área de estudo  
Elaboração: Riffel, E. S.; Santos, E. F. dos

A Bacia Hidrográfica do Rio Quaraí é parte de um conjunto hidroestratigráfico maior o Sistema Aquífero Guarani/SAG, este devido as suas dimensões ocorre numa área de cerca de 1.200.000 km<sup>2</sup>, abrange parte de oito estados brasileiros (RS, SC, PR, SP, GO, MS, MT, MG), além de parte do Uruguai, Argentina e Paraguai. Seus usos são principalmente para abastecimento humano como nas cidades de Santana do Livramento com 83.479 habitantes (IBGE, 2008) e atualmente cerca de 70% do abastecimento de Quaraí com 22.552 habitantes (IBGE, 2008). Estima-se atualmente, conforme o PSAG (2007) um volume de águas subterrâneas da ordem de 45.000 km<sup>3</sup>, por outro lado deve-se salientar que nem toda esta água é doce e potável de acordo com padrões da Portaria nº518/2004 e Resolução CONAMA nº357/2005.

Pode-se observar ainda, que nos municípios de Santana do Livramento e Quaraí, os estudos revelaram que se expõe arenito Botucatu, que devem servir como áreas de recarga direta a partir das precipitações pluviométricas para o SAG, onde as águas da chuva infiltram-se diretamente no subsolo e abastecem o reservatório subterrâneo. Esta formação porosa é de elevada permeabilidade podendo também aumentar a probabilidade dos riscos de contaminação nas áreas de recarga do SAG por uma carga imposta na superfície (Silvério da Silva et al., 2004 a).

Conforme Calcagno (*apud* Borghetti *et al*, 2004) “No estado do Rio Grande do Sul, Brasil, pelas características de disposição e uso do aquífero, a zona de afloramento mais vulnerável é Santana do Livramento”.

## **2- REFERENCIAL TEÓRICO**

Com o crescimento populacional, e o avanço de novas tecnologias, a demanda pela água vem crescendo de forma vertiginosa. Existe a falsa idéia de que a água é um bem inesgotável e abundante. Na busca de economia cresce cada vez mais a busca por águas subterrâneas, desrespeitando-se muitas vezes, questões essenciais ligadas à preservação do Meio Ambiente.

A água subterrânea é toda a água que ocorre abaixo da superfície da terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, e que sendo submetida a duas forças (de adesão e de gravidade) desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios e lagos. (Borghetti et al., 2004).

Portanto, os recursos hídricos subterrâneos constituem depósitos de água estocados no subsolo, principalmente em formações geológicas arenosas granulares, em cujos poros acumulam-se principalmente a partir, das infiltrações decorrentes das precipitações. Estes depósitos representam cerca de 97% do volume total de água doce existente no mundo, sendo os 3% restantes compostos pelas águas dos rios e lagos (França, 2001).

Os aquíferos ocupam, na maior parte das vezes, grandes extensões em área, tornando-se reservatórios subterrâneos de armazenamento. A denominação “Sistema” é dada pelo fato de um aquífero poder ocupar a área de uma ou de várias bacias hidrográficas, ou mesmo passar por diferentes estados, ou até por diferentes países como o caso do SAG.

A classificação dos aquíferos quanto à pressão da água também é bastante utilizada em estudos sobre os recursos subterrâneos, podendo, aliás, ser observado como um dos critérios observados na metodologia *GOD*, sendo este o grau de confinamento do aquífero. Sob estes parâmetros os aquíferos podem ser classificados como surgentes, confinados ou não confinados (Foster e Hirata, 1993).

O Brasil é privilegiado, pois engloba a maior parte do SAG, tem extensão total aproximada de 1.195.000 km<sup>2</sup>, sendo 840 mil Km<sup>2</sup> no Brasil (PSAG, 2007). O SAG é um aquífero constituído de várias rochas sedimentares e estende-se desde a Bacia Sedimentar do Rio Paraná – Brasil, Paraguai e Uruguai – até a Bacia do Chaco – Paraná na Argentina, principalmente, das rochas que compõem o aquífero, a mais importante é o arenito Botucatu que foi depositado em ambiente desértico, o que explica as características que faz dele um ótimo reservatório de água. Os grãos sedimentares que o constituem são de grande homogeneidade, havendo pouco material fino (matriz) entre os mesmos. Isto confere a este arenito alta porosidade e alta permeabilidade (Silvério et al., 2006).

Segundo a lei 11.520/2000, Art. 134 do Código Estadual do Meio ambiente “Incumbe ao poder público manter programas permanentes de proteção das águas subterrâneas, visando ao seu aproveitamento sustentável, e a privilegiar a adoção de medidas preventivas em todas as situações de ameaça potencial a sua qualidade”, mesmo assim a conscientização da população por parte dos governos em relação às águas subterrâneas é pouco difundida.

## **2.1- Probabilidades de contaminação das águas subterrâneas**

Nas águas subterrâneas, os impactos ambientais podem ser entendidos como contaminação, ou seja, qualquer introdução de substância indesejada na água, ou ainda poluição que não diz exclusivamente sobre a alteração de suas propriedades químicas, mas também da alteração estética das características do ambiente aquático (Hassuda, 1997).

Mook (2002) cita que as fontes mais comuns de contaminação das águas subterrâneas são: Áreas urbanas; atividades agrícolas e industriais; águas residuais que são despejadas nos rios e nos drenos; depósitos de resíduos; água salgada contaminada atraída pela exploração intensiva dos recursos de água subterrânea na região litorânea.

Salienta-se que poços abandonados e desprovidos de lacre são focos de poluição das águas subterrâneas, por estarem em locais próximos de possíveis fontes pontuais de contaminação, tais como: cemitérios, lixões, postos de combustíveis, oficinas mecânicas, indústrias, entre outras (Santos, 2007).

Santos (2007) ressalta que no município de Quaraí existem pontos potenciais de contaminação, cita-se: 8 postos de combustíveis, 1 lixão, 1 cemitério, lava-rápidos, matadouros, rede de esgoto *in natura*, 4 poços abandonados (Hidráulica Saladero, Lixão municipal, Centro Desportivo, Brasil Futebol Clube, servem de avaliação do nível estático, ensaios de bombeamento/salinização).

No município de Santana do Livramento há 23 postos de combustíveis, sendo que destes 21 estão sobre os arenitos da Formação Botucatu aflorante; 3 cemitérios (Cemitério Municipal e o Tabatinga) também localizados sobre o arenito Botucatu (Frantz, 2005).

Trabalhos anteriores de Silvério da Silva et al. (2000, 2002, 2004, 2006) indicaram a ocorrência de águas subterrâneas com teores anômalos de flúor contendo um teor de Sólidos Totais Dissolvidos/STD superior a 1.000mg/L o que leva a enquadrar estas águas como salobras e impróprias para o consumo humano, de com a Proposta de Resolução da Câmara Técnica de Controle e Qualidade Ambiental, 24ª reunião datada de 26 e 27 de setembro de 2007, a Classificação e Diretrizes Ambientais para Enquadramento das Águas Subterrâneas, disponível em (<http://www.mma.gov.br>). Ainda estes autores encontraram águas subterrâneas contendo Fe, Mn e Al associados a poços tubulares e águas de superfície na cidade de Quaraí (Silvério da Silva et al., 2007).

No trabalho de Suertegaray (1998) salienta-se que no Centro-Sul do município de Quaraí há ocorrência de litologias sedimentares identificadas como Formação Botucatu, arenitos depositados no Período Jurássico. É sobre a Formação Botucatu que se registra a ocorrência de áreas arenosas, localizadas a Sudeste da sede municipal, a cerca de 20 km desta, próximo à rodovia BR-293 que faz a ligação rodoviária entre os municípios de Quaraí a Santana do Livramento.

De acordo com Silvério da Silva et al., (2006), os sedimentos arenosos inconsolidados que formam os depósitos conhecidos como areais (Figura 4) apresentam uma importante área de ocorrência na porção Leste da cidade de Quaraí, com 220,88 ha (Suertegaray, 1998). Estudos indicam que pontualmente existem afloramentos “janelas” de arenitos pertencentes à Formação Botucatu, que podem servir como áreas de recarga direta a partir das precipitações pluviométricas para o SAG. Por outro lado, esta formação porosa e granular apresenta elevada permeabilidade podendo também aumentar os riscos de contaminação do SAG, em profundidades superiores a 40m até 90m quando são protegidos pelos derrames vulcânicos.

Assim, tem-se contato um sistema aquífero poroso granular (SAG) comum sistema aquífero cristalino fissural (SASG) evidenciando misturas de águas e ainda favorecendo a diferentes capacidades hidráulicas.



Figura 4- Arenização as margens da rodovia BR 293, município de Quaraí/RS.  
Fonte: pesquisa de campo, março de 2005.

Os arenitos interderrames aflorantes nos municípios de Quaraí e Santana do Livramento, apresentam espessuras entre 17 a 77m, que também ocorrem em Artigas, no Uruguai (Perez et al., 2000). Salienta-se que a região de Quaraí está capeada por rochas vulcânicas pertencentes à Formação Serra Geral, com espessuras entre 52 a 119m, o que protege o SAG (Silvério da Silva et al., 2006).

A área total avaliada para esta unidade geológica foi de 8,41 km<sup>2</sup>. Sugere-se que estudos futuros de mapeamentos geológicos e/ou geofísicos estudem melhor esta região, uma vez que não existe informações da existência de poços conhecidos buscando-se identificar conexões do SAG com o Rio Quaraí.

## 2.2- Diagrama de Piper

O Diagrama de Piper consiste num diagrama hidroquímico que é utilizado frequentemente quando se trabalha com grande número de análises químicas de água, servindo para classificar e comparar os distintos grupos de águas quanto aos íons dominantes, em cloretada, sódica, carbonatada, magnesiana etc. Para plotar o Diagrama utiliza-se o software Aquachem Waterloo Hidrogeologic's licenciado pelo LabHidrogeo-UFSM que realiza a transformação dos valores de

cada íon expressos em meq/L, em percentagem do total de ânions e do total de cátions, separadamente em dois triângulos, e o resultado final é obtido em um campo central romboidal que dá a classificação geral da água (Figura 5).

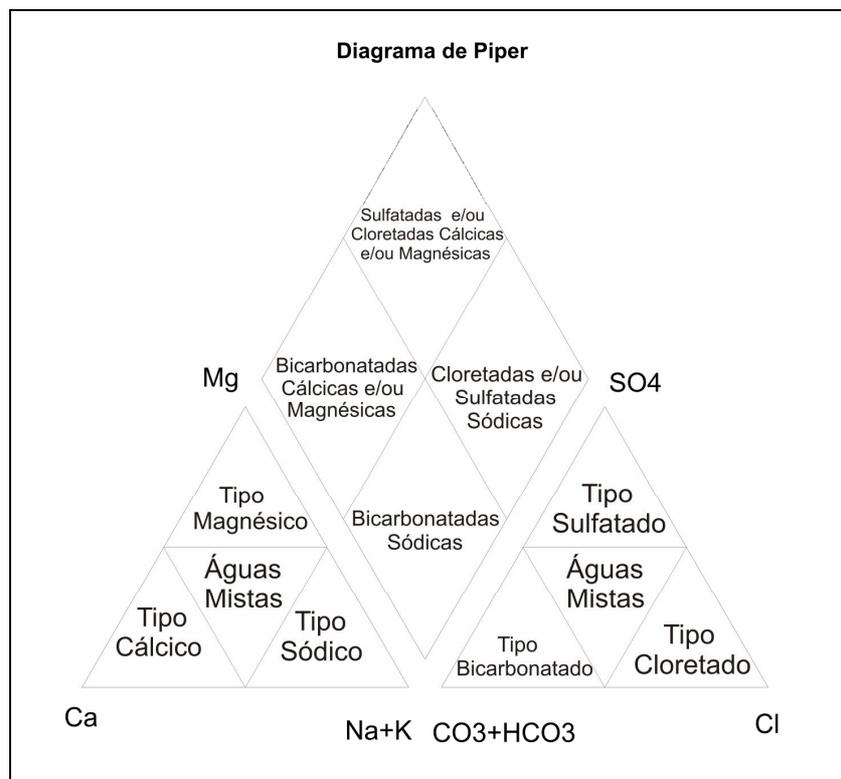


Figura 5- Classificação de águas pelo Diagrama de Piper.

## 2- METODOLOGIA

Como material de apoio bibliográfico, buscou-se pesquisa recente sobre águas subterrâneas, desenvolvida a Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, fronteira entre o Brasil e a República Oriental do Uruguai, como por exemplo: Santos (Banco de Imagens: uma proposta de educação ambiental, 2007), Santos (Análise da vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero Guarani a impactos antrópicos, 2004), Frantz (Avaliação do Índice de Vulnerabilidade do Aquífero Guarani no Perímetro Urbano da Cidade de Sant'Ana do Livramento – RS, 2005), Camponogara (Vulnerabilidade natural no Sistema Aquífero Guarani e análise de parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas em Quaraí, BR e Artigas, UY, 2006), Projeto N°10 Fundo das Universidades (Caracterização de Áreas de recarga e descarga do SAG em Rivera-Livramento e em Quaraí-Artigas), Eckert e Caye (Cadastramento de Poços da Cidade de Livramento/RS, 1995), Borghetti *et al.* (Aquífero Guarani. A Verdadeira Integração dos Países do Mercosul, 2004).

O levantamento de dados e informações relacionados aos poços tubulares, escavados e/ou fontes na área de estudo foram obtidos no cadastro de dados disponibilizados *online* no cadastramento da CPRM/SIAGAS, bem como dados obtidos na CORSAN e no Projeto N°10.

Montou-se um banco de dados organizados e tabulados no programa computacional *Microsoft Excel*, destacando-se os principais parâmetros dos poços, tais como: Dados Gerais; Dados Construtivos; Dados Geológicos; Dados Hidrogeológicos; Dados Físico-químicos e Teste de Bombeamento.

A partir dos dados de qualidade da água de algumas amostras e utilizando-se do software *Aquachem*, foi criado Diagrama de Piper no qual foram divididos os ânions e os cátions de cada elemento das amostras de água dos poços dos municípios de Santana do Livramento e Quaraí que possuem análise química.

A espacialização das informações foi feita com o uso do programa computacional Surfer 8.0, aplicando-se o modelo geoestatístico *Krigagem*, determinando-se a superfície potenciométrica pela diminuição da cota do poço e o nível da água, a fim de identificar a direção do fluxo da água subterrânea. Os valores dos níveis estáticos e cota do poço foram obtidos em medições em campo de trabalhos prévios e no cadastro de usuários de poços CPRM/SIAGAS, no site: <http://www.cprm.gov.br>.

O programa Surfer 8.0 (licenciado para o LABHIDROGEO/UFSM) é capaz de espacializar informações contendo coordenadas UTM, em *Datum* horizontal SAD 69 e *Datum* vertical e Porto de Imbituba/Santa Catarina, gerando-se cartogramas.

Aplicou-se nesta pesquisa o método *GOD*, desenvolvido por Foster e Hirata (1993) e Foster et al. (2003), a fim de identificar a vulnerabilidade natural dos aquíferos. O método de análise leva em consideração o Grau de confinamento Hidráulico dos aquíferos, os tipos litológicos e a profundidade do nível da água.

No Método *GOD* de Foster e Hirata 1993 e Foster et al. (2003), o produto entre os três parâmetros, obtém-se o índice de vulnerabilidade, o qual é espacializado em um sistema de coordenadas UTM (datum usado na coleta do ponto em campo), usando-se o programa Surfer 8.0.

Classes de vulnerabilidade do método *GOD*:

- Extrema (0,7 - 1)
- Alta (0,5 – 0,7)
- Moderada (0,5 – 0,3)
- Baixa (0,3 – 0,1)
- Desprezível (0,1 – 0)

#### **4- RESULTADOS**

Para caracterizarem-se os tipos de águas subterrâneas avaliadas no município de Santana do Livramento e Quaraí fez-se uso do Diagrama de Piper ilustrado na Figura 6. Observou-se uma

predominância de misturas de águas indicadas pela presença de águas classificadas como: bicarbonatadas, sulfatadas e cloretadas, todas elas apresentando o cálcio como o cátion predominante, e quase nenhum valor de sódio. Em outra publicação Silvério da Silva et al. (2002) haviam encontrado uma relação entre sódio e águas subterrâneas fluoretadas em cerca de 60% das amostras.

Na maioria das amostras há predominância de tipos de água foi de Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> (42%), e considerando uma área relativamente pequena, e a diversidade dos resultados pode ser concluído que houve mistura de águas.

Sendo que no município de Quaraí nota-se uma maior diferença na composição das águas, ocorrendo desde águas cálcicas a sódicas sendo a maior porcentagem de tipo de água encontrada a Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> com 55 % das amostras, representando metade das mesmas, devido a esse fato conclui-se que a mistura de águas foi menor do que no município de Santana do Livramento.

Quadro 1-Tipos de água e suas porcentagens Santana do Livramento/RS.

<b>TIPOS DE ÁGUA (WATERTYPES)</b>	<b>PORCENTAGEM ENCONTRADA</b>
<b>Ca-Mg-HCO<sub>3</sub></b>	<b>42%</b>
<b>Ca-HCO<sub>3</sub></b>	<b>21%</b>
<b>Ca- Mg-HCO3-Cl</b>	<b>14%</b>
<b>Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-Cl-NO<sub>3</sub></b>	<b>14%</b>
<b>Ca-Mg-NO<sub>3</sub></b>	<b>7%</b>

Quadro 2-Tipos de água e suas porcentagens Quaraí/RS.

<b>TIPOS DE ÁGUA (WATERTYPES)</b>	<b>PORCENTAGEM ENCONTRADA</b>
<b>Ca-Mg-HCO<sub>3</sub></b>	<b>55,55%</b>
<b>Ca-HCO<sub>3</sub></b>	<b>11,11%</b>
<b>Ca- Na-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub></b>	<b>11,11%</b>
<b>Ca-Na-Mg-HCO<sub>3</sub></b>	<b>11,11%</b>
<b>Mg-Na-HCO<sub>3</sub></b>	<b>11,11%</b>

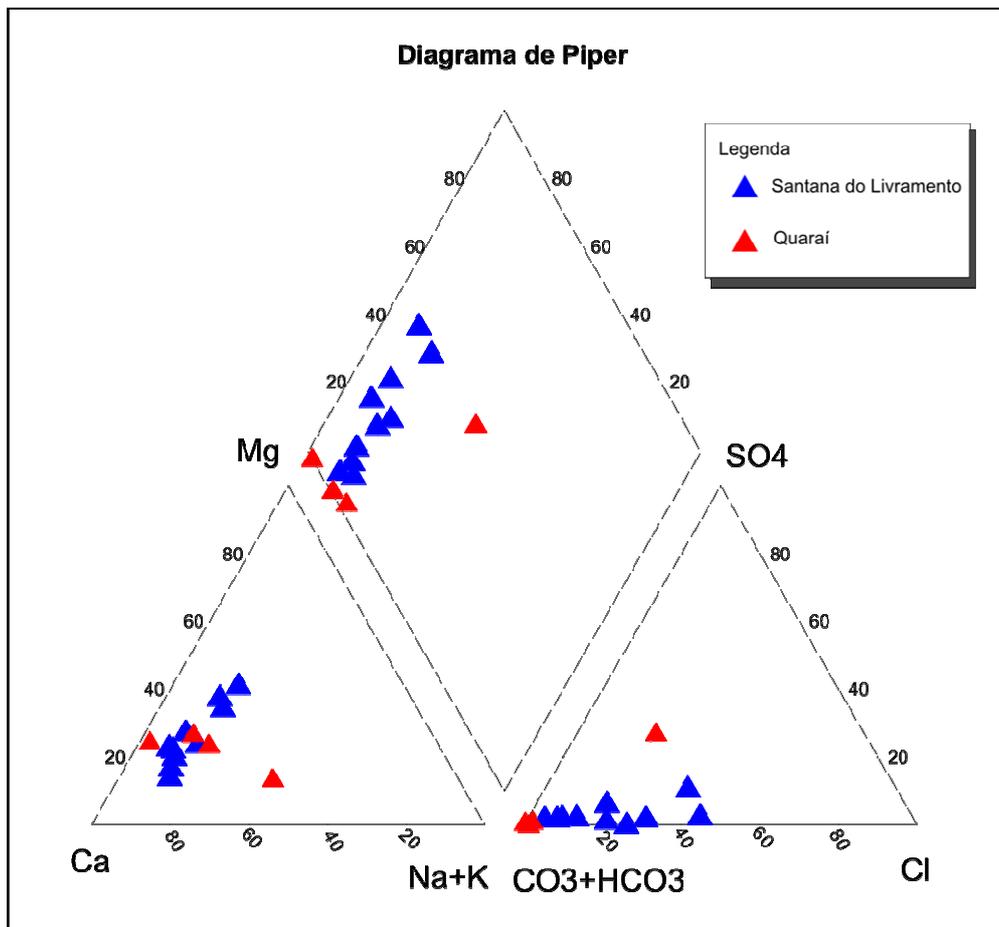


Figura 6. Diagrama de Piper, Santana do Livramento e Quaraí/RS  
Elaboração: Riffel, E. S.; Santos, E. F. dos

## 5.2- Espacialização da Superfície Potenciométrica

Na Bacia Hidrográfica do Rio Quaraí, segundo cadastro de usuários da CPRM/SIAGAS (2008) possui um total de 156 poços, sendo que destes 111 poços estão localizados no município de Quaraí e 45 poços no município de Santana do Livramento. Apresenta-se a simulação de 93 poços com o uso do programa Surfer 8.0 para espacializar as informações, obtendo-se cartograma da superfície potenciométrica (Figura 8) que representa a diferença do nível da água em relação à cota da *boca* do poço, representando uma carga sobre um *datum* vertical. Alguns poços foram desconsiderados por apresentarem dados insuficientes para elaborar cartogramas.

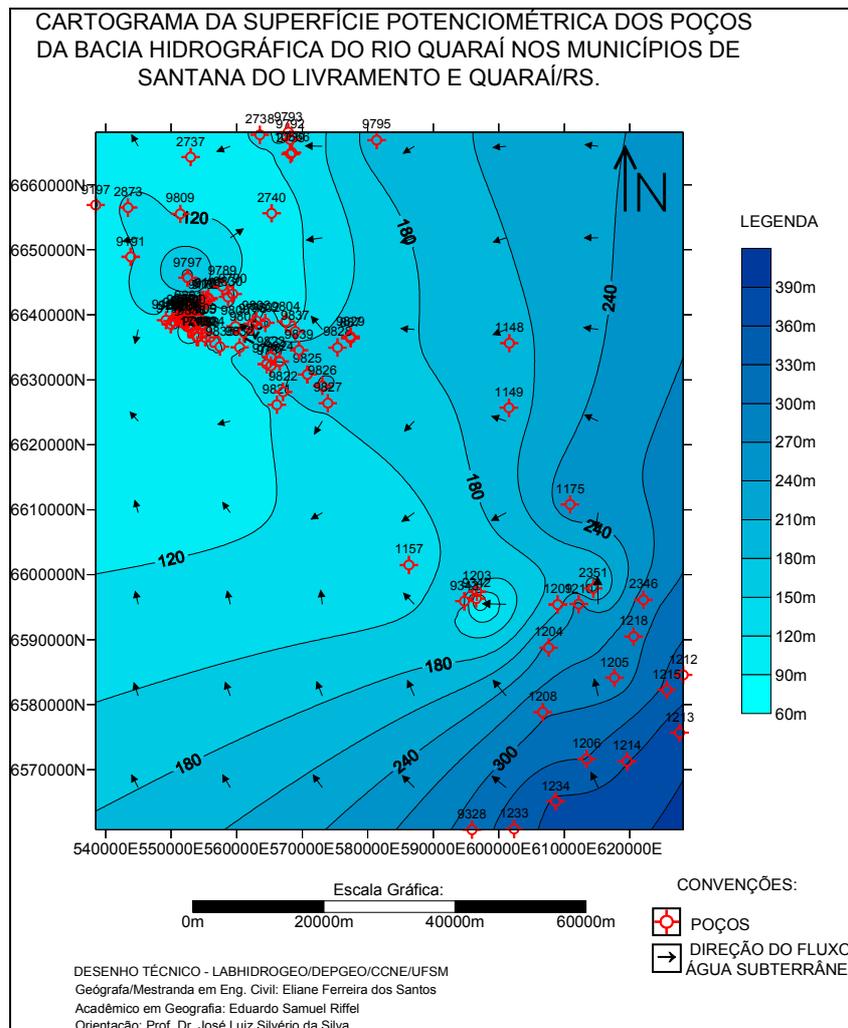


Figura 8 - Cartograma da Superfície Potenciométrica dos 93 poços simulados.

Nota-se que há uma contribuição do fluxo subterrâneo de direção Sudeste para os setores Noroeste do cartograma. A tendência geral do fluxo da água subterrânea direciona-se de Sudeste para Oeste na direção da sede municipal do município de Quarai, contribuindo para a perenização das águas do Rio Quarai U-60 (SEMA, 2008), situado ao Oeste do cartograma, aqui não representado. Informa-se que o ponto que se observa a maior concentração de poços, situa-se a área urbana do município de Quarai.

Verifica-se no setor extremo Sudeste a ocorrência de um alto potenciométrico localizado no município de Santana do Livramento, localizada na Fazenda Sta. Vilma. Neste poço de nº (4300001213) noto-se a maior carga potenciométrica representada por 380,2m numa cota altimétrica de 385m. Este alto também sofre influência do poço nº (4300001234) localidade de Coxilha Negra em Santana do Livramento com uma carga de 364,6m com cota altimétrica de 365m.

Outro alto altimétrico de menor escala visualiza-se no setor Noroeste do cartograma a existência do poço nº (4300009797) na localidade Estância da Sotéia em Quarai, com uma carga

potenciométrica de 192m em cota altimétrica de 203m. Observa-se também no setor extremo Sudeste a ocorrência de um alto potenciométrico.

### **5.3- Espacialização do Índice de Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos**

Simularam-se 67 poços que se localizam na Bacia Hidrográfica do Rio Quaraí, destes 49 poços pertencentes ao município de Quaraí e 18 poços no município de Santana do Livramento. Obteve-se o cartograma do índice de vulnerabilidade natural dos aquíferos (Figura 9), a partir do método *GOD*, que leva em consideração o grau de confinamento hidráulico, a litologia e o nível da água subterrânea.

Nota-se que a área mais vulnerável encontra-se nos setores Centro-Sul e Noroeste, diminuindo gradualmente para o setor Nordeste e Sudeste, bem como uma pequena porção a Oeste do cartograma.

A classificação Desprezível foi registrada em 37 poços, principalmente em poços próximos a área urbana de Quaraí, ponto onde se observa a maior concentração de poços. Esta classe corresponde a aquíferos confinados, geralmente em presença de basalto.

A classificação Baixa ocorreu em apenas um poço (4300009836), em aquífero em aquífero confinado de basaltos com nível estático raso.

A classificação Média deve-se a presença de basalto em condição livre, sendo que 6 poços em basalto e 1 em arenito Botucatu, totalizando 7 poços.

A classificação Alta ocorre em 22 poços em presença de arenito da Formação Botucatu e da Formação Rosário do Sul em condição livre de ocorrência das águas subterrâneas. Registraram-se 2 poços escavados em basaltos da Formação Serra Geral, identificados por (4300002737 e 4300002738) em condição livre, apresentando um nível estático muito raso de 0,1m.

Em geral, a vulnerabilidade na área de estudo foi classificada como Desprezível na área urbana da cidade de Quaraí e nas proximidades, devido ao maior número de poços nesta área, apesar de que visivelmente nota-se que a classificação alta predomina no cartograma. É nesta região que se encontram os areais, afloramentos “janelas” de arenitos pertencentes à Formação Botucatu, que podem servir como áreas de recarga direta a partir das precipitações pluviométricas para o SAG.

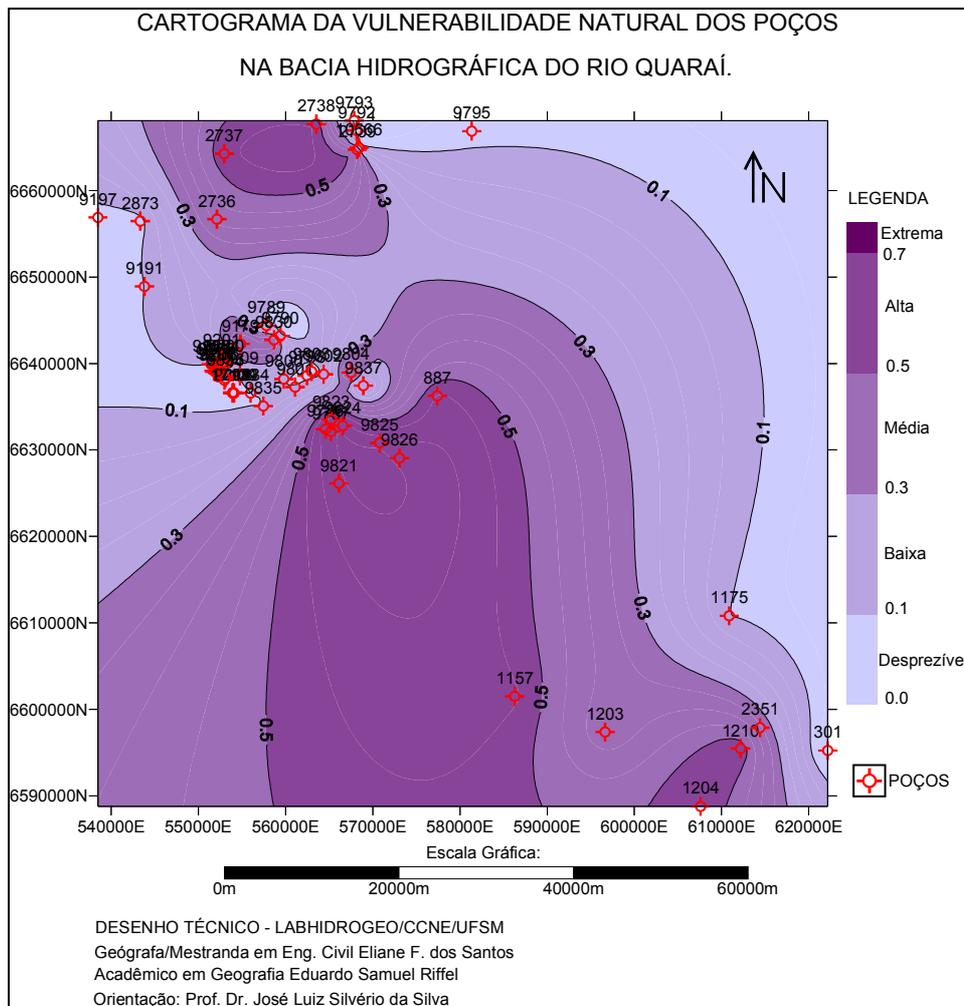


Figura 9- Cartograma da vulnerabilidade natural dos poços na Bacia Hidrográfica do Rio Quaraí.

## 6- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados servirão de subsídios técnicos indispensáveis à gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos pelos órgãos gestores, bem como o uso racional pelos usuários das águas subterrâneas.

A determinação da superfície potenciométrica em 93 poços foi obtida pela diferença da cota do terreno e o nível estático, a fim de identificar a direção do fluxo da água subterrânea. Verificou-se que a tendência geral do fluxo da água subterrânea direciona-se para o Rio Quaraí U-60 (SEMA, 2008), contribuindo para a perenização de suas águas em épocas de estiagem.

Entre os municípios de Quaraí e Santana do Livramento, mais precisamente na região do Areal que fica entre os arroios Areal e Cati, ambos afluentes do Rio Quaraí, que faz divisa com o Departamento de Artigas, no Uruguai, por ser área de recarga direta a partir das precipitações pluviométricas para o SAG, e constatado pelo método *GOD* que esta área apresenta alta vulnerabilidade à contaminação por um agente poluidor imposto na superfície do terreno, o que

aponta a necessidade de um maior cuidado na instalação de atividades futuras e de estudos detalhados em contaminação.

Portanto, se não houver uma carga contaminante (agente poluidor) sobre esta área, não há riscos de contaminação.

## 7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGHETTI, N. R. B; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F., 2004. **Aqüífero Guarani**. A verdadeira integração dos países do Mercosul: Curitiba. 214p.

BRASIL, Estado do Rio Grande do Sul, Decreto n° 42047, de 26/12/2002. Trata dos aquíferos no Estado. Disponível em: <http://www.sema.rs.gov.br/recursosohidricos>. Acesso em: Abril/2008. Arquivo pdf., 7 p.

BRASIL-MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Disponível em: <http://www.mma.gov.br> Acesso em: Maio/2008.

BRASIL-RESOLUÇÃO/CONAMA N° 357, de 17/03/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de águas e diretrizes ambientais para seu enquadramento. p. 4. Disponível em: <http://www.mma.gov.br> Acesso em: Julho/2008.

BRASIL, Sistemas de Informações de Águas Subterrâneas/SIAGAS, Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais/CPRM. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/siagas>. Acesso em: Junho/2008  
COMPANHIA RIOGRANDENSE DE SANEAMENTO/CORSAN. SURFRO (2004).

ECKERT, R. M. e CAYE, B. R., 1995. **Cadastramento de Poços da Cidade de Livramento/RS**, Porto Alegre, CPRM, 1v.; il; mapa - Projeto Cadastramento de Poços do Rio Grande do Sul, 1995. p.45.

FOSTER, S. & HIRATA, R., 1993. **Determinação de Riscos de Contaminação das Águas Subterrâneas**: um método baseado em dados existentes. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. (Boletim n.º 10). 87 p.

FOSTER, et al., 2003. **Protección de la calidad Del Agua Subterránea**: guia para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Madri: Ediciones Mundi – Prensa, 2003.

FRANÇA, H. P.M., 2001. Monitoramento e Gerenciamento de sistemas de produção de água subterrânea. In, IV Simpósio de Hidrogeologia do Nordeste, e XII Encontro Nacional de Perfurados de Poços. Anais. 14-17/10/2001. p. 43-52.

FRANTZ, L. C., 2005. **Avaliação do Índice de Vulnerabilidade do Aqüífero Guarani no Perímetro Urbano da Cidade de Sant’Ana do Livramento – RS**. Santa Maria/RS. 2005. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005.

FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA., 2004. **Resumo Estatístico RS**. Porto Alegre:FEE, 2004. Disponível em: <http://www.fee.rs.gov.br> Acesso em: Abril/2007.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL/FEPAM., 2008. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br> Acesso em: Junho/2008.

GOLDEN SOFTWARE, INC. 2004. Surfer, versão 8.0.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Contagem da População 2007. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) Acesso em: Junho/2008.

MARGARET, J., 1993. As Reservas Secretas. *Correio da UNESCO*, 21 (7): 09-12. Rio de Janeiro: Brasileira.

MOOK, W. G., 2002. Isótopos ambientales en el ciclo hidrológico: Principios y aplicaciones. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de Espana. Séries y Manuales N°1. IGME. Madrid. 596 p.

PÉREZ, A., ROCHA, L., 2002. **Aportes al conocimiento del Acuífero Guaraní. Area Ciudad de Rivera-Uruguay**. Groundwater and Human Development (OSE, Obras Sanitarias del Estado, Uruguay). p. 598-605.

PORTARIA FEDERAL-Ministério da Saúde, N° 518, de 25/03/2004.

REBOUÇAS, A. da. C. et al., 1999. **Águas Doces no Brasil**. Academia Brasileira de Ciências, Instituto de Estudos Avançados da USP.

RIO GRANDE DO SUL., 2000. **Código Estadual do Meio Ambiente**. Lei 11.520 de agosto de 2000. Artigos 134, 135 e 136. Porto Alegre. 108p.

SANTOS, E. F. dos., 2004. **Avaliação da Vulnerabilidade dos poços no município de Quaraí-RS: Prática de Educação Ambiental**. Relatório Final. PROLICEN/2004. Departamento de Geociências, CCNE/UFSM, 41 p.

SANTOS, E. F. dos; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. da., 2007. Banco de Imagens: Uma Proposta de Educação Ambiental. **Ciência e Natura**, UFSM, v.29, n.1. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Junho/2007. p. 79-95.

SANTOS, E. F. dos. et al., 2007. Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral/Guarani no município de Quaraí/RS. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS E I SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA SUL-SUDESTE. Gramado/RS. **Anais...Gramado/RS.:** Associação Brasileira de Águas Subterrâneas/ABAS, 2007. 1 CD-ROM.

SECRETARIA GERAL DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI., 2007. Projeto Sistema Aquífero Guarani/PSAG. Disponível em: <http://www.sg-guarani.org>. Acesso em: Abril/2007.

- SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; HIRATA, R.C. A.; FLORES, E. L. M.; DRESSLER, V. L., 2002. Novas hipóteses sobre a origem do flúor no Sistema Aquífero Guarani na Depressão Gaúcha, Brasil. Anais do XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002.
- SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; SANTOS, E. F. dos.; FRANTZ, L. C.; MALHEIROS, R. P., 2004 a. Arcabouço Geológico-Geomorfológico da Bacia hidrográfica do Rio Quaraí – Rio Grande do Sul/Brasil. in Anais do V Simpósio Nacional de Geomorfologia e I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia: Geomorfologia e Riscos Ambientais. UFSM, Santa Maria/RS, 2 a 7 ago. 2004. 15p.
- SILVÉRIO DA SILVA, J. L., MAZIERO, L.; SANTOS, E. F. dos., 2004 b. Impactos da atividade humana sobre o solo – Aquíferos. in Anais do I Fórum Solos e Ambiente, UFSM, Santa Maria/RS. Pallotti, 2004. p. 145-167.
- SILVERIO DA SILVA et al., 2006. **Estudo de áreas de recarga e descarga do Sistema Aquífero Guarani em Rivera/Santana e Quaraí/Artigas. Estudo da vulnerabilidade em Quaraí/Artigas.** Relatório Final. Secretaria Geral/Organização dos Estados Americanos - SG/OEA. UFSM/UdeLaR, 2006. Disponível em <http://www.sg-guarani.org/texto> completo em pdf e resumo executivo (Português, *Español* e Inglês).
- SUERTEGARAY, D. M. A., 1987. **A Trajetória da Natureza: um estudo geomorfológico sobre os areais de Quaraí-RS.** Tese de Doutorado. Geografia Física (Geomorfologia). Universidade de São Paulo- FFLCH- Departamento de Geografia, 1987.
- , 1998. **Deserto Grande do Sul: Controvérsia.** 2 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 109 p.