

# CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES NATURAIS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE SÃO BORJA-RS

## CHARACTERIZATION OF THE NATURAL CONDITIONS OF THE GROUNDWATER IN THE MUNICIPALITY OF SÃO BORJA – RS

**Willian Fernando de BORBA, Carlos Alberto LÖBLER, José Luiz SILVERIO DA SILVA**

Depto Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Avenida Roraima, 1000, Bairro Camobi. CEP: 97105-900. Santa Maria – Rio Grande do Sul. Endereço eletrônico: borbawf@gmail.com, carloslobler@gmail.com, silverioufsm@gmail.com

Introdução  
Materiais e Métodos  
    Caracterização e hidrogeologia da área de estudo  
    Obtenção dos dados  
Resultados e Discussão  
    Grau de confinamento da água subterrânea  
    Ocorrências litológicas  
    Nível estático  
    Vulnerabilidade GOD  
Conclusão  
Referências

**RESUMO** - Com a contaminação dos mananciais superficiais, a água subterrânea tem se tornando uma importante fonte hídrica para a sociedade. Porém, com o seu uso desenfreado ou até mesmo inadequado, pode torná-la imprópria para o consumo humano. Com base nisso, esse estudo tem por objetivo, avaliar alguns aspectos das águas subterrâneas do município de São Borja-RS, estudando sua vulnerabilidade à contaminação do aquífero a partir do uso do sistema GOD e mapeando-os com uso de geotecnologias. Os resultados indicam que o município apresenta em sua maior parte, uma vulnerabilidade classificada como baixa e média, isso se dá a partir das formações geológicas e condições hidrogeológicas as quais o município está inserido, sendo o Sistema Aquífero Serra Geral e Sistema Aquífero Guarani. Apresentando aquíferos profundos de rochas vulcânicas basálticas, do tipo confinado, o que os torna com menor vulnerabilidade à contaminação.

**Palavras-chave:** aquífero; contaminação; vulnerabilidade.

**ABSTRACT** - With the contamination of surface water, groundwater has become an important source of water for society. However, with its unrestrained or even inappropriate use, it may make it inappropriate for human consumption. Based on this, this study aims to evaluate some aspects of the groundwater of the municipality of São Borja-RS, studying its vulnerability to contamination of the aquifer from the use of the GOD system and mapping them with the use of geotechnologies. The results indicate that the municipality presents, for the most part, a vulnerability classified as low and medium, this is due to the geological formations and hydrogeological conditions to which the municipality is inserted, being the Serra Geral System and the Guarani Aquifer System. Presenting deep aquifers of basaltic volcanic rocks of the confined type, which makes them less vulnerable to contamination.

**Keywords:** aquifer; contamination; vulnerability.

## INTRODUÇÃO

O uso dos recursos hídricos subterrâneos tem aumentado significativamente nos últimos tempos. Isso se dá, principalmente pela contaminação das fontes superficiais, por ações antrópicas como por exemplo, o lançamento de efluentes domésticos e industriais não tratados. A partir desse fato, a água subterrânea tem se tornado uma fonte confiável, com potabilidade natural de baixo custo e a solução para tal problema, porém seu consumo desenfreado e o perigo de contaminação, se tornaram motivo de análise.

Segundo Ribeiro et al. (2011), a exploração excessiva dos recursos hídricos subterrâneos, a ocupação irregular do solo e a ausência de fiscalização sobre as normas legais, põem em risco a qualidade natural das águas subterrâneas. Com base nisso, é de suma importância os estudos que englobam essa

temática, com vistas a apresentar e discutir ações que venham a contribuir com o atual cenário, apontando quais áreas estão mais susceptíveis à contaminação ou que devem ser protegidas.

Segundo Foster et al. (2006), o termo vulnerabilidade representa a susceptibilidade que o aquífero possui a uma carga de um poluente qualquer, principalmente em sua área de recarga, visto que os aquíferos possuem uma camada de substratos que auxiliam na sua proteção natural. Com isso, Borba et al. (2014), dizem que é de fundamental importância o mapeamento dessas áreas, já que atua como uma ferramenta de gestão e planejamento a nível de município ou comitês de bacias hidrográficas.

Ainda nesse sentido, Foster et al. (2013) consideram que a vulnerabilidade do aquífero

se destina a representar a variação do nível de proteção natural ou a capacidade de atenuação do contaminante na zona de solo insaturado ou zona de semi-confinamento da água, localizadas acima do aquífero.

Kemerich et al. (2013) afirmam que os componentes da vulnerabilidade de um aquífero não são diretamente mensuráveis, mas sim determinados por meio de combinações de outros fatores.

Assim, existem diversas metodologias para determinar a vulnerabilidade natural a contaminação de um aquífero, dentre eles destaca-se o sistema GOD (*Groundwater hydraulic confinement, Overlaying strata, Depth to groundwater table*) proposto por Foster et al. (2006), o método DRASTIC de Aller et al. (1997) e o Índice de Suscetibilidade de Ribeiro (2005).

O sistema GOD já foi utilizado com esse propósito, sendo é um sistema adequado as condições Brasileiras e Caribenhas (Foster et al., 2006). Em rochas sedimentares arenosas formadoras de aquíferos porosos intergranulares, na zona de afloramentos (ZA), do

Sistema Aquífero Guarani/SAG (OEA/PEA/GEF, 2009) foram realizadas pesquisas, no estado do Rio Grande do Sul, por diversos autores (Martinez & Silvério da Silva, 2008; Descovi Filho & Silvério da Silva, 2010; Kemerich et al., 2013; Ertel et al., 2012; Terra et al., 2013).

Já em rochas vulcânicas que cobrem mais da metade do Estado do Rio Grande do Sul que constituem aquíferos cristalinos fissurais, pertencentes ao Sistema Aquífero Serra Geral/SASG, foram estudados por Machado & Freitas (2005) e Sheibe & Hirata (2008).

Nesse sistema aquífero também há aplicações do Sistema GOD no estado do Rio Grande do Sul (Silvério da Silva et al., 2013; 2014; Terra et al., 2013; Löbler et al., 2013; Borba et al., 2014; Feldkircher et al., 2014; Löbler & Silvério da Silva, 2015).

Com base no exposto, esse estudo tem por objetivo caracterizar as águas subterrâneas captadas no município de São Borja – RS a partir do sistema GOD (Foster et al., 2006). Serão caracterizadas e mapeadas as classes do sistema e o seu resultado final.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Caracterização e Hidrogeologia da Área de Estudo

O município de São Borja está localizado no Oeste do Estado do Rio Grande do Sul. Limita-se ao Norte com os municípios de Garruchos e Santo Antônio das Missões, ao Sul, faz divisa com os municípios de Maçambará e Itaqui; a Leste com Itacurubi e Unistalda. Já a Oeste faz fronteira com o município argentino de Santo Tomé (Prefeitura Municipal de São Borja, 2014).

Segundo dados do IBGE (2010), o município conta com uma população de 61.671 habitantes, área de 3.616 km<sup>2</sup> e densidade demográfica de 17,05 hab/km<sup>2</sup>.

Está localizado na Região Hidrográfica do Uruguai, Bacia do Rio Uruguai, Sub-Bacia do Rio Ibicuí – U50 (SEMA, 2004). A figura 1 mostra a localização geográfica e a hidrogeologia presente no local de estudo, com as formações hidrogeo-lógicas penetradas ou aflorantes.

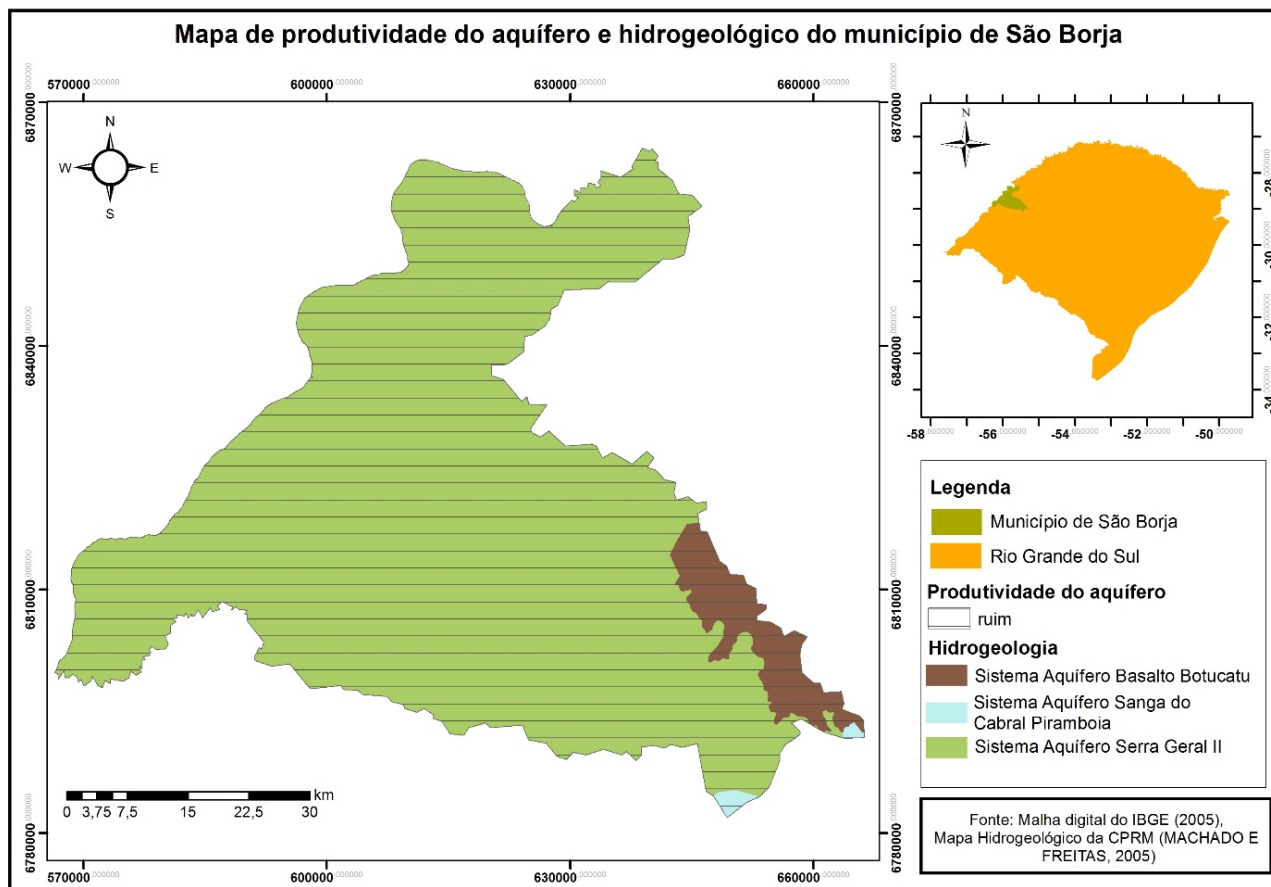
Conforme a Figura 1, os Sistemas Aquíferos existentes no município de São Borja-RS são três. O Sistema Aquífero Serra Geral II (SASG) que abrange grande proporção da área onde 174,93 km<sup>2</sup> pertencem ao Sistema aquífero misto,

constituído pelas formações Serra Geral e Botucatu (basalto e arenito), 3.396,47 km<sup>2</sup> ao Sistema Aquífero Serra Geral II e 12,94 km<sup>2</sup> ao Sistema Aquífero Sanga do Cabral Piramboia (Machado & Freitas, 2005). Seguindo a classificação dos autores os sistemas aquíferos são assim caracterizados:

*Sistema Aquífero Serra Geral II:* este sistema aquífero ocupa a parte oeste do Estado, os limites das rochas vulcânicas com o rio Uruguai e as litologias gonduânicas além da extensa área nordeste do planalto, associada com os derrames da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral.

Suas litologias são predominantemente riolitos, riolacitos e em menor proporção, basaltos fraturados. A vazão específica é inferior a 0,5 m<sup>3</sup>/h/m, entretanto, excepcionalmente em áreas mais fraturadas ou com arenitos intertrápicos na base do sistema, podem ser encontrados valores superiores a 2 m<sup>3</sup>/h/m.

As salinidades apresentam valores baixos, geralmente inferiores a 250 mg/L. Valores maiores de pH, salinidade e teores de sódio podem ser encontrados nas áreas influenciadas por descargas ascendentes do SAG.



**Figura 1** - Localização da área de estudo com a hidrogeologia presente no município de São Borja-RS, Sistema UTM, Datum Horizontal SAD 69 e Datum Vertical do Porto de Imbituba/SC.

*Sistema Aquífero Basalto Botucatu*: localiza-se na região limite entre a fronteira oeste e a região das missões, nos municípios de Santiago, Unistalda e São Borja. Incluem-se também aquelas áreas com morros isolados de basalto sobre arenitos da Unidade Hidroestratigráfica Botucatu, tanto na fronteira oeste quanto na porção leste do Estado. São áreas desfavoráveis ao armazenamento de água subterrânea, devido a sua condição topo-estrutural. Os poços são secos ou de baixas vazões.

*Sistema Aquífero Sanga do Cabral/Pirambóia*: a área aflorante estende-se desde a fronteira do Estado com o Uruguai, em uma faixa contínua até a região do município de Taquari. Compõe-se de camadas silítico-arenosas avermelhadas com matriz argilosa e arenitos finos a muito finos, avermelhados, com cimento calcífero. As capacidades específicas são variáveis, em geral entre 0,5 e 1,5 m<sup>3</sup>/h/m. A salinidade varia de 100 mg/L nas áreas aflorantes a mais de 300 mg/L nas confinadas. Na região central do Estado são encontradas salinidades entre 3.000 e 5.000 mg/L.

Já no que se refere as formações geológicas,

no município em estudo, se tem os Depósitos Aluviais, a Formação Serra Geral (Fácies Gramado e Fácies Alegrete), a Formação Botucatu e a Formação Guará (CPRM, 2006).

Essas formações, segundo dados da CPRM (2006), caracterizam-se por:

- Depósitos Aluviais: Areia grossa a fina, cascalho e sedimento sílico-argiloso, em calhas de rio e planícies de inundação;

- Formação Serra Geral – Fácies Gramado: Derrames basálticos granulares finos a médio, horizontes vesiculares, além disso possui intercalações com os arenitos Botucatu;

- Formação Serra Geral – Fácies Alegrete: Derrames de composição intermediária a ácida, variando entre andesitos e riódacitos;

- Formação Botucatu: Arenito fino a grosso, grãos bem arredondados e;

- Formação Guará: Arenito fino a conglomerático, apresentando cores esbranquiçadas a avermelhadas.

#### **Obtenção dos Dados**

Para estimar a vulnerabilidade, foram utilizadas dados obtidos do Sistema de Info-

mações de Águas Subterrâneas - SIAGAS (<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>), mantido pela Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais - CPRM do Serviço Geológico do Brasil.

Onde criou-se um banco de informações com as principais características de interesse (Coordenadas geográficas em sistema Universal Transversa de Mercator - UTM, o nível estático, os perfis geológicos, dentre outras).

Foram utilizadas as informações de 51 poços tubulares (Diferentes profundidades) cadastrados no banco de dados do SIAGAS, distribuídos em toda a área territorial do

município de São Borja-RS. Esses poços foram selecionados pelo fato de apresentarem todas as informações necessárias à aplicação do método.

### Determinação da Vulnerabilidade Natural à Contaminação pelo Sistema GOD

A Sistema GOD (Foster et al., 2006) leva em consideração os três parâmetros chave (G - Grau de confinamento hidráulico da água subterrânea/aquífero, O - Ocorrência de estratos de cobertura e D - Profundidade/distância até o lençol freático). Sendo assim, para a determinação do índice de vulnerabilidade, seguiram-se as etapas ilustradas na Figura 2.

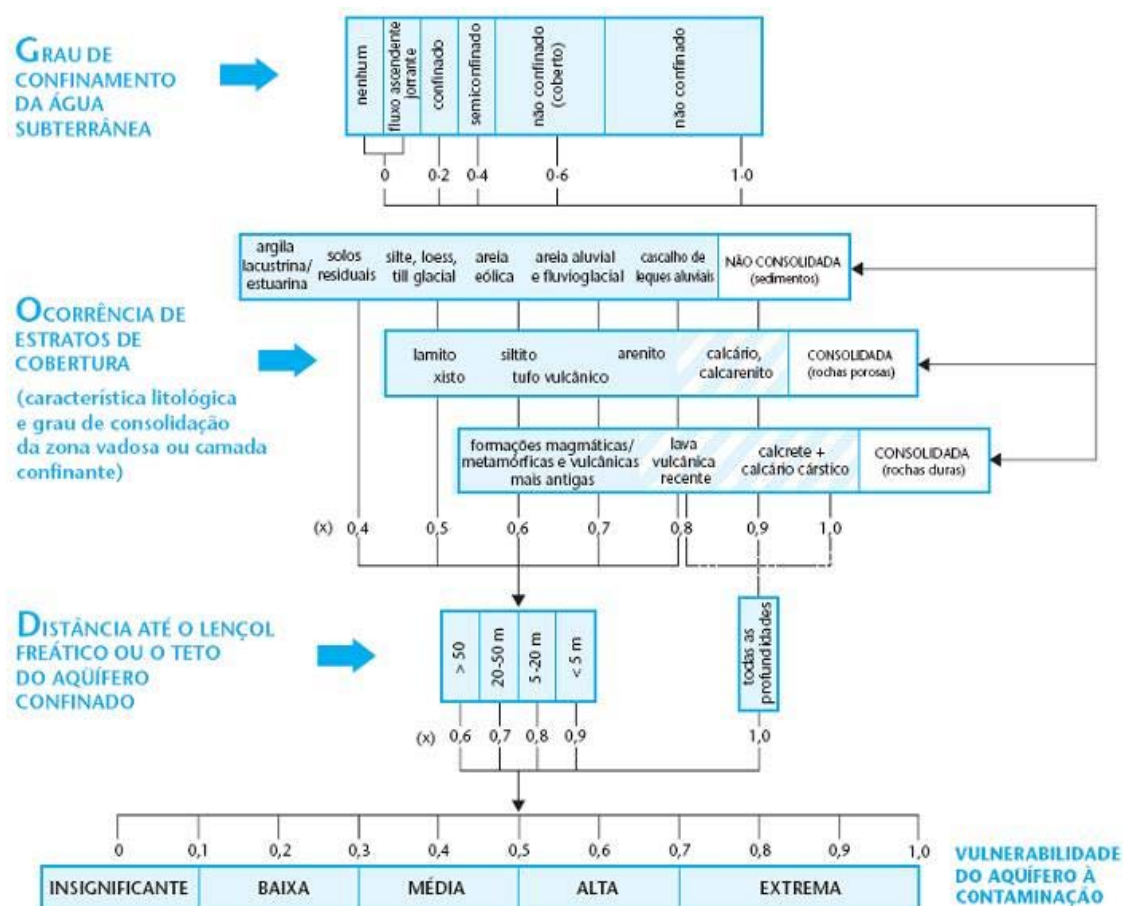


Figura 2 - Etapas necessárias para a determinação da vulnerabilidade pelo sistema GOD. Fonte: Foster et al. (2006).

O índice final, é obtido a partir do produto das três variáveis (G, O e D), sendo assim obtém-se a vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação que é classificada em 5 classes. Sendo estas: classe insignificante (valores entre 0 e 0,1), baixa (0,1 e 0,3), média (0,3 e 0,5), alta (0,5 e 0,7) e extrema (0,7 e 1).

### Espacialização dos Dados

Os mapas temáticos foram elaborados dentro de ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) com auxílio do software ArcGIS 10

e Surfer 8 (Landim & Sturaro, 2002; Golden Software, 2004). A delimitação da área foi feita a partir de shape disponibilizado pelo IBGE (2005). Para interpolar os dados foi usado o IDW (*Inverse Distance Weighting*). Foi utilizado esse interpolador pelo fato de representar melhor a realidade das informações, quando comparado aos demais interpoladores. Foi usado o sistema de coordenadas UTM com o Datum horizontal SIRGAS 2000 e o Datum Vertical o Porto de Imbituba/Santa Catarina.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Grau de Confinamento da Água Subterrânea

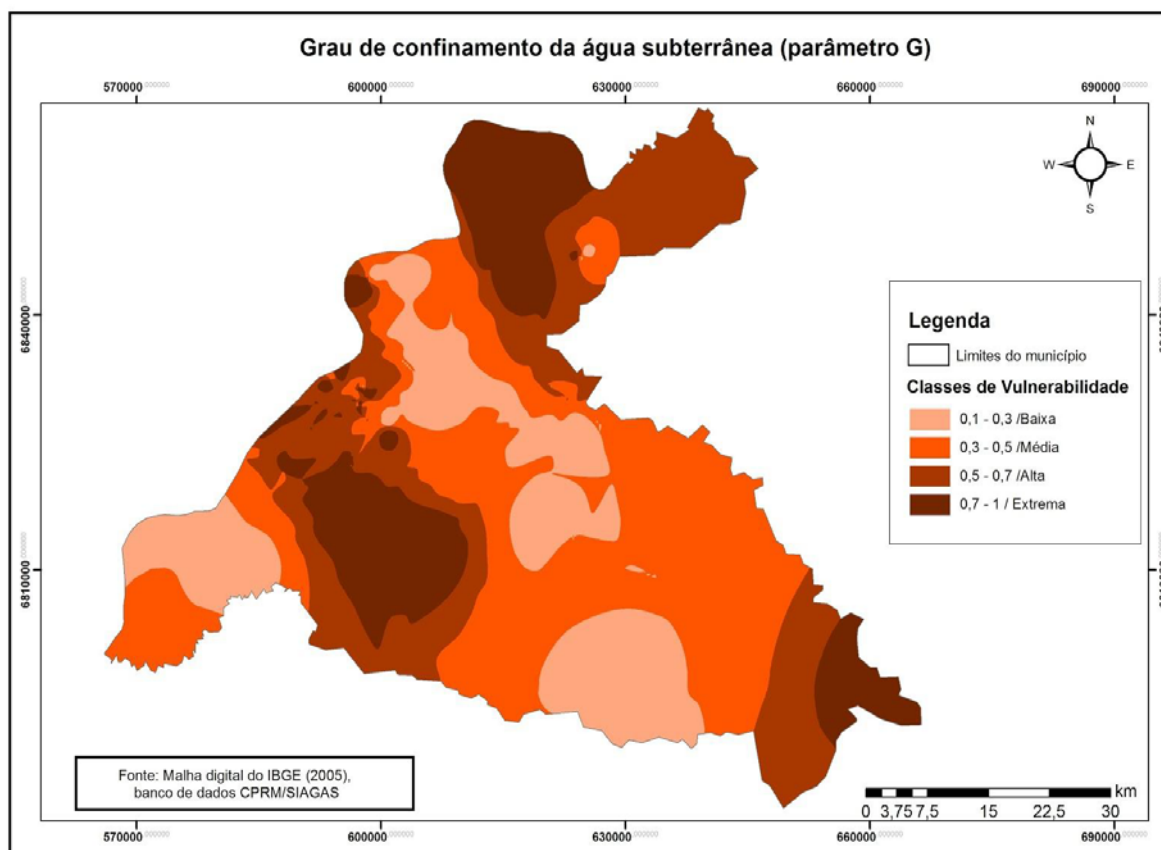
Aplicando-se as notas padronizadas (Figura 2) para o grau de confinamento do aquífero aos poços situados no município de São Borja-RS, observa-se que elas variaram de 0,2 (confinado) a 1 (livre), com uma média de  $0,55 \pm 0,31$ .

A Figura 3 mostra a espacialização do grau de confinamento da água subterrânea na área de estudo (parâmetro G).

Valores semelhantes foram encontrados por Kemerich et al. (2013) na Bacia hidrográfica do

Rio Vacacaí-Mirim-RS, onde os valores do parâmetro G, variaram de 0 a 1, com média de  $0,91 \pm 0,23$ .

Borba et al. (2014), analisando a vulnerabilidade no município de Seberí-RS, no noroeste do Estado, captando o SASG, encontraram para 7 captações com os dados disponíveis, valores entre 0,6 e 1, o que informa que o SASG no município, não se encontra confinado nas camadas onde ocorrem seus solos ou rochas intemperizadas e/ou decompostas.



**Figura 3** - Espacialização das notas atribuídas sobre o grau de confinamento da água subterrânea no município de São Borja-RS.

### Ocorrência Litológica

As notas para o parâmetro das ocorrências litológicas penetradas nos poços de captação (parâmetro O) no município de São Borja - RS, variaram de 0,4 (Solos Residuais) a 0,8 (Rochas Vulcânicas Recentes), com média de  $0,84 \pm 0,97$ , conforme mostra a Figura 4.

Valores de ordens diferentes foram encontrados por Kemerich et al. (2013), onde os valores variaram de 0 a 0,9 com média de  $0,79 \pm 0,10$ , em um estudo na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim-RS – G60

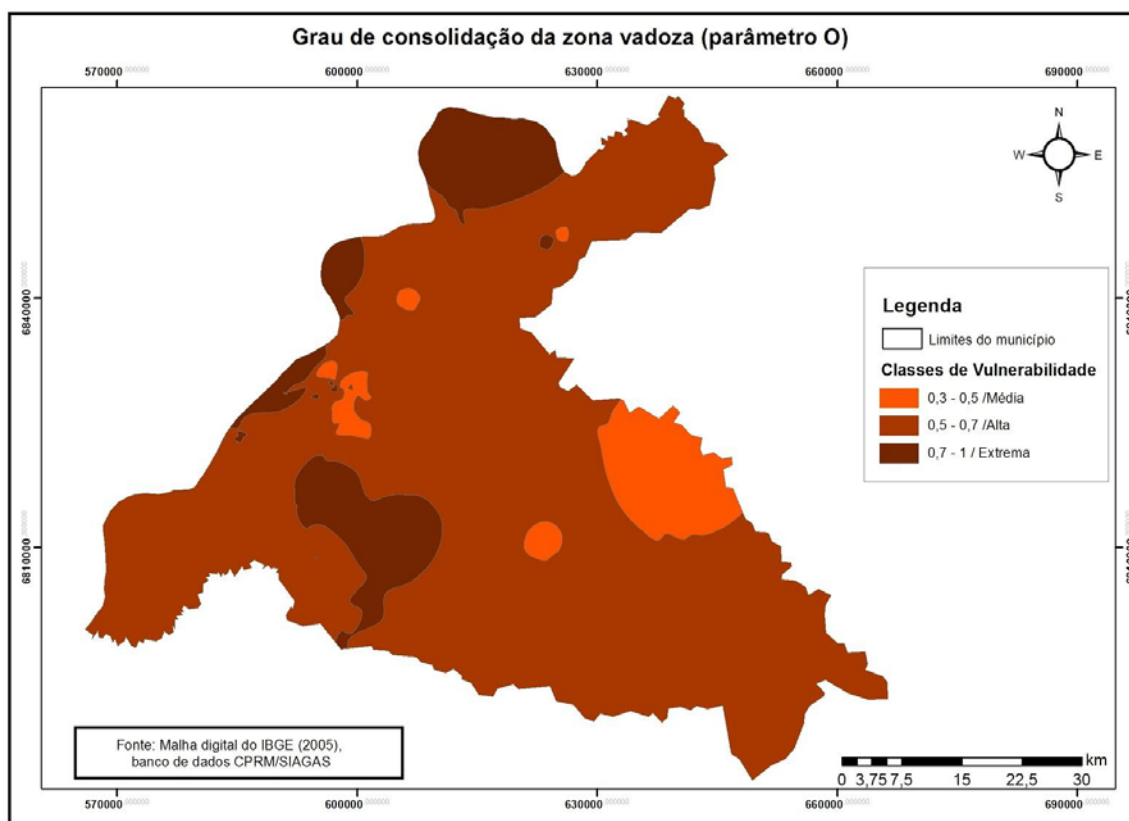
(SEMA, 2004).

Borba et al. (2014) no município de Seberí-RS, que possui poços captando água da Formação Serra Geral e o SASG, encontraram valores para o parâmetro D de 0,8, o que indica a presença de rochas vulcânicas antigas na matriz geológica dos solos ou rochas intemperizadas, com espessura variando de 0 a 10 metros e materiais decompostos de até 7 metros. Esses materiais granulares podem apresentar elevadas relações de porosidade/permeabilidade; portanto, facilitando o espalha-



mento ou difusão de contaminantes nas zonas vadosa ou aerada até atingir o aquífero, onde

todos os poros ou fraturas estão preenchidos com água.



**Figura 4** - Espacialização das notas referentes às ocorrências litológicas da água subterrânea no município de São Borja-RS.

### Nível Estático

Segundo Feitosa & Costa Filho (1998) o nível estático (N.E.), mensurado em metros, é a distância da superfície do terreno ao nível da água dentro do poço antes de iniciar o bombeamento.

Com isso, tem-se a distância a que o aquífero se encontra da superfície do terreno na boca do poço ao nível da água.

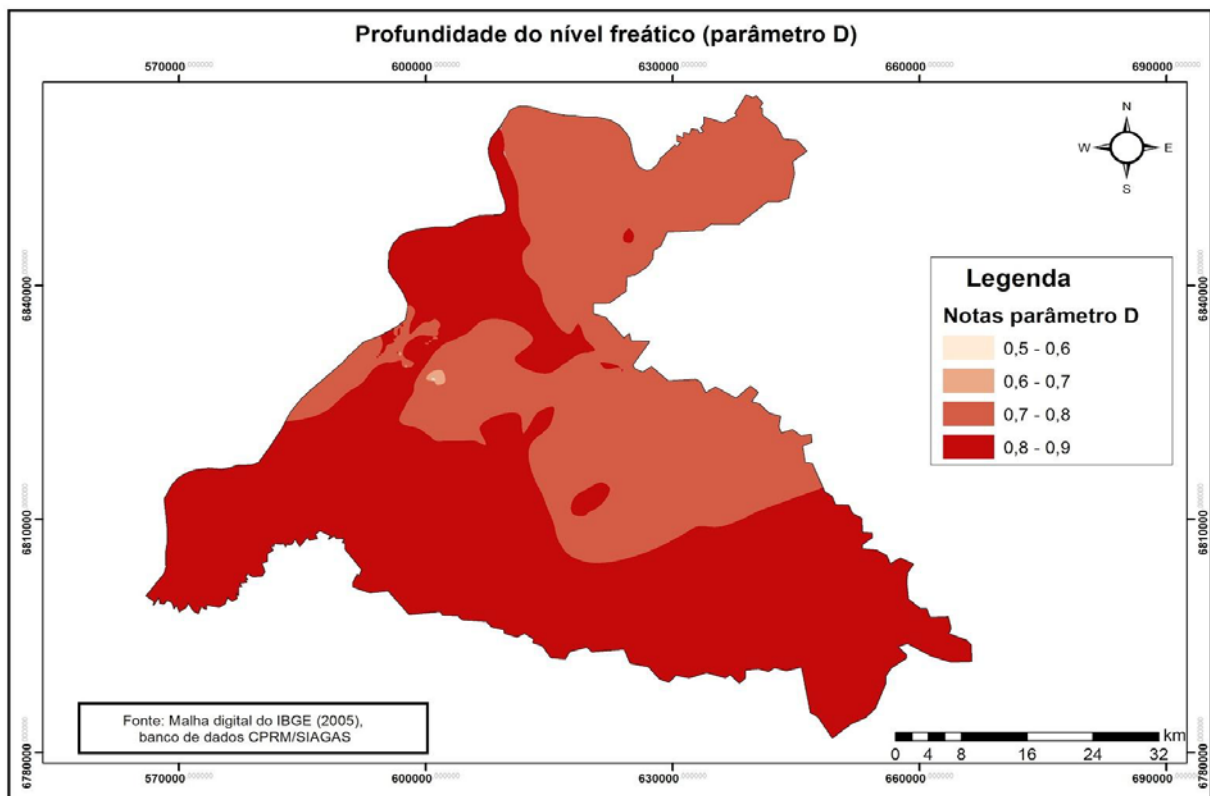
Na área de estudo, nos 59 poços estudados, os valores de N.E. variaram amplamente de 1 a 50 metros, com média de  $12,08 \pm 10,5$  m. Com relação ao parâmetro D, os valores variaram de 0,7 (valores entre 20 e 50 m) a 0,9 (valores menores do que 5 m), conforme mostra a figura 5. Kemerich et al. (2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim-RS, na Zona Aflorante (ZA) e Zona Confinada (ZC) do SAG (OEA/PEA/GEF, 2009), encontrou valores de NE variando de 0 (Jorrante/nascente) a 87 m, com média  $19,95 \pm 18,07$  m. Borba et al. (2014) encontraram valores de NE no município de Seberi-RS, variando de 2,5 a 114,40 m no SASG.

Nota-se que os valores menores de NE, apresentam maiores riscos e ocorrem em uma faixa de direção aproximada sudeste-nordeste.

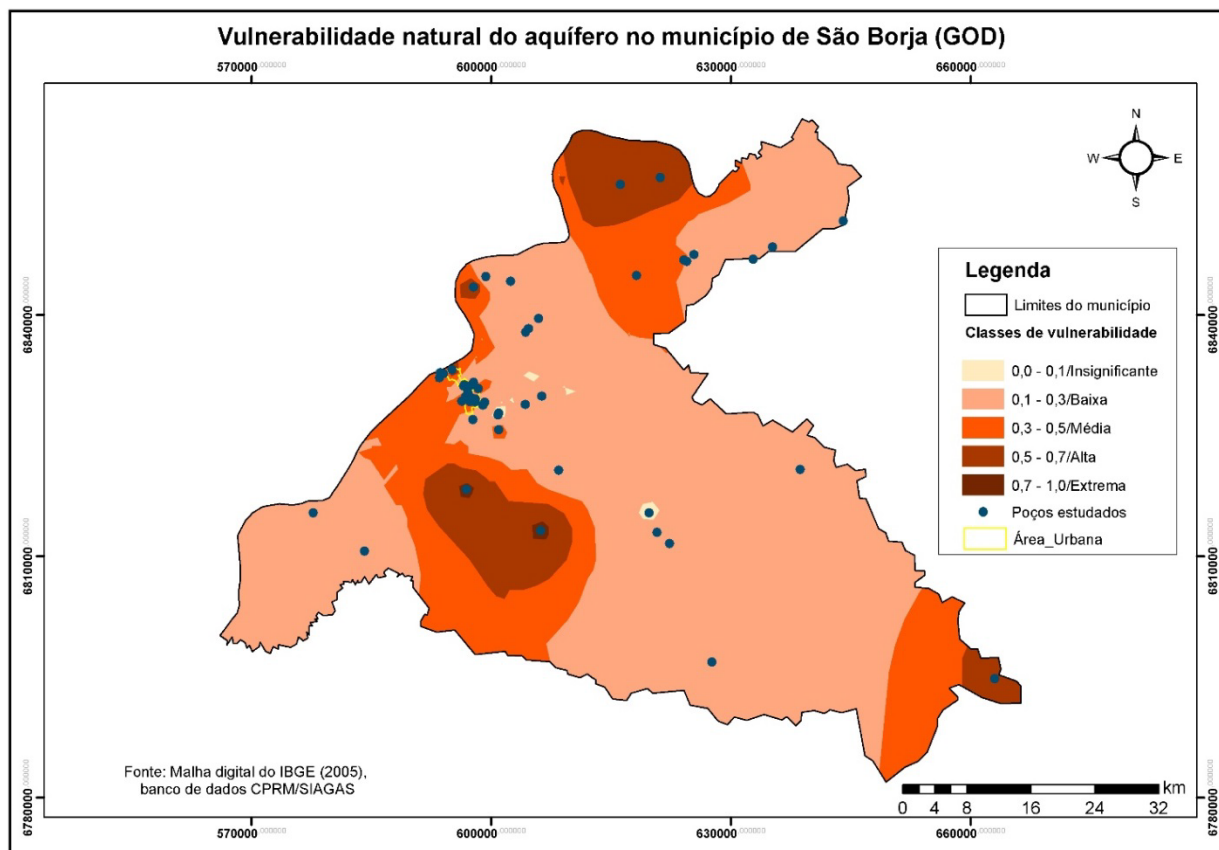
### Vulnerabilidade GOD

A vulnerabilidade obtida a partir desse método pode ser observada na Figura 6, já o percentual de abrangência para cada classe no município pode ser observado na Tabela 1. Destacam-se as classes de vulnerabilidade natural à contaminação baixa e média, com 2.436,13 km<sup>2</sup> (67,40 % da área total) e 798,35 km<sup>2</sup> (22,09 % da área total), respectivamente. A área urbana do município está localizada sob uma vulnerabilidade média e baixa.

A classe extrema esteve presente em apenas 0,23 % da área avaliada, isso pode estar relacionado com a profundidade elevada do SAG e ainda pelo mesmo estar confinado sob os derrames da formação Serra Geral, onde se tem rochas vulcânicas e seus principais constituintes cobrindo os sistemas aquíferos sedimentares ZC (OEA/PEA/GEF, 2009).



**Figura 5** - Espacialização das notas atribuídas a partir dos níveis estáticos da água subterrânea no município de São Borja-RS.



**Figura 6** - Vulnerabilidade natural à contaminação pelo Sistema para o município de São Borja-RS.

**Tabela 1** - Classificação das áreas de vulnerabilidade pelo método GOD para o município de São Borja-RS, 2014.

Classe	Área (km <sup>2</sup> )	Abstrangência (%)
Insignificante	11,55	0,32
Baixa	2.436,13	67,40
Média	798,35	22,09
Alta	360,08	9,96
Extrema	8,15	0,23
<b>Total</b>	<b>3.614,24</b>	<b>100,00</b>

Os valores encontrados na literatura, levando-se em consideração a abrangência das classes na área estudada e/ou a quantificação de poços avaliados e presentes em nessas áreas, para as classes presentes no Sistema GOD estão evidenciados nas tabelas 2 e 3, respectivamente.

Levando-se em conta as semelhanças dos aquíferos penetrados e os dados deste artigo apresentaram maior semelhança com os aplicados em áreas de maior predominância do SASG, por ter uma maior área com

vulnerabilidades menores. Contudo, ainda se pode relacioná-lo com estudos em áreas em que se apresenta todas as classes de vulnerabilidade, como por exemplo, áreas com sistemas aquíferos SAG/SASG.

Como pode ser observado na tabela 2, na Região de Rondonópolis-MT, no SAF, Cutrim & Campos (2010) encontraram principalmente vulnerabilidade insignificante e baixa, isso deve-se principalmente a condição do aquífero ou ainda as formações geológicas, que apresentam aspectos confinantes, as quais definem características mais desfavoráveis a contaminação. O mesmo foi observado por Feron & Reginato (2014). Porém, Ribeiro et al. (2011) e Tavares et al. (2009), encontraram principalmente vulnerabilidades de média a extrema, com isso destaca-se os cuidados que devem ser tomados nas atividades desenvolvidas nas respectivas áreas, pelo fato que podem impactar o meio subterrâneo.

**Tabela 2** - Valores encontrados na literatura para as classes do Sistema GOD, em relação a porcentagem de área em bacias hidrográficas e municípios do país.

Autor	Município/Bacia Hidrográfica	Tipo de Aquífero	I (%)	B (%)	M (%)	A (%)	E (%)
Tavares et al. (2009)	Araripe-CE	SAS, AS, SAM, ABS, SAI	1,00	-	40,00	59,00	-
Cutrim & Campos (2010)	Rondonópolis-MT	SAF	68	-	31,9	0,1	-
Descovi Filho & Silvério da Silva, (2010)	Bacia do Rio Santa Maria - RS	SAG	5,7	26,5	30,2	35,6	0,4
Dambrós et al. (2011)	Rosário do Sul-RS	SAG	-	0,54	42,07	53,39	-
Ribeiro et al. (2011)	Rio Siriri - SE	AB, AS, AA, AM	12,23	11,18	1,52	51,31	23,76
Feron & Reginato (2014)	Canoas - RS	AQ, SAECI, SAQCII, SASD	2,80	94,12	3,08	-	-
Kemerich et al. (2013)	Rio Vacacaí-Mirim-RS	SASG/SAG	1,23	5,03	24,63	62,24	6,82
Löbler & Silvério da Silva (2015; 2013)	Nova Palma-RS	SASG/SAG	7,69	15,39	30,76	30,76	15,38
Löbler et al. (2013)	Restinga Seca-RS (urbana)	SAG	51	48,98	0,02	-	-
Ertel et al. (2013)	Rosário do Sul - RS	SAG	2,85	14,29	28,57	40,00	-
Silvério da Silva (2013)	Erechim - RS	SASG	1,8	12,7	85,5	-	-

**Obs:** I = Insignificante, B = baixa, M = Média, A = Alta, E = Extrema; SAF = Sistema Aquífero Furnas, AQ: Aquíferos Permianos, SAECI = Sistema Aquífero Embasamento Cristalino I, SAQCII = Sistema Aquífero Quaternário Costeiro II, SASD = Sistema Aquífero Sedimentos Deltaicos, AB = Aquífero Barreiras, AS = Aquífero Sapucari, AA = Aquífero Angico, AM = Aquífero Maruim, SAS = Sistema Aquífero Superior, AS = Aquífero Santana, SAM = Sistema Aquífero Médio, ABS = Aquífero Brejo Solto, SAI = Sistema Aquífero Inferior

Como pode ser analisado na tabela 2, valores semelhantes foram descritos por Kemerich et al. (2013), Löbler & Silvério da Silva (2013) os quais encontraram vulnerabilidades classificadas como média em 24,63 e 30,76% das áreas da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim

na ZA e ZC do SAG e no município de Nova Palma-RS, respectivamente. Nessas áreas se observa a existência do SASG II e ainda na zona de afloramentos do SAG com distintas vulnerabilidades devido as suas relações de porosidade/permeabilidade diferentes.



**Tabela 3** - Valores encontrados na literatura para as classes do Sistema GOD, em relação aos poços presentes nas áreas estudadas em distintas bacias hidrográficas e municípios do país.

Autor	Município/Bacia Hidrográfica	Tipo de Aquífero	I	B	M	A	E
Vogel (2008)	Quarta Colônia Imigração Italiana, RS	SAG/SASG	25	16	13	-	-
Martinez & Silvério da Silva (2008)	Santa Cruz-RS	SAG	4	7	13	1	-
Terra et al. (2013)	Santiago-RS	SAG/SASG	22	5	1	1	-
Borba et al. (2014)	Seberi-RS	SAG	-	1	8	8	2
Feldkircher et al. (2014)	Teutônia-RS	SAG/SASG	10	28		2	

Obs: I = Insignificante, B = baixa, M = Média, A = Alta e E = Extrema.

## CONCLUSÕES

Com a utilização do sistema GOD para determinação da vulnerabilidade a contaminação do aquífero no município de São Borja-RS, foi possível constatar que o mesmo apresenta diferentes classes, diversificando de insignificante a extrema. Esse fato pode servir de suporte para os órgãos municipais de monitoramento e licenciamento de atividades potencialmente poluidoras do aquífero, pois

indica quais as áreas que apresentam maior vulnerabilidade a contaminação. Auxiliando na alocação de atividades, além de intervenções pontuais nessas áreas, pois representam uma maior vulnerabilidade ao meio subterrâneo. O sistema GOD aliado às ferramentas de espacialização/geotecnologias se mostra uma ferramenta útil para a caracterização do meio ambiente subterrâneo em escala municipal.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro concedido pela FAPERGS e CAPES através de bolsas de pós-graduação PPGEAmb/UFSM.

## REFERÊNCIAS

- ALLER, L.; BENNETT, T.; LEHR, J. H.; PETTY, R. J.; HACKETT, G. **DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potencial using hydrogeologic setting**. United States: EPA, 202p, 1997.
- BORBA, W. F.; KEMERICH, P. D. C.; DESCOVI FILHO, L.; PRETTO, P. R.; FLORES, C. E. B.; FRANCA, J. R.; HINTEHOLZ, D. **Vulnerabilidade do aquífero à contaminação no município de Seberi/RS**. Monografias Ambientais, v. 14, p. 2960-2966, 2014.
- CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERIAIS. **Sistema de Informações de águas subterrâneas**. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>. Acessado em: 28ago2014.
- CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERIAIS. **Mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2006.
- CUTRIM, A. O. & CAMPOS, J. L. G. Avaliação da vulnerabilidade e perigo à contaminação do Aquífero Furnas na cidade de Rondonópolis (MT) com aplicação dos métodos GOD e POSH. **Geociências**, v. 29, p. 401 - 411, 2010.
- DAMBRÓS, C.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; DESCOVI FILHO, L. L. V. Mapeamento da vulnerabilidade do aquífero à contaminação no Município de Rosário do Sul-RS-BR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XV, 2011, São Paulo. **Anais...** São Paulo: INPE, 2011.
- DESCOVI FILHO, L. L. V.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Vulnerabilidade das águas subterrâneas na bacia hidrográfica do rio Santa Maria-RS. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 24, p. 1-17, 2010.
- ERTEL, T.; LÖBLER, C. A.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Índice de vulnerabilidade das águas subterrâneas no município de Rosário do Sul, Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 7, p. 1400 - 1408, 2012.
- FEITOSA, F. A. C. & COSTA FILHO, W. D. **Execução de testes de bombeamento em poços tubulares: Manual prático de orientação**. Rio de Janeiro: CPRM, 24p, 1998.
- FELDKIRCHER, T.; LÖBLER, C. A.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Aplicação do sistema GOD para determinar a vulnerabilidade natural das águas subterrâneas do município de Teutônia (RS). **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 18, p. 1137 - 1145, 2014.
- FERON, G. L. & REGINATO, P. A. R. Avaliação da vulnerabilidade de aquíferos localizados na região central de Canoas – RS. **Águas Subterrâneas**, v. 28, p. 1 - 13, 2014.
- FOSTER, S.; HIRATA, R. & ANDREO, B. The aquifer pollution vulnerability concept: aid or impediment in promoting groundwater protection?. **Hydrogeology Journal**, v. 21, p. 1389-1392, 2013.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **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: Washington, 114 p, 2006.
- GOLDEN SOFTWARE, Inc. **Surfer 8.0: Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers**. User's Guide, 640p, 2004.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapeamento Topográfico**. Disp. em: <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default\\_prod.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm)> Acesso em: 14ago2014.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. Disp. em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=ecodmun=431800e>>

- search=rio-grande-do-sul|sao-borja> Acesso em: 14ago2014.
- KEMERICH, P. D. C.; MARTINS, S. R.; KOBAYAMA, M.; SILVEIRA, R. L.; DESCOVI FILHO, L.; RIZZARDI, A. S.; BORBA, W. F. Vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-mirim: uso da metodologia GOD. **Engenharia Ambiental**, v. 10, p. 189 - 207, 2013.
- KEMERICH, P. D. C.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; DESCOVI FILHO, L. L. V.; VOLPATO, F.; SAUCEDO, E. M. Determinação da vulnerabilidade natural à contaminação da água subterrânea no Bairro Nossa Senhora do Perpétuo Socorro em Santa Maria-RS. **Engenharia Ambiental**, v. 8, p. 085 -098, 2013.
- LANDIM, P. M. B. & STURARO, J. R. **Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Rio Claro: DGA, IGCE, UNESP, 253p, 2002.
- LÖBLER, C. A.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; MARTELLI, G. V.; ERTEL, T. Pontos potenciais de contaminação e vulnerabilidade natural das águas subterrâneas do Município de Restinga Sêca - RS. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 500-509, 2013.
- LÖBLER, C. A. & SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Análise da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do Município de Nova Palma, RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, IXX, 2013, Porto Alegre. **Anais...**Porto Alegre: ABRH, 2013.
- LÖBLER, C. A. & SILVÉRIO DA SILVA, J. L. S. Vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do município de Nova Palma, Rio Grande do Sul, Brasil. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 10, n. 1, p. 141-152, 2015.
- 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.
- MARTINEZ, M. M.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; LOPES, G. N. Avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas no município de Santa Cruz do Sul, RS/Brasil. **Agro@mbiente**, v. 2, p. 1 - 8, 2008.
- OEA - ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS; PEA – PROGRAMA ESTRATÉGICO DE AÇÃO; GEF - GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY. Projeto de proteção ambiental e desenvolvimento sustentável do Sistema Aquífero Guarani. **Programa Estratégico de Ação – PEA**. [S.l.], 102p, 2009.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO BORJA. **Localização**. Disp. em: [http://www.saoborja.rs.gov.br/index.php?option=com\\_contentview=articleid=67&Itemid=1330](http://www.saoborja.rs.gov.br/index.php?option=com_contentview=articleid=67&Itemid=1330) Acesso em: 14ago2014.
- RIBEIRO, L. F. T. Um novo índice vulnerabilidade específico de aquíferos: formulação e aplicações. In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, SILUSBA, Évora, 2005. **Anais...** Évora: AIDIS, 2005.
- RIBEIRO, D. D. M.; ROCHA, W. J. S. F.; GARCIA, A. J. V. Vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos da sub-bacia do rio Siriri, Sergipe. **Águas Subterrâneas**, v. 25, p. 91 - 102, 2011.
- SCHEIBE, L.F. & HIRATA, R. O contexto tectônico dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral em Santa Catarina: uma revisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, XV, 2008. Natal. **Anais...** Natal: ABAS, 2008.
- SEMA – Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul. **Mapa das Bacias Hidrográficas e Municípios do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SEMA, 2004.
- SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; DESCOVI FILHO, L. L. V.; LORENSI, R. P.; CRUZ, J. C.; ELTZ, F. L. Vulnerabilidade do Aquífero Serra Geral à contaminação no Município de Erechim - Rio Grande do Sul - Brasil. **Ciência e Natura**, v. 35, p. 10-23, 2013.
- TAVARES, P. R. L.; CASTRO, M. A. H. DE; COSTA, C. T. F.; SILVEIRA, J. G. P.; ALMEIDA JUNIOR, F. J. B. Mapeamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas localizadas na Bacia Sedimentar do Araripe, Estado do Ceará, Brasil. **Revista da Escola de Minas**, v. 62, p. 227 -236, 2009.
- TERRA, L. G.; LÖBLER, C. A.; SILVÉRIO DA SILVA, J. L. Estimativa da vulnerabilidade à contaminação dos recursos hídricos subterrâneos do Município de Santiago-RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 10, p. 2208 - 2218, 2013.
- VOGEL, M. M. **Avaliação da vulnerabilidade natural à Contaminação dos recursos hídricos Subterrâneos na região cultural da Quarta colônia de imigração italiana, RS**. Santa Maria, 2008. 138p. Dissertação (Mestrado em Geografia e Geociências), Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria.

*Submetido em 25 de novembro de 2014  
Aceito em 13 de outubro de 2017*