

## Mapeamento da Vulnerabilidade Natural à Contaminação de Aquíferos e Risco de Poluição dos Recursos Hídricos Subterrâneos no Município de Soledade/RS

Mestranda Isabel Camponogara<sup>1</sup>  
Msc. Elizane Aparecida Brutti<sup>2</sup>  
Mestrando Carlos Gilberto Konrad<sup>3</sup>  
Mestrando Jurandi Zanoti Goldani<sup>4</sup>  
Prof. Dr. José Luiz Silvério da Silva<sup>5</sup>

<sup>1</sup> UFSM - Depto. de Geomática/Geociências

97110150-900, Santa Maria, RS

[isacamponogara@mail.ufsm.br](mailto:isacamponogara@mail.ufsm.br)

<sup>2</sup> UFSM - Depto. de Geomática

[elizanebr@bol.com.br](mailto:elizanebr@bol.com.br)

<sup>3</sup> UFSM - Depto. de Geociências

[cgk@bol.com.br](mailto:cgk@bol.com.br)

<sup>4</sup> UFSM - Depto. de Geomática

[goldanijurandi\\_zanoti@yahoo.com.br](mailto:goldanijurandi_zanoti@yahoo.com.br)

<sup>5</sup> UFSM – Depto. de Geociências

97119-900, Santa Maria, RS

[silverio@base.ufsm.br](mailto:silverio@base.ufsm.br)

**Resumo:** A preocupação com a contaminação de sistemas aquíferos subterrâneos tem crescido no meio científico. Importantes estudos desenvolvidos em várias regiões do mundo têm mostrado que os recursos hídricos estão sendo atingidos por fontes potencialmente contaminantes, oriundas principalmente de produtos utilizados na agricultura, na indústria e na disposição dos resíduos. Neste sentido, esta pesquisa objetivou avaliar a vulnerabilidade natural a contaminação dos aquíferos em águas subterrâneas, no município de Soledade, localizado ao Norte do Rio Grande do Sul. Desse modo, considerou-se o nível estático do aquífero e superfície potenciométrica, onde obteve-se o índice de vulnerabilidade do aquífero, sendo utilizada metodologia de **GOD**, simulou-se 14 poços. Como resultado, destaca-se que a vulnerabilidade natural encontra-se em duas classes: Baixa e Desprezível. Sendo assim, esta metodologia pode servir de subsídio para a tomada de decisões que vão ao encontro da preservação dos recursos hídricos subterrâneos.

**Palavras-chave:** vulnerabilidade, aquíferos, contaminação

**Abstract:** The concern with the contamination of systems underground water has been growing in the scientific way. Important studies developed in several areas of the world have been showing that the hidrics resources is being reached potentially by sources pollutants, proceeding mainly of products used in the agriculture, in the industry and in the disposition of the residues. In this sense, this research objectified to evaluate the contamination natural vulnerability of the underground waters, in the municipal district of Soledade, located to the North Rio Grande do Sul. Like this was considered the static level of the underground water and potencymeter surface, where it was obtained the index of vulnerability of the underground water, being used methodology of **GOD**, it was simulated 14 wells. As result, stands out that the natural vulnerability meets in two classes: It lowers and Worthless. Being like this, this methodology can serve as subsidy for the taking of decisions that are going to the encounter of the preservation of the resources underground hidrics.

**Key-Words:** vulnerability, underground water, contamination

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização que o homem tem feito dos recursos naturais nem sempre ocorreu considerando suas características e as capacidades de recuperação dos mesmos. Entretanto, recentemente o homem passou a preocupar-se com os problemas ambientais. O surgimento de problemas ambientais graves, com reflexos sobre o próprio homem, levou-o a procurar compreender melhor os fenômenos naturais e a entender que deve agir como parte integrante do sistema natural (Mota, 1997).

A água é um recurso natural essencial à vida no planeta, mas é utilizada também como insumo básico da imensa maioria das atividades econômicas. É encontrada na natureza em quantidades que variam aleatoriamente, no tempo e no espaço, sendo também extremamente vulnerável à deterioração qualitativa. Por ser uma substância fluida, o uso da água em um local afeta não apenas os demais usuários neste mesmo local, mas também aqueles situados ao longo da direção de fluxo. Além disso, é crescente hoje, em nível mundial, o fenômeno de escassez dos recursos hídricos, situação que também vem ocorrendo no Rio Grande do Sul, onde em algumas regiões a situação já é preocupante.

Por esta razão, os estudos referentes aos recursos hídricos subterrâneos são fundamentais e necessita de maior atenção, com vistas a evitar futuras situações de degradação deste recurso. Neste sentido, esta pesquisa objetivou avaliar a vulnerabilidade natural a contaminação dos aquíferos em águas subterrâneas no município de Soledade, localizado ao Norte do Estado do Rio Grande do Sul. Desse modo, considerou-se o nível estático do aquífero, a superfície potenciométrica, obtendo-se o índice de vulnerabilidade do aquífero com base em dados pré-existentes.

## 2. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende o município de Soledade, localizado a Norte do Estado do Rio Grande do Sul, uma região pertencente ao Planalto Meridional Brasileiro, entre as coordenadas geográficas 52°26'00" longitude Oeste e 28°03'14" latitude Sul (Figura 1). O município pertence à Região Hidrográfica do Guaíba (G), do seu território 66% pertence a Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí (G50) e 34% a Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (G40), segundo SEMA (2003).



Figura 1 : Localização do município de Soledade/RS.

O município de Soledade pertence à Microrregião 13 e a Mesorregião 1 (Noroeste Riograndense), segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Está localizada ao norte do Rio Grande do Sul, no Planalto Meridional Brasileiro, a 726 metros acima do nível do mar. Fonte: IBGE/Secretaria Municipal da Educação, Cultura e Desporto/ [www.soledaders.com.br](http://www.soledaders.com.br)

A economia do município de Soledade se caracteriza por atividades econômicas diversificadas a indústria é constituída predominantemente, pelo setor de industrialização de pedras preciosas, que exporta 95% de seus produtos para os Estados Unidos, Europa e Ásia. Conta também com indústrias do ramo da

metalurgia, erva-mate, madeira, trigo e desdobramento de mármore e granitos.

As atividades agrícolas do município apresentam características bastante diversificadas, devido a sua topografia, onde se explora as culturas de milho, feijão preto, fumo, trigo, arroz de sequeiro, mandioca e batata doce.

Compreende a Formação Serra Geral constituindo um aquífero fissural. A área em estudo compõe-se, de derrames de rochas vulcânicas, da Era do Mesozóico ou Secundário, entre o período Triássico e Cretáceo pertencentes à Bacia do Paraná (IBGE, 1986).

O Município de Soledade situa-se em latitudes médias, o clima é mesotérmico do tipo temperado (Vieira, 1984). A temperatura média anual se situa entre os 18°C e 20°C, com máximas de 38°C a 40°C no verão, e mínimas entre 10°C e -4°C no inverno, com possíveis ocorrências de geadas e precipitação de neve. De acordo com Hausman (1995) a precipitação média anual situa-se entre 1400mm e 1800mm, e uma avapotranspiração potencial da ordem de 800mm a 900mm/ano, portanto a recarga dos aquíferos profundos ficaria na faixa dos 200mm/ano. De acordo com Gregorochuk (2004) este valor, ficaria entre 1% a 3% da precipitação pluviométrica anual, logo entre 14mm e até 54mm. Considerando-se como recarga direta dos aquíferos. A vegetação primitiva está incluída na região fisiográfica de Floresta Araucária, e Floresta Ombrófila Mista. Espécies mais comuns são: angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida*), Açoita-cavalo (*Luehea divaricata*), Cabriúva (*Myrocarpus frondosus*), Canjerana (*Cabraleia canjerana*) e Guajuvira (*Patagonula americana*), Pitangueira (*Eugenia uniflora*).

De acordo com as Resoluções do Conselho Nacional dos Recursos Hídricos N°09, de 21 de junho de 2000 e N°15, de 11 de janeiro de 2001, nos estudos de bacias hidrográficas deve-se considerar a interação entre as águas meteóricas, superficiais e subterrâneas. Assim considera-se, segundo a Resolução N°15, em seu Art.1° (CNRH, 2001):

- I – Águas Subterrâneas: as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo;
- II – Águas Meteóricas: as águas encontradas na atmosfera em quaisquer de seus estados físicos;
- III – Aquífero: Corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através de seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de mantos rochosos;
- IV – Corpo Hídrico Subterrâneo: volume de água armazenado no subsolo.

### 3. METODOLOGIA

Os dados foram extraídos do SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas) na página eletrônica [www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br) onde se encontra uma base de dados, sendo como produto, um cadastro de poços para água subterrânea no Brasil (SIAGAS), em seguida faz-se uma pesquisa textual e numérica onde se seleciona o Estado, o número do poço, e em seguida seleciona-se o município. No espaço direito, digita-se o nome do município e manda-se pesquisar. Na tela posterior, se houverem poços registrados, aparecerá uma lista de poços cujos apresentam um “link” para “clique” e verificar maiores detalhes referentes a cada poço. Por exemplo, ID (identificação) do poço no Estado do Rio Grande do Sul é 43, seguido de zeros e depois o número do poço.

Os dados foram tabulados no programa de computador Microsoft *Excel* ilustrado no Quadro 1. Posteriormente estes dados foram transferidos para o programa *Surfer 6.02*, para avaliação da Vulnerabilidade natural pelo método da “Krigagem<sup>2</sup>”. A execução inicia-se do seguinte modo: No menu “File” (arquivo) criou-se o arquivo na opção “New” (novo) na opção secundária “Worksheet” (planilha de trabalho). Em seguida este é salvo na extensão “.dat” e este é fechado. Abre-se um novo arquivo desta vez na opção “Plot” (demarcação de pontos) e pode-se gerar o mapa com os pontos no menu “Map” (mapa) opção “Post” (e ainda um “overlay<sup>3</sup>” com outras variáveis em forma de espacialização com preenchimento colorido ou com hachuras distintas por meio de linhas curvas). Para este passo faz-se necessário o “Gridding” do arquivo “.dat” gerado anteriormente transformando-o em um arquivo com extensão “.grb”. Este processo faz-se no menu “Grid” na opção “Data”, então se seleciona o arquivo “.dat” e escolhe as colunas correspondentes para se gerar determinado cartograma e por fim pressiona-se “OK”, com um clique do “mouse” ou ainda pressionando a tecla <enter> no teclado. Após este processo pode-se gerar mapas espacializados (georreferenciados em SIG – Sistema Informação Geográfica) cada qual com a sua temática, desde que se faça o seu devido “gridding” da coluna e do arquivo, usando se a opção “Data Columns” e as opções X, Y e Z para se fazer a escolha da coluna, e em seguida a opção “Gridding

2 *Krigagem*: é a interpolação matemática de dados, traçando-se linhas de isovalores.

3 *Overlay*: é a sobreposição de duas imagens, podendo ser no caso dois mapas ou cartogramas de temas diferentes que permitem fazer uma avaliação em conjunto de assuntos distintos, é um plano de informação.

Method”, “Kriging” e “OK”. Uma vez feito esse processo gera-se o cartograma usando-se o menu “Map” e a opção “Contour” e aí se escolhe o arquivo com extensão “.grd”. Nas mais diferentes opções, sendo importante a criatividade de cada usuário.

As coordenadas Geográficas são convertidos em coordenadas planas Universal Transversa de Mercator - UTM por meio do Aplicativo CR TP0 6.0 do Laboratório de Geomática - UFSM. Utilizou-se o Datum Horizontal: SAD 69 - Minas Gerais e Datum Vertical: Imbituba - Santa Catarina. A origem da quilometragem UTM: “Equador e Meridiano 57° W. GR.”, acrescidas as constantes 10.000Km e 500Km, respectivamente. Para o cálculo do índice de vulnerabilidade natural do aquífero, segundo Foster & Hirata (1993) e Foster *et al.* (2003), deve-se levar em consideração: a) o tipo de ocorrência da água subterrânea (ausente, surgente, confinado, semi-confinado e não confinada (coberto), e não confinado); b) as características em termos litológicos e grau de consolidação dos estratos acima da zona saturada (não consolidadas - sedimentos, e consolidadas - rochas porosas e rochas compactas; c) a profundidade do nível freático ou o teto do aquífero confinado (< 5m, 5-20m, 20-50m e > 50m). Pela metodologia **GOD** de Foster *et al.* (1988), Foster & Hirata (1993) e Foster *et al.* (2003) fundamentada em dados pré-existentes, ou seja, atribui-se valores a três tipos de parâmetros. “**G**” avalia o grau de confinamento hidrológico, “**O**” ocorrência do substrato sobrejacente, relaciona-se com as características litológicas e grau de consolidação da zona saturada ou camadas confinantes (livre, confinado e semi-confinado) e “**D**” a profundidade da água subterrânea. O índice de vulnerabilidade é obtido pelo produto entre os três parâmetros avaliados. A partir dos cartogramas fez-se análise em relação às áreas mais susceptíveis a contaminação. Para representação espacial utilizou-se cores, partido de tons mais suaves para mais intensas, à medida que intensificava o Índice de Vulnerabilidade.

#### 4. RESULTADOS

Para se compreender a dinâmica das águas subterrâneas, utiliza-se de dados coletados a partir dos poços perfurados de distintos meios. Os poços podem ser de vários tipos conforme Cederstrom (1964) em poços escavados, poços ponteiros, poços ponteiros com jato de água, poços de trado, poços de jato, poços percussores e poços rotativos. Neste trabalho são ilustrados os 14 poços cadastrados do SIAGAS/CPRM (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas do Brasil), do Município de Soledade/RS. Devido aos objetivos propostos, fez-se a representação espacial do Nível Estático do Aquífero, da Superfície Potenciométrica do Aquífero e do Índice de Vulnerabilidade com o uso do Aplicativo Computacional *Surfer* 6.02. O Quadro 1 ilustra os resultados simulados.

UTM E	UTM N	Nível Estático Aquífero (m)	Superfície Potenciométrica (m)	Índice de Vulnerabilidade
353378	6810118	25,49	644,51	0,08
353486	6810119	1,80	668,20	0,11
353403	6810272	0,50	669,50	0,11
353541	6810089	13,25	655,75	0,10
353589	6810582	3,64	667,36	0,11
353541	6810089	4,45	664,55	0,11
353644	6810460	2,00	676,00	0,11
353486	6810119	7,97	662,03	0,10
353064	6809221	1,75	660,25	0,11
353335	6809194	0,43	655,57	0,11
353120	6808914	0,41	684,59	0,11
353561	6810613	5,99	666,01	0,10
352214	6809949	2,21	677,79	0,11
351916	6809975	16,17	653,83	0,05

**Tabela 1:** Dados para a elaboração dos cartogramas

Fonte: <<http://siagas.cprm.gov.br>>

Organização: Autores

O Nível Estático de 14 poços variou de zero (1 poço surgente) até 25,49m. A Superfície Potenciométrica variou de 645 a 685m, o que concorda com Araujo *et al.* (1995), para o Aquífero Gigante do Mercosul. O Nível Estático do Aquífero corresponde à altura que se estabelece à água quando não influenciada por

bombeamento (Wrege, 2003)<sup>4</sup>. Observando o cartograma (Figura 2), percebe-se que a faixa de variação do nível estático foi de zero (poço surgente) a 25,49m.

Conforme a metodologia proposta por Foster & Hirata (1993) e Foster *et al.* (2003) os poços mais rasos recebem o valor maior, ou seja, 0,9 para poços com nível estático menor que 5m, pois são mais susceptíveis à contaminação superficial. Para poços com nível estático entre 5-20m atribui-se nota 0,8 e nota 0,7 para poços entre 20-50m, sendo que neste caso todos os poços estão dentro desta três classes. Obteve-se 9 poços entre 0-5m, representando 64%, 2 poços entre 5-10m, 14% e, das classes entre 10-15m, 15-20m e 20-25m apenas 1 poço em cada uma.

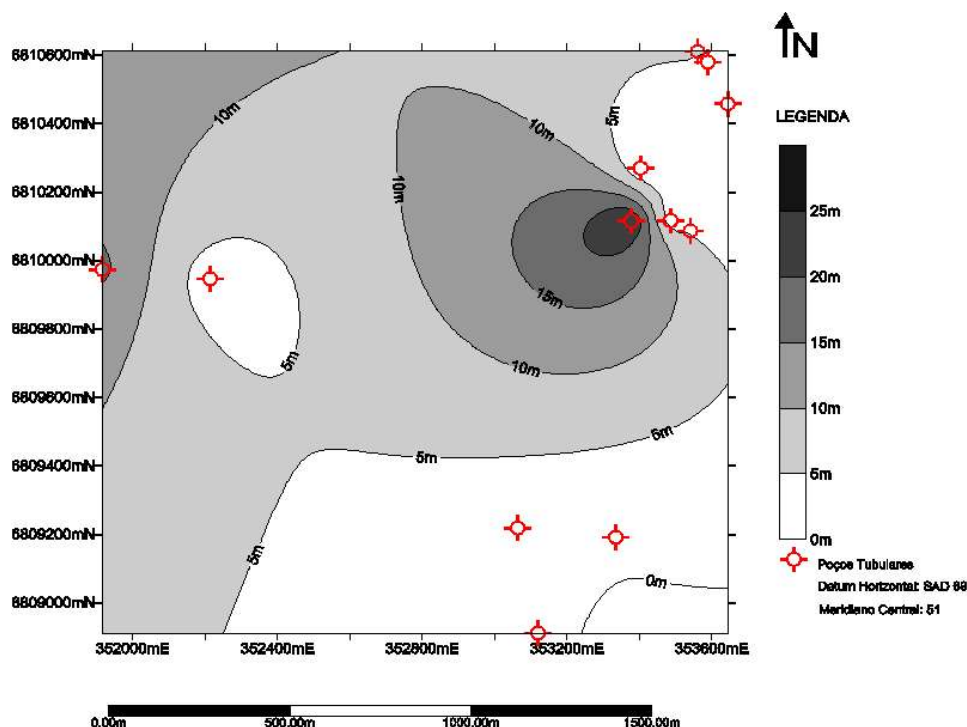


Figura 2 : Cartograma do nível estático do aquífero do município de Soledade/RS.

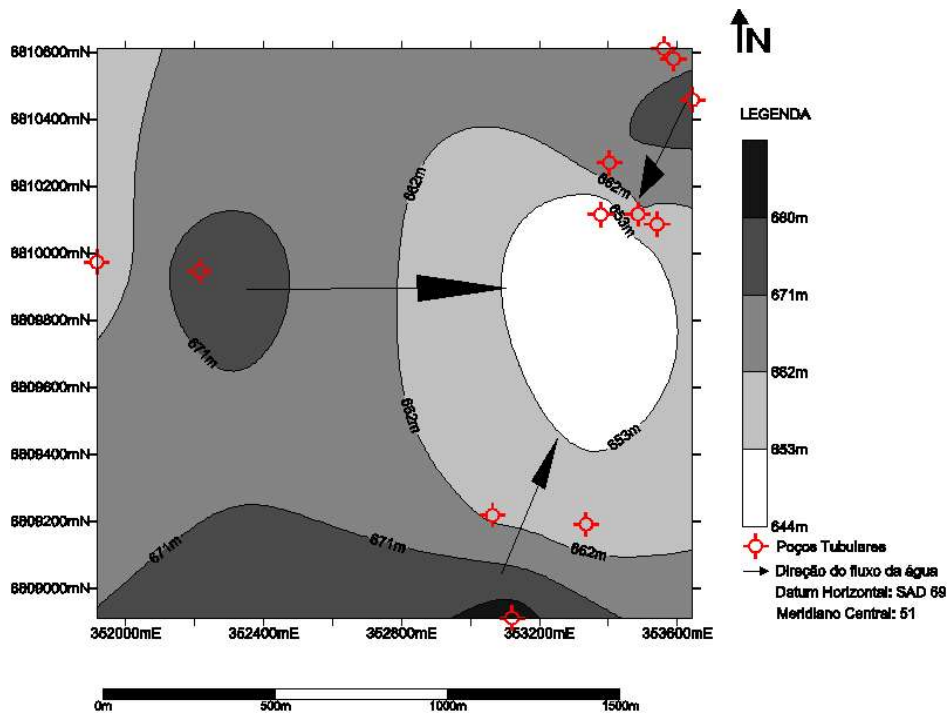
Salienta-se que para os poços com nível estático com profundidades maiores a contaminação se torna mais difícil, já que o contaminante tem que atravessar uma maior espessura da rocha para chegar ao lençol freático. Neste exemplo rochas são formadas pelos derrames vulcânicos da Formação Serra Geral, formando, portanto aquíferos cristalinos, fissurados.

No caso dos poços do Município de Soledade, o cartograma representado pela Figura 2 mostra que os poços localizados a Nordeste e no Centro-Sul são os mais susceptíveis a contaminação. Na simulação realizada a maioria dos poços do município localizam-se nestas áreas, exigindo assim, maiores cuidados quanto a instalação de aterros sanitários, distritos industriais ou qualquer outra atividade que seja potencialmente perigosa na zona urbana ou de expansão urbana.

A Superfície Potenciométrica (Figura 3) é a espessura do aquífero, cujo valor se atribui pela diferença da altitude da “boca” do poço em metros e o Nível Estático do Aquífero (em metros). Contudo, representa o peso da coluna d’água em relação a um Datum, no caso o nível médio do mar, adotou-se o Datum Vertical: Imbituba em Santa Catarina.

4 Termos Hidrogeológicos Básicos. Mário Wrege, Disponível em: [http://www.abas.org.br/estudos/hidrogeologia/termos\\_hidrogeo.htm](http://www.abas.org.br/estudos/hidrogeologia/termos_hidrogeo.htm). Acesso em: 24 mai. 2003.





**Figura 3** : Cartograma da superfície potenciométrica do município de Soledade/RS.

A partir deste cartograma observa-se que a faixa de variação da Superfície Potenciométrica foi de 642m a 685m, indicando as direções dos fluxos subterrâneos dos quadrantes Sul para Nordeste, de Norte para Sul e de Oeste para Leste isto é, das cotas mais elevadas para as mais baixas, podendo neste caso haver deslocamento de contaminantes para as áreas adjacentes para Nordeste onde se concentra o maior número de poços tubulares no município de Soledade.

Para representar o Índice de Vulnerabilidade natural do aquífero, gerou-se o cartograma do índice de vulnerabilidade do mesmo, o qual ilustra a distribuição espacial dos poços, além de mostrar também as áreas mais susceptíveis a contaminação, sendo elas localizadas ao Sul, ao Nordeste e parte do Centro em menor grau. Todos os poços avaliados ficaram desprezível e baixa, sendo 5 poços na faixa desprezível representando 36%, a outra classe foi a baixa, com 9 poços, representando 64% do total.

A geração deste cartograma facilitou a identificação das áreas mais susceptíveis à contaminação (Figura 4), que serve para subsidiar planos futuros de ocupação e uso do solo.

Observando-se o cartograma do índice de vulnerabilidade do município de Soledade (Figura 4), nota-se, que ocorreram 2 classes de vulnerabilidade, neste caso, alguns poços ficaram na classificação Baixa e Desprezível, a maioria concentrou-se na classe baixa.

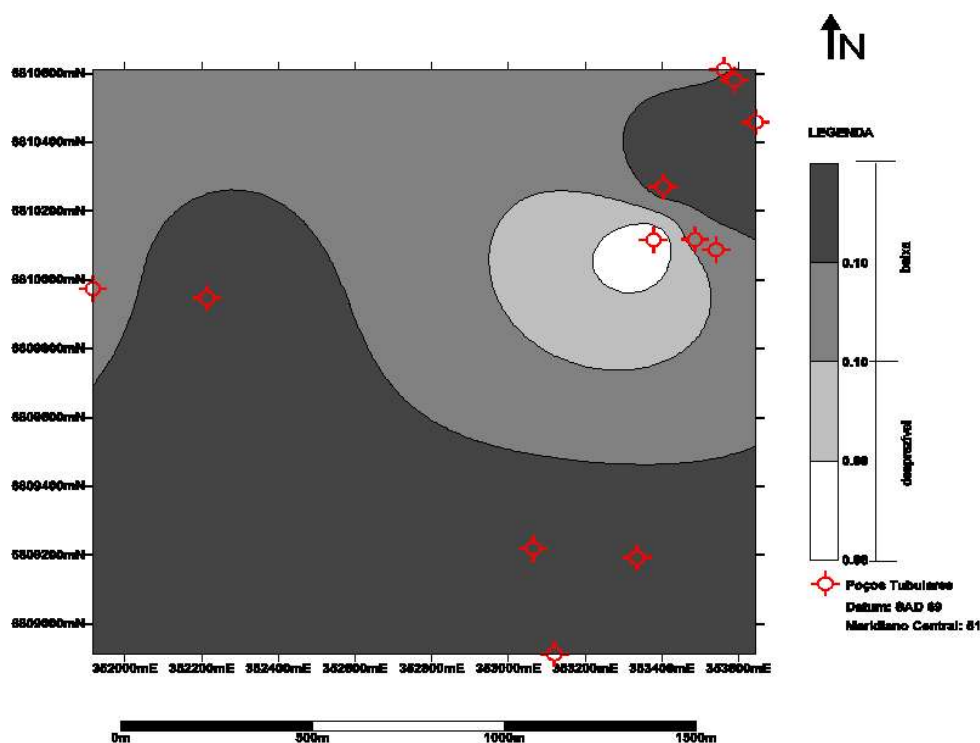


Figura 4: Cartograma do índice de vulnerabilidade do município de Soledade/RS.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando as informações obtidas a partir espacialização dos dados em SIG pôde-se averiguar a localização das áreas mais susceptíveis a contaminação dos aquíferos, desta forma tem-se uma ferramenta importante que pode servir de suporte na preservação dos mananciais subterrâneos do Município, bem como no planejamento do uso e ocupação do solo. Tem importância prática no sentido de buscar os melhores locais para instalação de fontes potenciais de poluição, tais como, aterros sanitários, distritos industriais, postos de combustível, lava a jato, bem como outras atividades que podem contaminar o lençol freático principalmente no quadrante Sul, Nordeste e Centro.

Sendo assim, esta metodologia pode servir de subsídio para a tomada de decisões que venham de encontro com a preservação dos recursos naturais, no caso específico a água subterrânea.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, L. M. *et al.* **Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai:** mapas hidrogeológicos das formações botucatu, pirambóia, rosário do sul, buena vista, misiones e tacuarembó. Curitiba: UFPR/PETROBRAS, 1995.
- CEDERSTROM, D. J. **Água Subterrânea:** uma introdução. Rio de Janeiro: Centro de Publicações Técnicas da Aliança Brasil-USAID, 1964.
- CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução** n. 15 de 11 de janeiro de 2001. Brasília, 2001. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em 07 mai. 2004.
- FOSTER, S. *et al.* **Protección de la calidad del agua subterrânea:** guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Banco Mundial: primeira edición em espanhol, julio 2003, 115p.
- FOSTER, S. & HIRATA, R. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas:** um método baseado em dados existentes. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. (Boletim N.º 10)
- GREGOROCHUK Disponível em: <<http://www.sg-guarani.org/html>>. Acesso em: 07 mai. 2004.
- HAUSMAN, A. Província hidrogeológica do estado do Rio Grande do Sul - RS. **Acta Geológica**

**Leopoldensia**, n. 2, p. 1-127, 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **Folhas SH.22 porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE 1986. (RADAMBRASIL, levantamento de recursos naturais; v. 33)

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

VIEIRA, E. F. **Rio Grande do Sul, geografia física e vegetação**. Editora Sagra: Porto Alegre, 1984.

**Páginas Eletrônicas visitadas:**

<<http://www.abas.org.br>>visitado em 04/08/2003

<<http://www.ana.gov.br/pnrh/index.htm>> visitado em 25/06/2003

<<http://www.cprm.gov.br>> SIAGAS Sistema de Informações de Água Subterrâneas, visitado em 25/06/2003

<<http://www.dnpm.gov.br>> Sistema de Informações de Sondagens Hidrogeológicas, visitado em 25/06/2003

<<http://www.embrapa.br>> visitado em 2003

<<http://www.sema.rs.gov.br>> visitado em 25/06/2003

<<http://rural.ccr.ufsm.br>> visitado em 04/08/2003

<<http://www.soledaders.com.br>>visitado em 08/05/2004