

XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E XVII
ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS

VULNERABILIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA MARIA-RS

Leonidas Luiz Volcato Descovi Filho¹ ; José Luiz Silvério da Silva²

Resumo – O presente trabalho ilustra a espacialização da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria-BHRSM, através do método *GOD* Foster *et al.* (2006). Localizada no sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul na borda da Bacia do Paraná na transição para o Escudo Uruguaio Sul-Riograndense, possui uma área de 15.797,300 km². A maior parte desta bacia localiza-se em rochas sedimentares do tipo clásticas, arenitos, siltitos e argilas, pertencentes a Bacia Sedimentar do Paraná que compõem o Sistema Aquífero Guarani SAG. Espacializou-se na forma de mapa temático, a vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos Método *GOD*. Essa informação deu origem ao *shapefile* referente a vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas da BHRSM. O uso preponderante das águas subterrâneas nesta bacia é o abastecimento humano, dispondo-se de uma maior quantidade de informações em áreas urbanas e vazios em áreas rurais devido a baixa densidade populacional e a fatores geológicos limitantes, como por exemplo, a ocorrência de aquíferos com baixa capacidade específica. As classes de vulnerabilidade encontradas foram: alta 35,6%, seguida da média 30,2%, baixa 26,5%, insignificante 5,7 % e na extrema 0,4%. As áreas com vazios de informação corresponderam a 1,1% da BHRSM.

Abstract – This work illustrates the spatial distribution of vulnerability to contamination of groundwater in the Rio Santa Maria-BHRSM basin through *GOD* method of Foster *et al.* (2006). Located in the southwestern state of Rio Grande do Sul, Brazil on the border of the Paraná Basin in the transition to the Uruguayan Shield Southern Rio Grande, has an area of 15,797.300 square kilometers. Most of this basin is located in the clastic sedimentary rocks type, sandstones, siltstones and clays belonging to the Paraná Sedimentary Basin comprising the Guarani Aquifer System GAS.

¹ Universidade Federal de Santa Maria: Campus Camobi, Avenida Roraima, 1000 Prédio 17 Sala 1605, (055)3220 8638, 3220 8207 e leonprs@gmail.com

² Universidade Federal de Santa Maria: Campus Camobi, Avenida Roraima, 1000 Prédio 17 Sala 1605, (055)3220 8638, 3220 8207 e silverioufsm@gmail.com

Spatialized in the form of thematic map, the Vulnerability to contamination of aquifers using GOD method. This information led to the shapefile regarding vulnerability to groundwater contamination of this basin. The preponderant use of groundwater in this basin is the human supply, by forming a larger amount of information in urban areas and gaps in rural areas due to low population density, rice irrigation, soybean cultivation and geological factors limiting, for example, the occurrence of aquifers with low specific capacity. The prevalent vulnerability classes were: high 35.6%, moderate 30.2%, low 26.5%, negligible 5.7% and extreme 0.4%. The areas with information gaps accounted 1.1% of the basin.

Palavras-Chave – Vulnerabilidade; GOD; SAG.

1 - INTRODUÇÃO

Estudar e mapear a vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas representa uma forma de contribuir para a espacialização e elucidação das áreas mais vulneráveis. Associando aos pontos potenciais de contaminação gerados pela sociedade, e/ou pelo tipo do ambiente natural em um determinado espaço e tempo, este tipo de ilustração dos processos sócio-naturais (mapas) que ocorrem nos recursos hídricos, serve de ferramenta no planejamento e na gestão desses recursos.

Estudos hidrogeológicos e de vulnerabilidade natural vem sendo realizados em todo mundo, cita-se os Estados Unidos da América (EUA), com sua vulnerabilidade completamente mapeada através dos trabalhos realizados pela *Environmental Protection Agency* (EPA), em trabalho desenvolvido por Aller *et al.* (1997)[1], bem como em Portugal por Lobo-Ferreira (1998)[2]. No Brasil, conta-se com excelentes trabalhos, como IG/CETESB/DAEE (1997)[3] que ilustra a cartografia sobre a vulnerabilidade de todo o estado de São Paulo. Estudos hidrogeológicos foram realizados na porção Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, onde se inclui a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, como, por exemplo, através dos trabalhos de Presotto *et al.* (1973)[4], CPRM (1986)[5] projeto borda leste, Machado (2005)[6] Tese de Doutorado, o Relatório do Mapa Hidrogeológico do Estado Machado e Freitas, (2005a)[7] e o Mapa Hidrogeológico do Estado Machado e Freitas, (2005b)[8], PSAG (2007)[9], os quais consideram essa porção do sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul uma área de recarga direta do Sistema Aquífero Guarani/Serra Geral (SAG/Serra Geral). Esses fatos justificam o interesse em se intensificar os estudos hidrogeológicos, em especial, no que se refere à vulnerabilidade natural, visando suprir a lacuna deixada sobre esta temática em nosso estado (Machado e Freitas, 2005a[7] e b[8]).

1.1 - Localização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria (BHRSM) se situa na fronteira sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), aproximadamente entre as coordenadas 31°30' e 30°00' de latitude Sul e 55°30' e 54°00' de longitude Oeste de Greenwich, abrangendo uma área de 15.797,300 km². Na bacia, localiza-se parte de seis municípios:

- Santana do Livramento;
- Dom Pedrito;
- Lavras do Sul;
- Rosário do Sul;
- Cacequi,
- São Gabriel.

A população estimada dos Municípios que compõem a BHRSM é de 241.858 habitantes IBGE, (2009)[10]. Entretanto, a população que reside efetivamente dentro da bacia é de aproximadamente 200.000 habitantes, uma vez que as áreas urbanas dos municípios de São Gabriel e Lavras do Sul encontram-se fora da bacia.

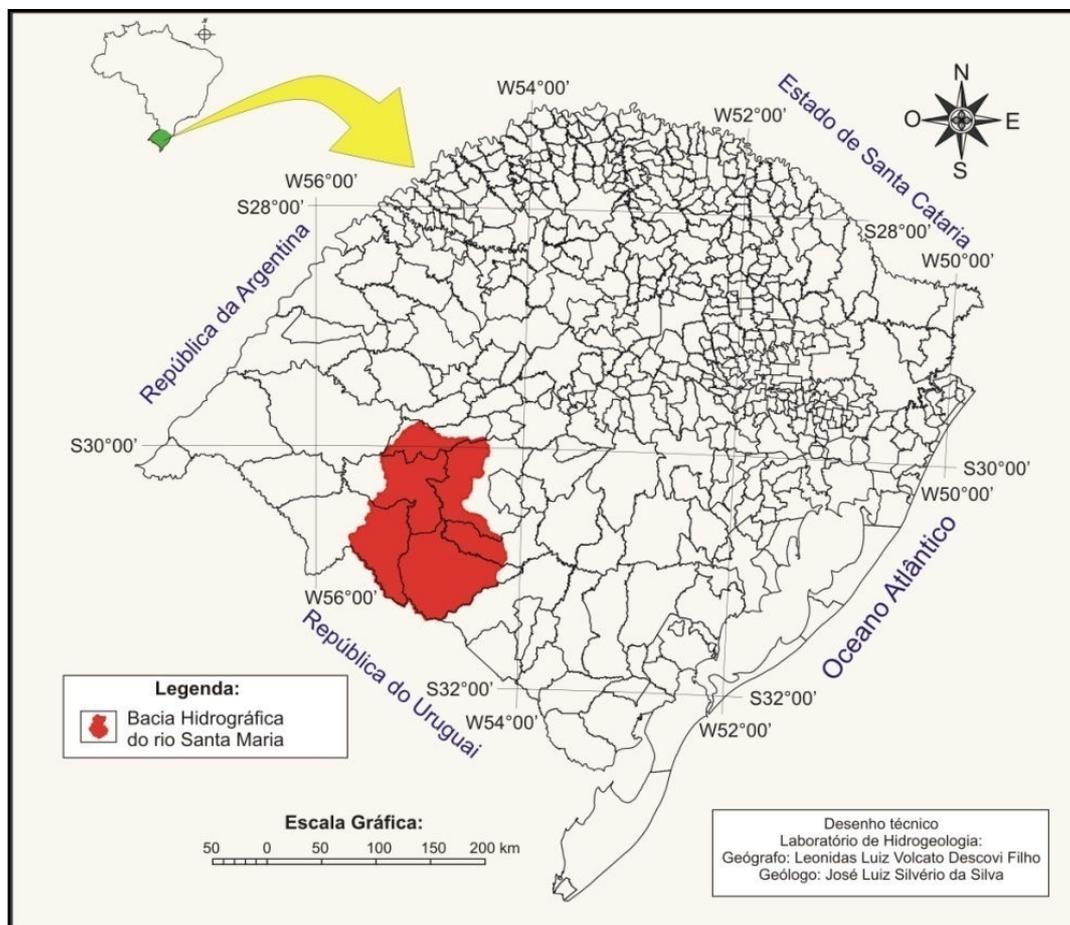


Figura 1 - Localização da BHRSM/RS. Fonte: Descovi Filho et al. (2008)[11].

A área em estudo está localizada sobre a região de transição entre o Escudo Cristalino (Escudo Cristalino Uruguaio-Sul-Riograndense), a leste, e a Depressão Central, em sua porção central, e ainda o Planalto da Serra Geral, no extremo oeste Carraro *et al.*,(1974)[12]. As rochas dominantes são as sedimentares do tipo arenitos, pertencentes às formações Botucatu, Guará, Sanga do Cabral e Rosário do Sul. Nesses arenitos localiza-se um pacote hidrogeológico, conhecido internacionalmente como Sistema Aquífero Guarani (SAG), de dimensões continentais. Esse sistema aquífero ocupa parte de oito estados brasileiros (RS, SC, PR, SP, MS, MT e GO), bem como parte do Uruguai, da Argentina e do Paraguai (PSAG, 2009)[13].

1.2 - Vulnerabilidade das águas subterrâneas

Em hidrogeologia o conceito de vulnerabilidade das águas subterrâneas começou a ser introduzido inicialmente por Le Grand (1964)[14], nos EUA, e Albinet & Margat (1970)[15], na França. Na década de 1980, foi amplamente utilizado por vários autores Bachmat & Collin, (1987)[16]; Aller *et al.*, (1997)[1]; Foster *et al.*, (2006)[17], e, nos anos 90, por autores como Civita (1990)[18]. Embora se referisse à suscetibilidade relativa dos aquíferos à contaminação antropogênica, o termo vulnerabilidade inicialmente era usado sem nenhum objetivo de definição formal.

Existem vários métodos para a avaliação e a espacialização da vulnerabilidade de aquíferos, entre eles a metodologia *GOD*, desenvolvida por Foster *et al.* (2006)[17] e a metodologia *DRASTIC* de Aller *et al.* (1997)[1].

Na BHRSM foram realizados trabalhos de avaliação da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas dentre os quais cita-se a dissertação de mestrado de Pavão (2004)[19], que estudou o índice de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos, utilizando cerca de 528 poços do SIAGAS/CPRM cadastrados até o ano de 2005, constatando que cerca de 47% da área total da bacia pertence ao Sistema Aquífero Guarani.

Com o objetivo de avaliar a aplicabilidade da cobrança pelo uso da água, Forgiarini (2006)[20] desenvolveu e simulou um modelo de cobrança pelo uso da água na BHRSM. Para formulação do cálculo da cobrança, foi considerado, entre outros coeficientes, a vulnerabilidade dos aquíferos, objetivando diferenciar as classes de vulnerabilidade natural dos aquíferos para induzir a captação em poços nas áreas menos suscetíveis à contaminação. Nesse estudo foi aplicado o método *GOD* Foster *et al.* (2006)[17] para a BHRSM.

Outros estudos de vulnerabilidade ocorreram em setores da BHRSM. Como exemplo, cita-se os trabalhos desenvolvidos por Frantz (2005)[21], que aplicou o método *GOD* para o perímetro

urbano do Município de Santana do Livramento situado na borda sudeste da bacia, e por Camponogara (2006)[22], utilizando a metodologia *DRASTIC* para avaliação de vulnerabilidade do SAG na mesma região.

Assim, o objetivo principal de um mapa de vulnerabilidade, é a subdivisão de uma área em diferentes unidades homogêneas, às vezes, chamadas de células ou polígonos, que tem diferentes graus/níveis de vulnerabilidade. Contudo, esta diferenciação entre as células só demonstra a vulnerabilidade relativa de uma área a respeito de outra, não representam valores absolutos. Antes de tentar construir um mapa de vulnerabilidade, deve ser cuidadosamente definido e analisado o termo vulnerabilidade da água subterrânea. Nesse trabalho, considera-se vulnerabilidade a propriedade intrínseca de um sistema aquífero que depende de sua sensibilidade a impactos naturais e/ou antropogênicos (Vrba e Zaporozec, 1994)[23].

No entanto, deve ser enfatizado que existe mais de um tipo de vulnerabilidade das águas subterrâneas. O conceito anterior refere-se à vulnerabilidade intrínseca ou natural, que é uma função das características hidrogeológicas do aquífero, do solo e dos materiais geológicos que o recobrem. Além dessas propriedades intrínsecas, podem ser considerados os potenciais efeitos de certos poluentes, em detrimento (no espaço e no tempo) do consumo presente e futuro das águas subterrâneas.

Em vista disso, é cientificamente mais coerente avaliar a vulnerabilidade de cada tipo de poluente (nutrientes, patógenos, metais pesados, etc.), ou cada grupo de atividades poluidoras (agrícola, industrial, etc.), mas, em geral, não existem informações suficientes para atingir este ideal. Por outro lado, isso exigiria a consulta de um atlas de vulnerabilidade para cada zona, o que pode não ter muita utilidade prática. É por isso que no mundo tem tido grande desenvolvimento de sistemas de classificação de vulnerabilidade dos aquíferos, avaliando a vulnerabilidade intrínseca natural ou integrada.

- Foster *et al.* (2006)[17] comenta que avaliar os perigos de contaminação do aquífero é necessário para definir, de forma clara, ações requeridas para proteção à qualidade da água subterrânea.

- Foster *et al.* (2006) [17] expõe como processos comuns de poluição da água subterrânea, aterro ou lixões de resíduos sólidos, rio influente poluído, drenagem e área industrial, vazamento em tanques de armazenagem, saneamento *in-situ* (fossas sépticas), drenagem em área rural, vazamento de rede de esgoto, lagoas de águas residuais e intensificação agrícola.

- A forma com que os aquíferos se tornam contaminados ocorre pela entrada das águas meteóricas através da infiltração direta ou indireta, na superfície do solo ou rocha. As atividades que ocorrem na superfície podem ameaçar a qualidade da água subterrânea. O

solo e as formações rochosas existentes na região vadosa (zona não saturada) possuem uma determinada capacidade de atenuação natural, as reações químicas e a degradação bioquímica contribuem para a eliminação dos contaminantes. Os aquíferos não-confinados são alvo de grande preocupação em relação a sua contaminação, principalmente, onde o nível da água é muito superficial (zona vadosa pouco espessa), apresentando-se muito expostos às atividades antrópicas existentes em superfície, e à alta vulnerabilidade natural a contaminação das águas subterrâneas.

Desta forma conclui-se que os mapas de espacialização da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos indicam o potencial natural dos materiais geológicos associados à zona vadosa (= edáfica, = aerada) e à biota para agirem como “biodigestores” dos resíduos líquidos (chorumes, necrochorumes), esgotos “in natura”, e causarem alteração na qualidade da água subterrânea tanto em áreas urbanas quanto rurais.

Outros autores, como Dalmolin *et al.* (2006)[24], também mostram-se preocupados com as modificações sofridas pelos solos em áreas urbanas, e destacam:

O uso incorreto dos solos urbanos é conseqüência da falta de conhecimento do seu comportamento. Profissionais que não atuam na área da pedologia costumam ignorar a ciência do solo, enquanto a grande maioria dos pedólogos está voltada para estudos dos solos em áreas agrícolas e florestais. Tal fato mostra a falta de sintonia entre estes diferentes profissionais, dificultando uma abordagem multidisciplinar deste tema importante no sucesso dos empreendimentos urbanos. É necessário, portanto, maiores estudos sobre o uso dos solos e seu comportamento em áreas urbanas, para que estas informações estejam disponíveis e venham a contribuir para um melhor gerenciamento e planejamento dos espaços urbanos (DALMOLIN *et al.*, 2006, p.22 e 23)[24].

Estes autores já alertaram que estudos multidisciplinares são fundamentais em ciências ambientais, bem como a questão dos solos urbanos, que na maioria das vezes carece de informações. Os solos são determinantes para a qualidade e proteção das águas subterrâneas, uma vez que eles estão sobre a superfície, capeando e protegendo os aquíferos. No método *GOD* (FOSTER *et al.*, 2006) [17], não se avalia separadamente os solos, portanto eles foram considerados associados junto com a variável (O), ocorrência litológica, um dos três parâmetros na avaliação do índice de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos.

2 - MATERIAIS E MÉTODO

A partir das informações contidas no cadastro SIAGAS/CPRM, e nos cadastros realizados em campo, com informações de 255 captações pertencentes à BHRSM. Para o cálculo do índice *GOD* e espacialização foram levantadas e avaliadas informações básicas das captações como:

- Dados Gerais: Identificação ou ID do poço, cota do terreno (m), localização do poço (coordenadas UTM norte e leste);
- Dados Construtivos: Profundidade Inicial (m), Profundidade Final (m), Perfil construtivo com descrição litológica;
- Dados Geológicos: Feições Geomorfológicas e Formações Geológicas;
- Dados Hidrogeológicos: Condição do Aquífero no ponto;
- Teste de Bombeamento: Nível Estático (m);

As coordenadas contidas nos dados gerais encontram-se no Sistema Universal Transversal de Mercator (UTM), utilizando-se como referência o Datum Horizontal “South American Datum”, 1969, (SAD-69) e o Datum Vertical o Porto de Imbituba/Santa Catarina. A origem da quilometragem UTM Equador e meridiano 57°W de GR, acrescidas as constantes 10.000 km e 500 km respectivamente, portanto fuso 21, sul do equador.

Utilizou-se como base cartográfica o SM-SIG1 - Sistema de Informações Geográficas da BHRSM - proposto, executado, e aprimorado por trabalhos anteriores (UFSM/SEMA 2004)[25], como pela equipe do Grupo de Gestão dos Recursos Hídricos (GERHI/UFSM). O SM-SIG1 é composto por vários planos de informações, os quais são representados pelos seus *shapefiles*. Os *shapefiles* utilizados neste trabalho foram, *shapes* da base cartográfica (limite da BHRSM, rede de drenagem, centros urbanos, estradas);

Para os poços que não apresentaram a informação de cota altimétrica e que não foram visitados em campo, recuperou-se a informação da altimetria utilizando-se as imagens TOPODATA, com resolução espacial 30 x 30 metros, com escala de 1:250.000, disponibilizadas pela Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR) e pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A elaboração do mapa de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos realizou-se a partir de informações referentes a 210 captações pertencentes ao cadastro do SIAGAS/CPRM (até julho de 2009), além de 45 captações levantadas em três campanhas de trabalhos em campo. Utilizou-se a metodologia *GOD* de Foster *et al.* (2006) [17] para avaliação da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos, que fundamenta-se em três aspectos do aquífero. São eles:

- O grau de confinamento hidráulico *Groundwater hydraulic confinement (G)*, elaborado a partir de informações do tipo do substrato sobrejacente ao aquífero e/ou aquífero;
- A ocorrência litológica *Overlaying strata (O)*, representada e obtida com base no perfil geológico do poço, sendo que, dependente do tipo do material ocorrente nas camadas sobrejacentes ao topo do aquífero, essas camadas são atingidas pelas perfurações como a do poço em análise;

• A profundidade ou distância do nível da água *Depth to water (D)*, representa o valor em metros entre a camada da superfície do terreno e o topo do aquífero no ponto. E também do nível da água em aquíferos livres ou nível estático.

Os valores de G, O e D, são atribuídos conforme a metodologia proposta por Foster *et al.* (2006) [17] e apresentada conforme a Figuras 2.

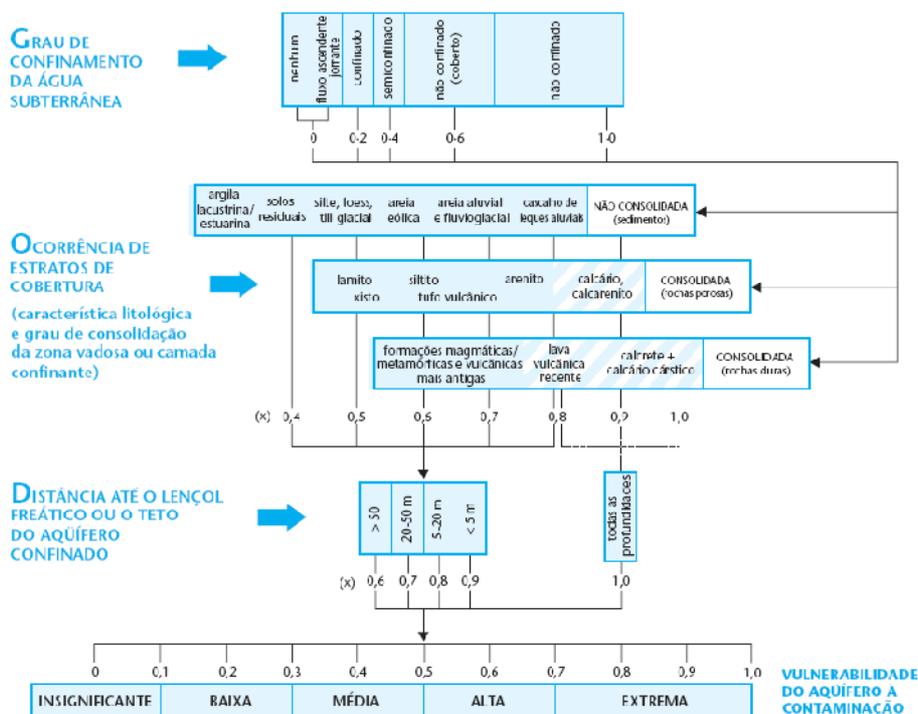


Figura 2 - Ilustra a sistemática para obtenção da vulnerabilidade do aquífero Fonte: Foster *et al.* (2006) [17].

A Vulnerabilidade do aquífero à contaminação e seu Índice de vulnerabilidade podem ser obtidos pela expressão $IV = G.O.D$, sendo que a vulnerabilidade é expressa em números de 0 a 1 e como insignificante, baixa, média, alta e extrema conforme o tabela 1.

Esse método considera um intervalo de valores entre zero e um. Assim, os poços podem apresentar intervalos de vulnerabilidade conforme o tabela 1:

Tabela 1 - Intervalos de vulnerabilidade da metodologia *GOD*

Vulnerabilidade	Intervalos	Cor
Insignificante	0,0 – 0,1	Branca
Baixa	0,1 – 0,3	Verde
Média	0,3 – 0,5	Amarela
Alta	0,5 – 0,7	Laranja
Extrema	0,7 – 1,0	Vermelha

Conforme ilustrado na figura 3, cada parâmetro deve ser multiplicado entre si, obtendo-se o índice de vulnerabilidade do aquífero à contaminação. Como exemplo, tem-se o Município de Santana do Livramento, por meio das notas referentes ao poço SIAGAS N° 4300000253. Quanto ao

grau de confinamento hidráulico, esse poço recebeu peso 1,0, pois ele constitui um aquífero livre (ou não confinado). Ver linha 1 (grau de confinamento hidráulico da água subterrânea) ilustrada na figura 3.

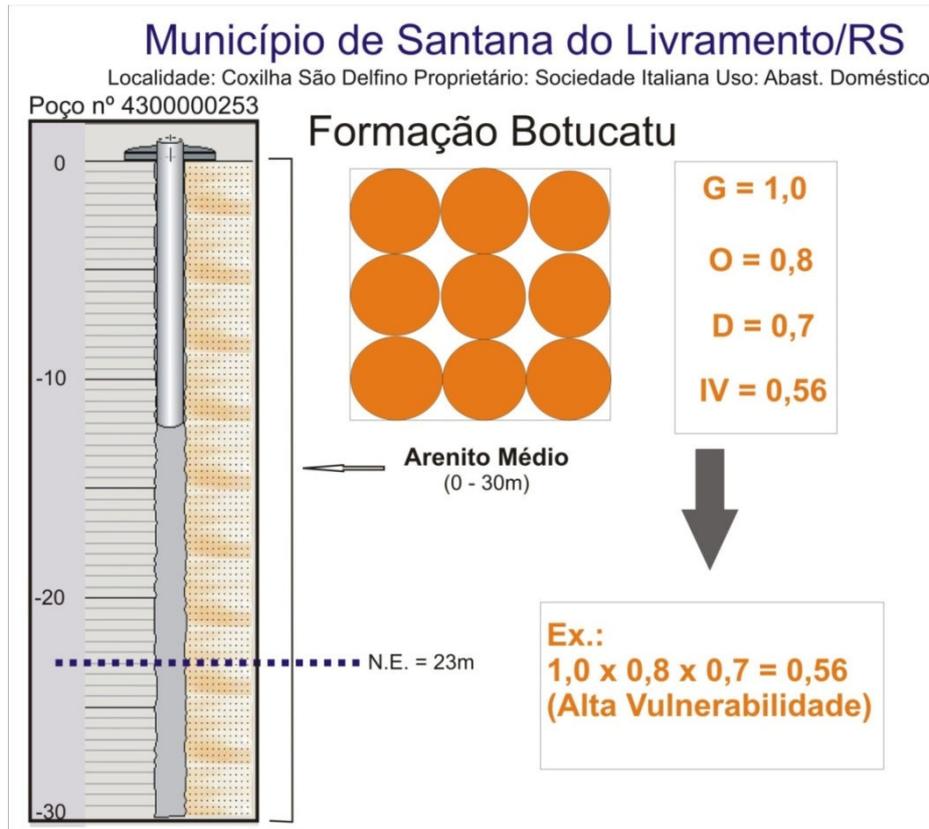


Figura 3 - Exemplo da aplicação do método *GOD* no poço SIAGAS Nº 4300000253, em detalhe os grão arredondados do arenito médio que compõe a Formação Botucatu. Fonte: SIAGAS/CPRM (2009)[29] Modificado por Descovi Filho (2009)[26].

A ocorrência litológica é composta por um arenito médio, portanto se pode observar que a linha 2 ($O = 0,8$ - ocorrência de estratos de cobertura), ilustrada na figura 3, indica rocha porosa consolidada, compondo um aquífero do tipo poroso granular (SILVÉRIO DA SILVA *et al.*, 2004)[27]. Essa Unidade Hidroestratigráfica corresponde à Formação geológica Botucatu, a qual é composta por quase 99% de partículas arenosa de tamanho médio bem selecionado (0,250 – 0,50 mm), com arredondamento elevado, e com índice de porosidade variando entre 17 – 30%, segundo Araújo *et al.* (1999)[28]. Portanto, todos estes atributos indicam que o material componente dos estratos saturados em água compõe um aquífero, o qual deve apresentar valor máximo 0,8.

Para arenitos argilosos como os pertencentes a algumas fácies sedimentares da Formação Rosário do Sul, tem-se como exemplo o poço SIAGAS Nº 4300002746, ilustrado na figura 4, composto por arenito argiloso e que apresenta uma porosidade variando entre 14 – 24%, conforme apresentado em Araújo *et al.* (1999)[28]. Esse tipo de material deve receber nota menor no parâmetro de ocorrência litológica (O), ou seja, 0,7, levando em consideração a metodologia *GOD*.

Isso é decorrente, porque os componentes argilosos de baixa permeabilidade dificultam a circulação de um contaminante dissolvido ou sobrenadante na água subterrânea.

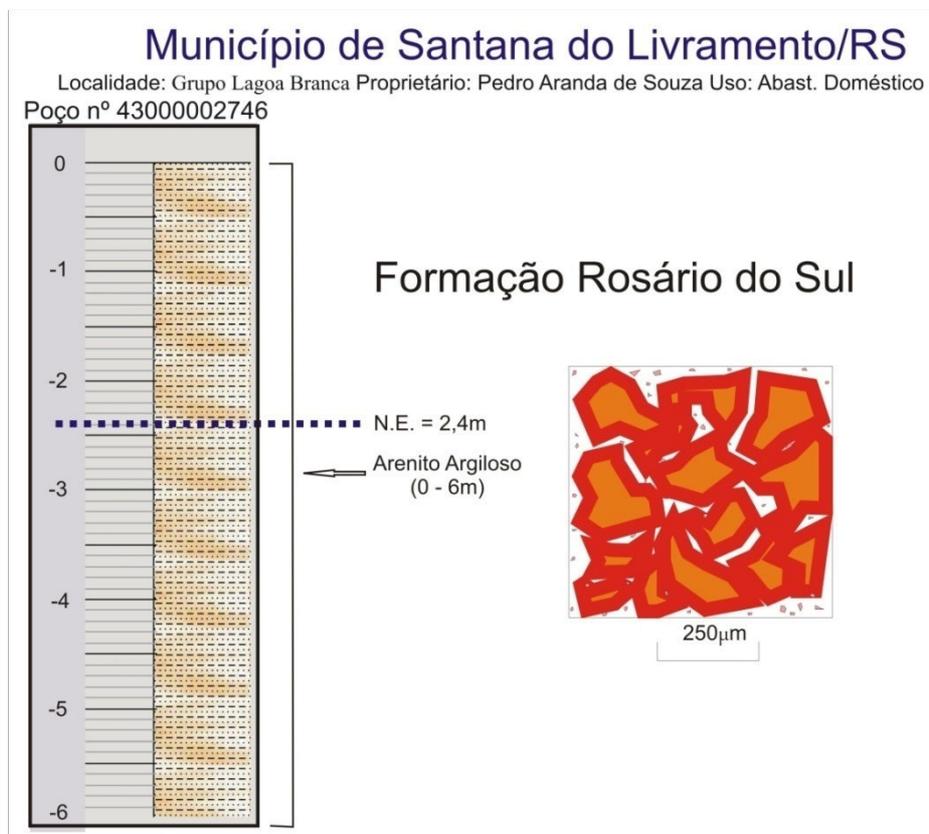


Figura 4 - Poço SIAGAS Nº 4300002746, na Formação Rosário do Sul, em detalhe, arenitos argilosos. Fonte: SIAGAS/CPRM (2009)[29] Modificado por Descovi Filho (2009)[26].

Para elaboração da espacialização da vulnerabilidade, utilizou-se o programa SURFER 8.0 Golden Software (2004), e, como método de interpolação matemática, a krigagem. O referido método atribui valores a espaços vazios, a partir das informações em pontos (captações) com valores calculados/determinados, obtendo-se um cartograma.

Após a execução do mapa de vulnerabilidade, no programa SURFER 8.0, exportou-se em formato *shapefile* para o programa ArcGIS 9.3.

A Edição final dos mapas foi executada no programa Corel Draw da COREL INC.

3 - DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Com o objetivo de avaliar o índice de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas na BHRSM a partir das informações disponibilizadas pelo Sistema de Informação de Águas Subterrâneas SIAGAS/CPRM (2009)[29], e de posse de um banco de dados hidrogeológicos com informações dos poços inventariados por Descovi Filho (2009)[26], aplicou-se a metodologia *GOD* de Foster *et al.* (2006) [17], referentes a 255 poços com informações inseridos na BHRSM.

Encontrou-se cinco classes de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos na BHRSM, são elas: insignificante, baixa, média, alta e extrema, além de vazios de informações de captações.

Esses vazios se devem a metodologia usada no trabalho, que considerou as captações situadas dentro da bacia, bem como se deve a questões geológica e hidrogeológica, ou seja, setores da bacia não possuem captações por poços devido a litologia granítica e/ou produtora de águas impróprias para consumo humano, com teores elevados de sais dissolvidos nas águas subterrâneas.

A partir da Figura 5, relativa à espacialização da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos da BHRSM, pode-se dizer que:

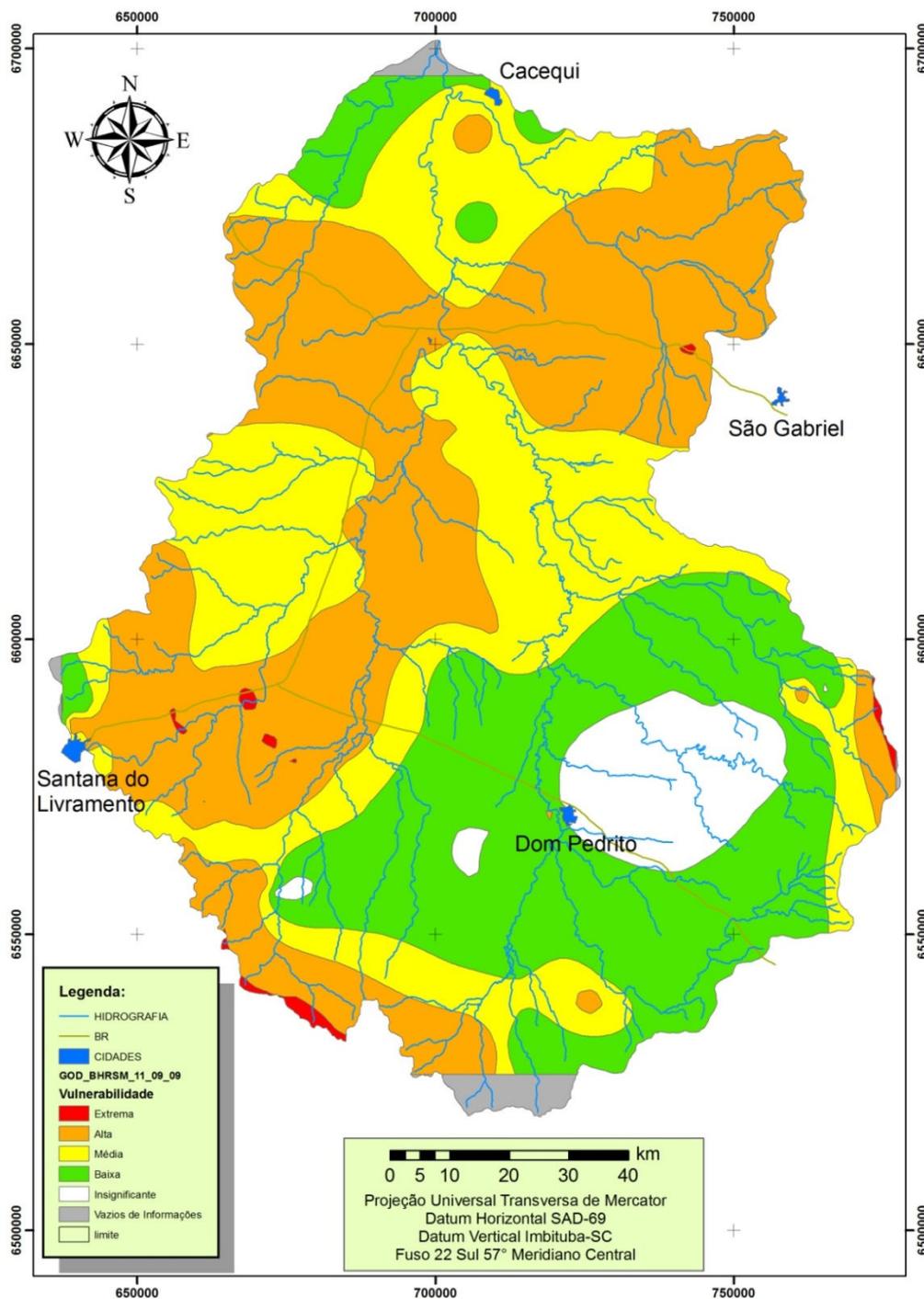


Figura 5- Ilustra o mapa de vulnerabilidade á contaminação GOD para a maior parte da BHRSM. OBS.: Os valores das classes estão na metodologia.

Houve uma predominância da classe alta 35,6%, representando cerca de 5.674,075 km² da BHRSM. Destaque teve também a classe média 30,2%, ou seja, cerca de 4.760,117 km² da BHRSM. Já a classe baixa apresentou um percentual de 26,5% da área da bacia. A classe insignificante perfaz 5,7%, ou seja, cerca de 900,332 km² em escala da BHRSM. Já a classe extrema apresentou uma pequena distribuição espacial na BHRSM com apenas 0,4%, equivalente a 60,423 km² de área da BHRSM.

Salienta-se que a classe extrema ocorreu principalmente associada ao Domínio 2 = Bacias Sedimentares (CPRM, 2007)[30], neste caso em específico a Bacia Sedimentar do Paraná, associado aos Sistemas Aquíferos Porosos, representados principalmente pelas formações Triássicas (Rosário do Sul e Sanga do Cabral), Cretácea (Santa Tecla) e Cenozóica (Depósitos aluvionares) (FREITAS *et al.*, 2004)[31].

As proximidades da área urbana do Município de Santana do Livramento, apresentou a maior quantidade de informações de captações, ocorrendo aproximadamente 100 captações. Notou-se um amplo predomínio da classe alta nesta porção da bacia (borda Sudoeste da BHRSM).

Deve-se lembrar que a cidade de Santana do Livramento é abastecida pelos Aquíferos Porosos Triássicos acrescidos dos Aquíferos Porosos Eo-Cretáceos mais conhecidos como Aquíferos Guarani e atualmente Sistema Aquífero Guarani (SAG) associadas ao Domínio 2 (CPRM, 2007)[30]. Nitidamente é este setor da bacia onde ocorrem a maior parte das captações existentes nos cadastros do SIAGAS/CPRM.

Estudos de Frantz (2005)[21] já haviam apresentado os principais pontos potenciais de contaminação para a cidade de Santana do Livramento. Destacou a ocorrência de quatro cemitérios localizados em áreas de afloramentos do SAG, portanto de recarga direta a partir das precipitações pluviométricas, logo representando risco potencial. Em estudo da vulnerabilidade na região de Quaraí/Artigas (SILVÉRIO DA SILVA *et al.*, 2006)[32], dos quatro cemitérios maiores existentes na área municipal, apenas um estava licenciado. De acordo com as Resoluções Federais do CONAMA n^{os} 335/2006[33] e 368/2006[34] complementada pela estadual, cabe às prefeituras municipais realizarem o licenciamento de impacto local, desde o ano de 2005, quando realizado o Projeto Caracterização de áreas de recarga e descarga do SAG em Rivera/Santana e Quaraí/Artigas.

Na área urbana haviam sido cadastrados cerca 22 postos de combustíveis (FRANTZ, 2005)[21], e muitos deles com lavagens e uso de poços tubulares para captações de água. Recentemente, o Conselho de Recursos Hídricos aprovou a Resolução n^o 60/2009[35], que objetivou estabelecer critérios para outorga de uso das águas subterrâneas, a cerca do disposto no Art. 96 do Decreto Estadual n^o 23.430/74[36]. Considerando:

[...] o disposto no *caput* dos artigos 87 e 96 do Decreto Estadual n^o 23.430, de 24 de outubro de 1974, os quais definem que somente pela rede de abastecimento de água

potável, quando houver, far-se-á o suprimento da edificação e que nas zonas servidas por rede de abastecimento de água potável os poços serão tolerados exclusivamente para fins industriais ou para uso em agricultura e floricultura;

Portanto, aos postos de combustíveis é permitido o uso de captações de águas subterrâneas para fins industriais através de poços tubulares.

Ainda deve ser lembrado que a taxa de coleta e tratamento de esgotos pelo DAE em Santana do Livramento seja da ordem de 30% do total produzido na área urbana. O antigo Lixão Municipal, localizado em terrenos de constituição vulcânica e/ou suas alterações, que se localiza na Formação Serra Geral e/ou no Aquífero Fissural Serra Geral (FREITAS *et al.*, 2004)[31] e ao Domínio 5 = Vulcânicas (CPRM, 2007)[30], foi desativado há vários anos.

Os vazios de informações calculados chegaram a 1,1%, ou seja, um valor de 177,419 km² na escala da BHRSM e de acordo com a Figura 5, localizaram-se em pontos extremos da BHRSM. Estes vazios devem-se a provável ausência de captações subterrâneas ou a inexistência de tubo guia implantado em poço tubular, não sendo possível a obtenção do nível da água com uso do freatímetro. Este exemplo ocorreu na localidade de fronteira denominada Serrilhada, município de Dom Pedrito, na divisa seca com o Uruguai. Esta comunidade, em abril de 2009, era abastecida por água de chuvas ou cedida pela *Obras Sanitárias Del Estado* (OSE). Observou-se uma despreocupação das autoridades brasileiras em suprir adequadamente a comunidade. Havia três caixas de água de fibra de cimento, sem tampas, expostas à natureza. A vigilância sanitária municipal não visitava o local há meses. Os moradores informaram que não ocorriam precipitações pluviométricas há pelo menos três meses (Fevereiro, Março, e Abril de 2009). Do lado uruguaio, pertencente ao Departamento de Rivera, havia água encanada, distribuída pela OSE, e já contava com hidrômetros instalados. O poço tubular existente do lado brasileiro estava com a bomba submersa “afundada”. Esta observação mostra a importância da realização de trabalhos de campo com visitas *in loco*.

Informa-se que, durante a realização deste trabalho, as captações onde era possível uma coleta de água, realizaram-se análises com sondas multiparâmetros em campo. Os resultados eram repassados à comunidade. O formulário para registro e/ou coleta destas avaliações e as orientações sobre o cuidados com as captações (Educação Ambiental) eram fornecidas aos usuários de águas subterrâneas.

4 - CONCLUSÃO

A elaboração do mapa da vulnerabilidade *GOD* contribui como uma ferramenta para gestão das águas subterrâneas da BHRSM, colaborando para manutenção e reconhecimento da qualidade das águas subterrâneas desta bacia.

O Domínio Hidrogeológico 2 (CPRM, 2007) foi preponderante na BHRSM Descovi Filho (2009), associado às Bacias Sedimentares e aos Aquíferos intergranulares porosos, neste caso representado pela Bacia Sedimentar do Paraná e parte do Sistema Aquífero Guarani. Este Domínio apresentou como classe principal de vulnerabilidade a alta, com cerca de 48% de sua área. O Domínio 2 é composto principalmente por rochas sedimentares, e portanto porosas, com elevada condutividade hidráulica, o que facilita a percolação de contaminantes. Portanto apresentam aspectos de maior risco de contaminação em aquíferos livres, nos quais são executadas atividades agrícolas com uso de agroquímicos e nas áreas urbanas os usos antropogênicos associados aos pontos potenciais de contaminação através de esgotos, cemitérios, postos de combustíveis e depósitos de resíduos sólidos. Enquanto que os aquíferos semiconfinados podem estar por exemplo parcialmente protegidos por camadas de constituição argilosa (impermeável), associados a Formação Rosário do Sul.

Como recomendações para estudos futuros sugere-se que sejam atualizados os cadastros dos poços e/ou nascentes (SIAGAS), de modo a cobrir as lacunas de informações existentes na BHRSM.

Agradecimentos: à Financiadora de Estudos e Projetos-FINEP pelo financiamento do Projeto Chamada Pública MCT/FINEP/CT-HIDRO IGRH 01/2007 "Integração dos instrumentos de outorga, enquadramento e cobrança para a gestão das águas subterrâneas" (2008-2011), processo institucional CNPq/CT-HIDRO 52.0129/2008-3, pelos auxílios e bolsa DTI.

5 - BIBLOGRAFIAS

ALBINET, M. e Margat, J., 1970. Cartographie de la vulnerabilite a la pollution des nappes d'eau souterraine. Bull BRGM 2me Series 3(4):13-22. [15]

ALLER, L. *et al.*, 1997. Drastic: A standardized system for evaluating groundwater pollution potencial using hydrogeologic setting. United States: EPA. [1]

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 7:317–336. [28]

BACHMAT, Y. & Collin, M., 1987. Mapping to assess groundwater vulnerability to pollution. In: Vulnerability of soil and groundwater to pollutants (W. van Duijvenbooden and H.G. van Waegeningh, eds.), TNO Committee on Hydrological Research, The Hague, Proceeding and Information No. 38, p. 297-307.[16]

CAMPONOGARA, I., 2006. Vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero Guarani, em Santana do Livramento, RS, com uso de Geotecnologias. Programa de Pós-Graduação em Geomática, UFSM, Dissertação de Mestrado em Geomática. Santa Maria. 110p.: ilustr. [22]

CARRARO, C. *et al.*, 1974. Mapa geológico do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Instituto de Geociências/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Mapa nº 8, 29 p., escala 1: 1.000.000. [12]

CIVITA, M., 1990. Assesment of aquifer vulnerability to contamination. "Protezione e Gestione delle Acque Sotteranee Mettologie, Technologie e Obbietivi". Marano sul Panaro, v-3, p. 39-86.[18]

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, CNRH. Resolução nº 60/2009 Dispõe sobre a outorga de captação de águas subterrâneas e autorização para perfuração de poços em áreas abastecidas por rede pública e dá outras providências. Disponível em: http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/res_principal.htm acesso em março de 2010. [35]

CONSELHO NACIONAL DO MEIO-AMBIENTE, CONAMA. Resolução CONAMA n ° 335 de 28 de maio de 2003."Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios" Publicação DOU nº 101, de 28/05/2003, págs. 98-99 [33]

CONSELHO NACIONAL DO MEIO-AMBIENTE, CONAMA. Resolução CONAMA n ° 368 de 29 de março de 2006. "Altera dispositivos da Resolução Nº 335, de 28 de abril de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios" Publicação DOU nº 061, de 29/03/2006, págs. 149-150. [34]

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS, CPRM. 1986. Mapas Geológicos. Escala 1:100.000, Anexos 67, 68, 77, 78, 79, 80, 89, 90, 91 e 92. Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná Integração Geológica e Avaliação Econômica. [5]

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS, CPRM. 2007. Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil. Escala 1:2.500.000. CPRM, 1 CD – ROM. 2007. [30]

DALMOLIN, R. S. D., Pedron, F. de A., Azevedo, A. C., 2006. Modificações dos solos em áreas urbanas in: DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C.; PEDRON, F. de A. Solos & Ambiente – II Fórum. Santa Maria: Orium, P. 09 – 25. [24]

DESCOVI FILHO, L. L. V. *et al.* (2008) Subsídios Ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, Rio Grande do Sul. IN: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas (ABAS). Natal, RN. 2008. p. 1- 18. [11]

DESCOVI FILHO, L. L. V., 2009. Subsídios ambientais para a gestão das águas subterrâneas na bacia hidrográfica do rio Santa Maria-RS. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. [26]

- ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. 1974. Decreto Estadual Nº 23.430/74: Código Sanitário do Estado do Rio Grande do Sul, de 24/10/74. Aprova regulamento que dispõe sobre a promoção, proteção e recuperação da saúde pública. [36]
- FORGIARINI, F. R., 2006. Modelagem da cobrança pelo uso da água bruta para aplicação em escala real na bacia do rio Santa Maria. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, 142p. [20]
- FOSTER, S. S. D., Hirata, R. C. A., Gomes, D., D'elia, M., Paris, M., 2006. Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Groundwater Management Advisory GW.MATE WB. [17]
- FRANTZ, L. C., 2005. Avaliação do Índice de Vulnerabilidade do Aquífero Guarani no Perímetro Urbano da Cidade de Santana do Livramento – RS. Santa Maria/RS. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSM, Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 125p. [21]
- FREITAS, M. A. de *et al.*, 2004. Mapa hidrogeológico do rio grande do sul: Um avanço no conhecimento das águas subterrâneas no estado. In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas (ABAS). Cuiabá, MT. p. 1-14. [31]
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. CIDADES@. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>> acesso em 28 de outubro de 2009. [10]
- IG/CETESB/DAEE., 1997. Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. IG; CETESB, 129p. [3]
- LE GRAND, H., 1964. System for evaluating contamination potential for some waste sites. American Water Work Association Journal. V.56 (8):959-974. [14]
- LOBO-FERREIRA, J. P. C., 1998. Vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas: fundamentos e conceitos para uma melhor gestão e proteção dos aquíferos de Portugal. IV Congresso da Água. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Lisboa. [2]
- MACHADO, J. L. F., Freitas, M. A. de., 2005a. Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: relatório final. Porto Alegre: CPRM, 65p.: il. [7]
- MACHADO, J. L. F., Freitas, M. A. de., 2005b. Projeto Mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul: mapa – Porto Alegre, CPRM. [8]
- PAVÃO, A. D. M., 2004. Avaliação do índice de vulnerabilidade na bacia hidrográfica do rio Santa Maria – RS. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, 107p. [19]
- PRESOTTO, C. A., Dias, A., Kirchner, A., Garcia, P. F., 1973. Projeto Hidrogeologia da Fronteira Sudoeste do Rio Grande do Sul. Relatório Final. Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais. Porto Alegre: CPRM, 263p. [4]

SECRETARIA GERAL DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI disponível em <http://www.sg-guarani.org/index/pdf/proyecto_particular/pilotos/riveralivramento/PGL-Rivera-Santana.pdf

acessado em 27 de outubro de 2007. [9]

PSAG 2009 [13]

SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, SIAGAS. Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais, CPRM. Disponível em: <<http://siagas.cprm.gov.br/wellshow/indice.asp?w=1024&h=764&info=1>> Acesso em: 27 Abril 2009. [29]

SILVÉRIO da SILVA, J. L., Maziero, L., Santos, E. F. dos, 2004. Impactos da atividade humana sobre o solo – Aquíferos. in Anais do I Fórum Solos e Ambiente, UFSM, Santa Maria/RS. Pallotti, p. 145-167. [27]

SILVÉRIO 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 eral/Organização dos Estados Americanos - SG/OEA. UFSM/UdeLaR, 2006. Disponível em [http://www.sg-guarani.org/texto completo em pdf e resumo executivo](http://www.sg-guarani.org/texto_completo_em_pdf_e_resumo_executivo) (Português, Español e Inglês). [32]

UFSM/SEMA, 2004. Desenvolvimento de ações para implantação de Outorga na Bacia do Rio Santa Maria – Relatório Técnico 1. Convênio SEMA-FRH/RS-UFSM-RS nº 02/01. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria/RS, 186 p. [25]

VRBA, J. and Zaporozec, A., 1994. Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability. International Contributions to Hydrogeology, volume 16, International Association of Hydrogeologists, Verlag Heinz Heise, Hannover, Germany. (ISBN 3-922705-97-9). [23]