



## VULNERABILIDADE DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL NA REGIÃO NORDESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

### VULNERABILITY OF SERRA GERAL AQUIFER SYSTEM IN THE NORTHEAST REGION OF THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL

Pedro Antonio Roehle Reginato<sup>1</sup>, Siclério Ahlert<sup>2</sup>

Artigo recebido em: 18/05/2012 e aceito para publicação em: 13/03/2013.

**Abstract:** This article presents the study and mapping of fractured aquifers vulnerability associated to the Serra Geral Aquifer System (SASG), in the northeastern region of the Rio Grande do Sul State, realized through the employment of DRASTIC and GOD methods. The map obtained with the DRASTIC method indicated the occurrence of three classes of vulnerability: low (45,6%), intermediate (54,1%) and high (0,4%). The map obtained with the GOD method indicated the occurrence of two classes: low (79,1%) and medium (20,9%). This difference is due to using more parameters by DRASTIC method, being the soil type, the material of the unsaturated zone and the depth of the water level, the greatest influence in the determination of the classes of vulnerability in study area. In the GOD method the parameter depth of the water level is that most influenced. Both methods can be used in the evaluation of the vulnerability of fractured aquifers, however the DRASTIC method presented better results. So, the SASG, in most of the area, has a low and medium (intermediate) vulnerability, giving a good degree of protection.

**Keywords:** Natural vulnerability. DRASTIC. GOD. Fractured aquifers.

**Resumo:** Neste artigo é apresentado o estudo e mapeamento da vulnerabilidade de aquíferos fraturados associados ao Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, realizado através do emprego dos métodos DRASTIC e GOD. O mapa obtido com o método DRASTIC indicou a ocorrência de três classes de vulnerabilidade: baixa (45,6%), intermediária (54,1%) e alta (0,4%). O mapa obtido com o método GOD indicou a ocorrência de duas classes: baixa (79,1%) e média (20,9%). Essa diferença ocorre em função do uso de mais parâmetros pelo método DRASTIC, sendo que o tipo de solo, o material da zona não saturada e a profundidade do nível de água são os de maior influência na determinação das classes de vulnerabilidade. No método GOD o parâmetro profundidade do nível de água é que apresentou maior influência na área de estudo. Ambos os métodos podem ser utilizados na avaliação da vulnerabilidade de aquíferos fraturados, contudo o método DRASTIC apresentou melhores resultados. Assim, o SASG, na maior parte da área, possui uma vulnerabilidade baixa a média (ou intermediária), conferindo um bom grau de proteção.

**Palavras-Chave:** Vulnerabilidade natural. DRASTIC. GOD. Aquíferos fraturados.

## INTRODUÇÃO

Na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul há ocorrência de aquíferos fraturados associados às diferentes rochas vulcânicas (ácidas e básicas) que pertencem à Formação Serra Geral. Como esses aquíferos são condicionados por diferentes estruturas tectônicas (fraturas, falhas e/ou juntas) e de resfriamento dos derrames (disjunções horizontais e verticais, zonas vesiculares a amigdalóides), os mesmos possuem comportamentos hidrodinâmicos e hidroquímicos diferenciados, constituindo o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG).

Nessa região, o SASG é captado por meio

de poços tubulares e suas águas são utilizadas para abastecimento, irrigação, dessedentação de animais, desenvolvimento de atividades industriais, dentre outros. Muitos municípios e a maioria das comunidades rurais têm seu abastecimento realizado através da captação de águas subterrâneas desse sistema aquífero.

A qualidade das águas subterrâneas associadas ao SASG em geral é boa, podendo ser utilizada para diferentes usos sem tratamento. No entanto, alguns problemas afetam a qualidade e estão relacionados a causas naturais (altos teores de ferro, manganês e fluoretos) ou antrópicas

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul (pedro.reginato@ufrgs.br);

<sup>2</sup> Universidade de Caxias do Sul (siclerio@yahoo.com.br).

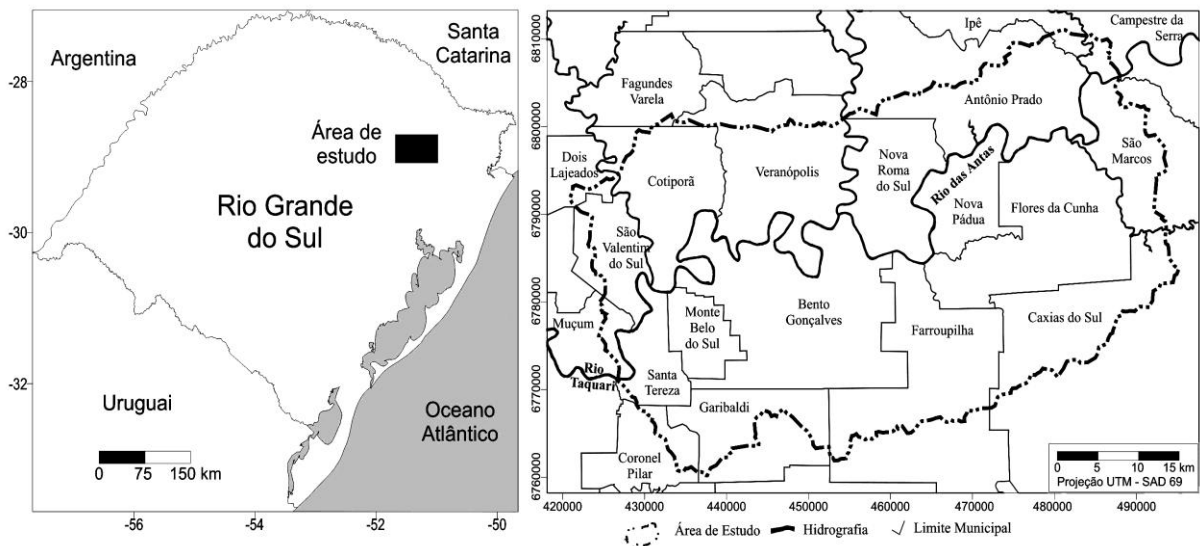
(contaminação química e bacteriológica). Na área de estudo são praticadas atividades agropecuárias como suinocultura e avicultura, sendo que grande parte dos dejetos é lançado nas lavouras como fonte de adubação, o que se constitui num risco de contaminação das águas subterrâneas, principalmente pelas elevadas concentrações de compostos de nitrogênio presentes nesses dejetos. As alterações na qualidade das águas subterrâneas têm relação direta com a vulnerabilidade do aquífero, com os aspectos construtivos dos poços e com o uso e ocupação do solo.

A maneira correta de proteção dos aquíferos, visando à manutenção da qualidade das águas é através dos estudos de vulnerabilidade e de avaliação do risco à contaminação. Com isso é possível identificar áreas que apresentam diferentes

riscos à contaminação e promover medidas que visem à preservação desses recursos. Neste trabalho é apresentado o estudo da vulnerabilidade do SASG, realizado através da aplicação dos métodos DRASTIC e GOD, que proporcionaram a identificação de áreas com diferentes classes de vulnerabilidade. Além disso, nesse estudo foi possível comparar os dois métodos e avaliar a aplicação dos mesmos na determinação da vulnerabilidade de aquíferos fraturados.

## LOCALIZAÇÃO

A área de estudo está localizada na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, no setor central da bacia hidrográfica Taquari-Antas, abrangendo 20 municípios e uma área total de 2410 km<sup>2</sup> (Figura 1).



**Figura 1** – Localização da área de estudo.  
**Figure 1** – Location of the study area.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo da vulnerabilidade do SASG foi realizado através da aplicação dos métodos DRASTIC e GOD. O método DRASTIC (ALLER et al., 1987) se baseia na análise de sete parâmetros que dão nome a sigla. Os mesmos são: D (profundidade do nível de água), R (recarga do aquífero), A (litologia do meio aquífero), S (tipo de solo), T (declividade), I (natureza da zona não saturada) e C (condutividade hidráulica). Para aplicação do método DRASTIC são atribuídos pesos “r” de 1 a 10, definidos com base na interpretação dos dados do meio físico da área estudada e comparação com valores (tabelados) definidos pelo método. Estes são multiplicados por fatores “w” que variam de 1 a 5, definidos no método com base na relevância de cada parâmetro, para a avaliação da vulnerabilidade. Nesse caso o valor mais baixo possível do índice é 23

(peso 1 para todos os parâmetros) e o maior é 230 (peso 10 para todos os parâmetros). Quanto maior o índice, maior a vulnerabilidade.

O método GOD (FOSTER e HIRATA, 1993) considera três parâmetros que formam a sigla, sendo: G (grau de confinamento da água subterrânea e tipo de aquífero), O (característica litológica e grau de consolidação da zona vadosa) e D (distância até o lençol freático). Para cada um dos parâmetros é definido um peso entre 0 e 1 (interpretação dos dados da área de estudo com valores tabelados pelo método) e o índice é obtido multiplicando-se os três valores. O resultado define classes de vulnerabilidade denominadas de: insignificante (entre 0 e 0,1), baixa (entre 0,1 e 0,3), média (entre 0,3 e 0,5), alta (entre 0,5 e 0,7) e extrema (entre 0,7 e 1,0).

Os diferentes dados utilizados nas duas

metodologias foram obtidos através do inventário e cadastramento de poços tubulares, levantamento e interpretação de dados climáticos, mapas geológicos, hidrogeológicos, pedológicos e topográficos.

O inventário de poços foi realizado, através do levantamento de dados existentes no “Sistema de Informação de Água Subterrânea” (SIAGAS/CPRM), nas companhias de abastecimento, nas prefeituras municipais, empresas de perfuração e usuários. O cadastramento dos poços foi realizado através de campanhas de campo, que permitiram a obtenção da localização e das características construtivas e hidrogeológicas dos poços tubulares. Ao todo, foram selecionados 429 poços que continham informações como: localização, profundidade, diâmetro, revestimento, entradas de água, níveis de água, vazão e parâmetros hidrodinâmicos.

Os dados climáticos e de balanço hídrico foram obtidos junto ao Banco de Dados Climáticos do Brasil, disponibilizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa – Monitoramento por Satélite). Foram utilizados os dados disponíveis para os municípios de Bento Gonçalves e Caxias do Sul e realizada uma interpretação com base nas características do relevo da região. Nas regiões de maior declividade e maior grau de dissecação do relevo foram estimadas recargas inferiores a 100 mm, enquanto que nas regiões com menor declividade as recargas foram estimadas entre 100 e 180 mm.

Os dados geológicos foram obtidos do mapa geológico da Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais (CPRM, 1998), os dados sobre o tipo de aquífero foram extraídos do mapa hidrogeológico elaborado por Machado e Freitas (2005) e, os dados sobre os tipos e características dos solos foram obtidos do mapa semidetalhado de solos elaborado por Flores et al. (2007), na escala 1:50.000. As características topográficas como a declividade e forma do relevo foram obtidas através da derivação de dados do modelo numérico do terreno (MNT), da Base Cartográfica Digital da Serra Gaúcha, em escala 1:50.000 (HASENACK e WEBER, 2007).

A elaboração dos mapas de vulnerabilidades provenientes da aplicação dos dois métodos, foi realizada com o emprego de programas de geoprocessamento (IDRISI, CartaLinx e GVSig) que possibilitaram a integração dos diferentes dados e a elaboração dos referidos mapas.

## **CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS REGIONAIS**

A Formação Geológica Serra Geral é ca-

racterizada pela ocorrência de duas sequências principais de rochas vulcânicas: uma ácida e a outra básica a intermediária (ROISENBERG e VIERO, 2002).

O mapa geológico da Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais (CPRM, 1998), indica a ocorrência de diferentes rochas vulcânicas associadas a três unidades: Gramado, Caxias e Várzea do Cedro.

A unidade Gramado é caracterizada pela ocorrência de basaltos e andesibasaltos que são rochas de coloração cinza escura, castanha a marrom, de textura fanerítica muito fina a afanítica dispostas em derrames com espessuras inferiores a 30 metros. Nesses derrames é comum a ocorrência de amplas zonas vesiculares a amigdalóides preenchidas por minerais como zeolita e quartzo, bem como zonas de brechas vulcânicas. Na área de estudo, a espessura dessa unidade varia entre 100 a 450 metros.

A unidade Caxias é caracterizada por litologias do tipo riolitos e riolitos de coloração cinza claro a cinza esverdeada a azulada, textura fanerítica fina e aspecto mosqueado. Essas rochas estão dispostas em derrames com espessuras médias de 50 metros, que se caracterizam por uma zona basal maciça, uma zona central com uma ampla disjunção horizontal ou tabular e uma zona de topo vesicular a amigdalóide. Também podem ocorrer brechas associadas à base dos derrames. A espessura dessa unidade na região de estudo varia entre 50 a 350 metros.

A unidade Várzea do Cedro é caracterizada por derrames de composição ácida, caracterizada por vidros vulcânicos de coloração preta, brilho graxo e aspecto resinoso. Na região, essa unidade possui espessura inferior a 50 metros.

Essas rochas vulcânicas foram submetidas a esforços tectônicos de dois campos tensionais principais (padrão ortogonal com orientação Norte-Sul e Leste-Oeste), responsáveis pela formação de estruturas tectônicas do tipo fraturas, zonas de fraturas, veios e diques. Os planos de fraturas são predominantemente verticais a subverticais e quando preenchidos apresentam mineralizações de zeolitas e sílica (REGINATO e STRIEDER, 2006).

Na área de estudo há ocorrência dos Aquíferos Fissurais Serra Geral, associados aos derrames de rochas vulcânicas da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral (MACHADO e FREITAS, 2005). Conforme Reginato (2003), os aquíferos nessa região são fraturados e fazem parte do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). O condicionante geológico principal desses aquíferos corresponde às estruturas tectônicas (sistemas de

fraturas e falhas). Os condicionantes secundários consistem na estruturação primária da rocha (zonas de brechas vulcânicas, vesiculares e amigdalóides e de disjunções e/ou diaclases), no relevo e tipo e espessura do solo. A circulação da água subterrânea está diretamente relacionada com a estruturação tectônica (presença de fraturas) e, em segundo plano, com a estruturação primária da rocha. Assim, esse aquífero é caracterizado por uma forte anisotropia responsável por vazões variáveis e por capacidades específicas baixas.

O estudo da vulnerabilidade do SASG já foi realizado em diferentes regiões do Brasil, através da aplicação de métodos variados. Pontes et al. (2009) desenvolveram um estudo para determinação da vulnerabilidade do aquífero fraturado associado aos basaltos da Formação Serra Geral no Mato Grosso do Sul. Usando os métodos DRASTIC e GOD, os resultados encontrados pelos autores indicaram a ocorrência de classes de vulnerabilidade muito baixa, média e alta. Alberti e Silva (2005) realizaram o estudo da vulnerabilidade dos aquíferos na região de Tupanciretã (RS), utilizando o método GOD. Os resultados encontrados indicaram classes de vulnerabilidade entre média a alta. Nanni et al. (2005) avaliaram a vulnerabilidade do SASG na região das missões (noroeste do RS) tendo encontrado valores de vulnerabilidade baixa a média. Vargas et al. (2009) desenvolveram um estudo hidrogeológico para a bacia de captação Faxinal, no município de Caxias do Sul (RS), avaliando a vulnerabilidade com base na aplicação do método GOD, tendo sido identificada a ocorrência de classes de vulnerabilidade baixa, média e alta.

### VULNERABILIDADE DO SASG PELO MÉTODO DRASTIC

Para cada um dos sete parâmetros do método DRASTIC foram definidas classes, atribuídos pesos conforme a tabela 1 e gerados os respectivos mapas apresentados nas figuras 2 à 8.

O parâmetro D corresponde à profundidade do nível de água, sendo o mesmo bastante variável na região. Os dados de nível de água de 429 poços foram separados em intervalos de profundidade, gerando sete classes que receberam pesos entre 1 e 10 ("r"). Cada classe foi multiplicada pelo fator 5 ("w"), gerando com isso o mapa da figura 2.

O parâmetro R foi determinado através da interpretação de dados climáticos, do balanço hídrico e da altitude. Com base nesses dados, foi definida a ocorrência de duas classes que receberam peso 3 ("r") para a região com recarga entre 30 a 100 mm e, peso 6 para a região com recarga entre 100 e 180 mm. O peso dessas classes foi multiplicado pelo fator 4 ("w") dando origem ao mapa da figura 3.

O parâmetro A tem pouca variabilidade, sendo constituído de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, pertencentes a três unidades principais: Várzea do Cedro (vidros vulcânicos), Gramado (rochas básicas) e Caxias (rochas ácidas). Cada uma dessas unidades foi considerada como uma classe e foram atribuídos os pesos 5, 8 e 9 ("r") que foram multiplicados pelo fator 3 ("w"), resultando na geração do mapa da figura 4.

O parâmetro S foi elaborado com base nas classes de solos existentes na região (associações de cambissolos, neossolos, chernossolos, argissolos e nitossolos). Foram definidas quatro classes principais que receberam os pesos 3, 4, 5 e 6 ("r"). Estes foram multiplicados pelo fator 2 ("w"), gerando com isso o mapa da figura 5.

O parâmetro T é o de maior variabilidade espacial na área. Várias áreas apresentam declividades acima de 100 %, além da frequente presença de escarpas. Com base no modelo numérico do terreno foram definidas cinco classes principais que receberam os pesos 1, 3, 5, 9 e 10 ("r"). Estes foram multiplicados pelo fator 1 ("w"), resultando na geração do mapa da figura 6.

O parâmetro I foi obtido da interpretação do mapa de solos e da geologia da área. Foram definidas cinco classes que receberam os pesos 3, 4, 5, 7 e 8 ("r") que foram multiplicados pelo fator 5 ("w"), gerando o mapa da figura 7.

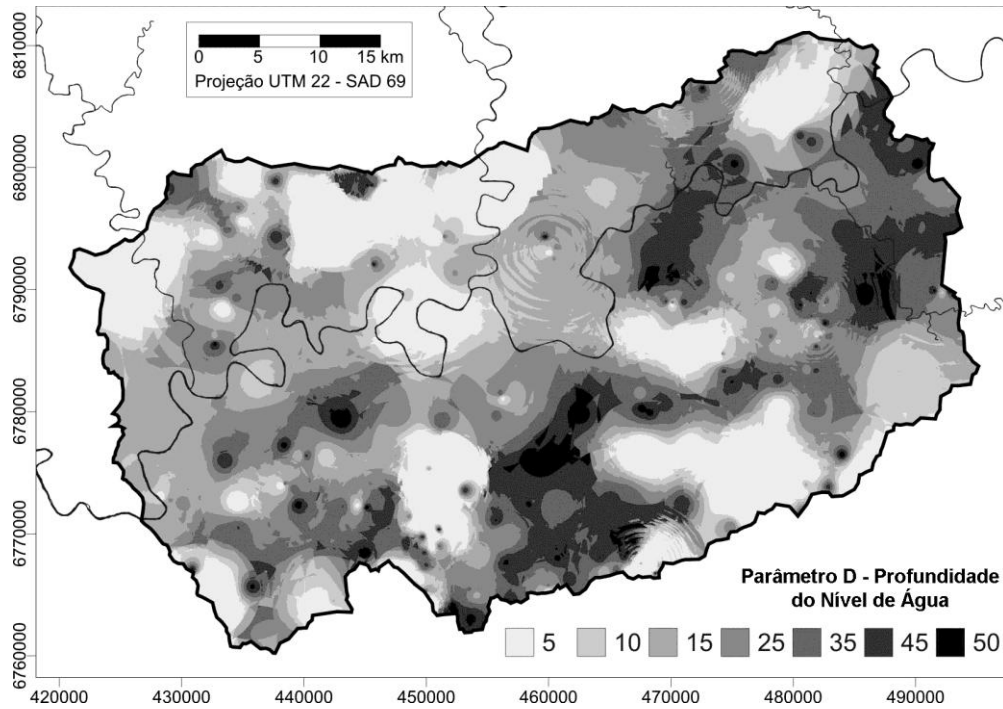
O parâmetro C foi considerado homogêneo, visto que o tipo de aquífero é o mesmo para toda a área. Dessa forma, toda a área recebeu peso 1 ("r"), que foi multiplicado pelo fator 3 ("w"), dando origem ao mapa da figura 8.

A integração dos sete mapas foi realizada com o emprego do programa IDRISI, que deu origem a um mapa de Vulnerabilidade do SASG pelo método DRASTIC (Figura 9). Esse mapa é caracterizado pela presença de três classes de vulnerabilidade: baixa, intermediária e alta.

**Tabela 1** – Tipos de classes e pesos atribuídos aos parâmetros utilizados na elaboração dos mapas parciais e de vulnerabilidade pelo método DRASTIC.

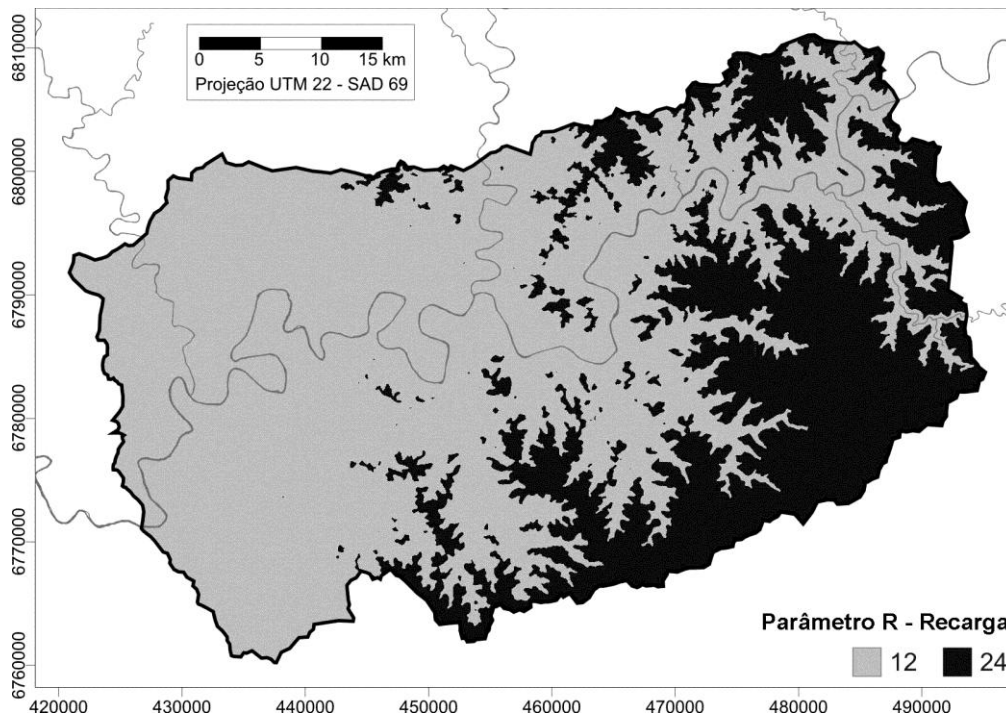
**Table 1** - Types of classes and weights assigned of the parameters used in the preparation of maps and the vulnerability by DRASTIC method.

<b>Parâmetro D – Profundidade do N.A. (m)</b>	<b>Peso “r”</b>	<b>Fator “w”</b>	<b>Calculado</b>
0 a 2	10	5	50
2 a 5	9	5	45
5 a 10	7	5	35
10 a 17	5	5	25
17 a 26	3	5	15
26 a 34	2	5	10
>34	1	5	5
<b>Parâmetro R – Recarga (mm)</b>	<b>Peso “r”</b>	<b>Fator “w”</b>	<b>Calculado</b>
30 a 100	3	4	12
100 a 180	6	4	24
<b>Parâmetro A – Litologia do Meio Aquífero</b>	<b>Peso “r”</b>	<b>Fator “w”</b>	<b>Calculado</b>
Unidade Várzea do Cedro	5	3	15
Unidade Gramado	8	3	24
Unidade Caxias	9	3	27
<b>Parâmetro S – Tipo de Solo</b>	<b>Peso “r”</b>	<b>Fator “w”</b>	<b>Calculado</b>
Nitossolos e Argissolos	3	2	6
Chernossolos	4	2	8
Cambissolos	5	2	10
Neossolos	6	2	12
<b>Parâmetro T – Declividade (%)</b>	<b>Peso “r”</b>	<b>Fator “w”</b>	<b>Calculado</b>
> 18	1	1	1
12 – 18	3	1	3
6 – 12	5	1	5
2 – 6	9	1	9
0 - 2	10	1	10
<b>Parâmetro I – Zona Não Saturada</b>	<b>Peso “r”</b>	<b>Fator “w”</b>	<b>Calculado</b>
Nitossolos	3	5	15
Argissolos	4	5	20
Chernossolos	5	5	25
Cambissolos	7	5	35
Neossolos	8	5	40
<b>Parâmetro C – Condutividade Hidráulica</b>	<b>Peso “r”</b>	<b>Fator “w”</b>	<b>Calculado</b>
$5.10^{-7}$ a $5.10^{-5}$ m/s	1	3	3



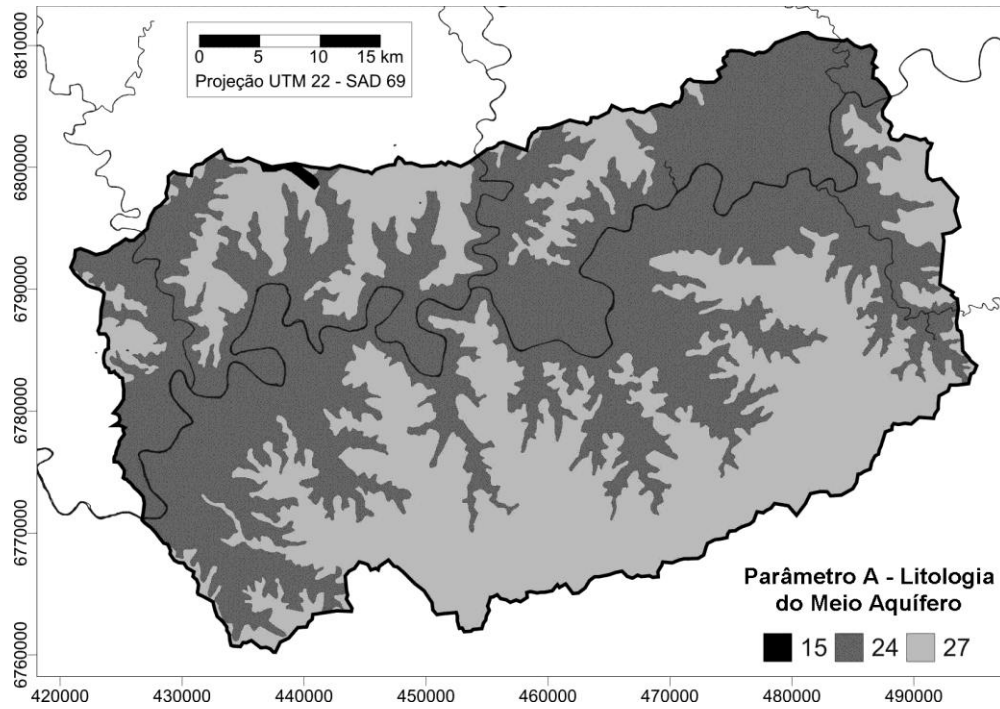
**Figura 2** – Mapa com os valores calculados para cada uma das classes do parâmetro profundidade do nível de água (D), do método DRASTIC.

**Figure 2** – Map with calculated values for each class of water level depth parameter (D) from DRASTIC method.



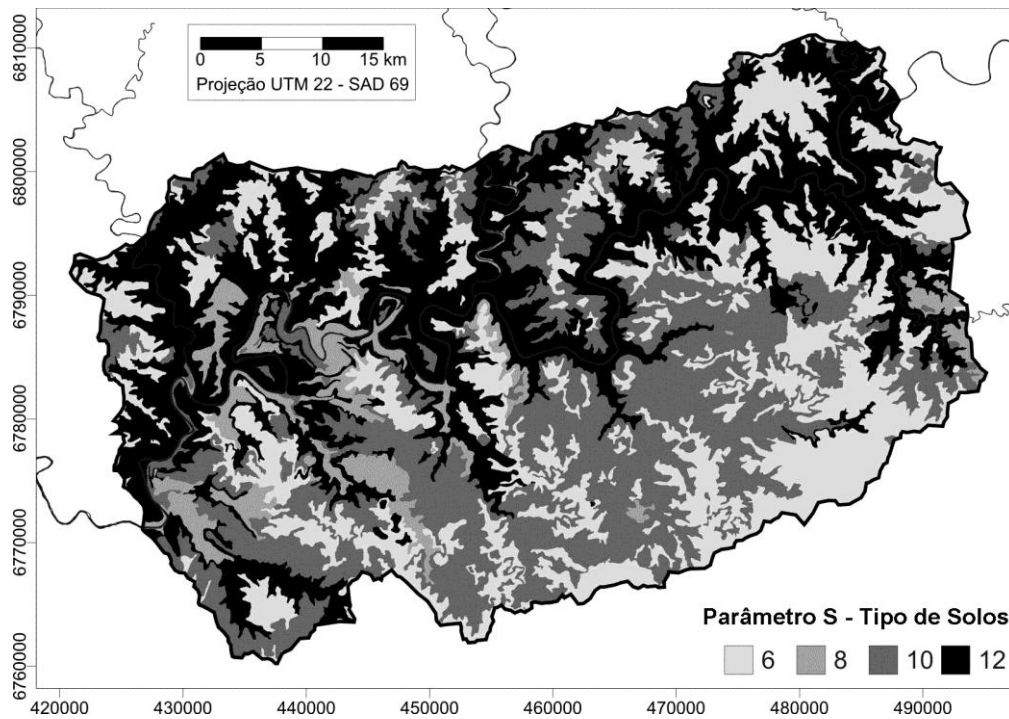
**Figura 3** – Mapa com os valores calculados para cada uma das classes do parâmetro recarga (R), do método DRASTIC.

**Figure 3** – Map with the values calculated for each class of recharge parameter (R), from DRASTIC method.



**Figura 4** – Mapa com os valores calculados para cada uma das classes do parâmetro litologia do meio aquífero (A), do método DRASTIC.

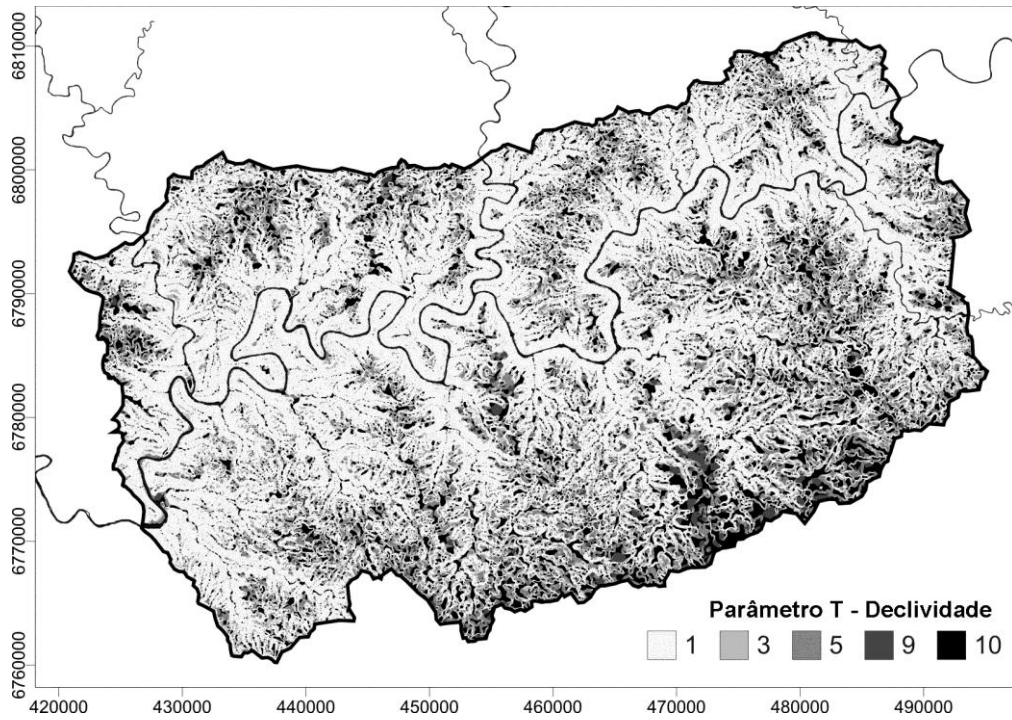
**Figure 4** – Map with the values calculated for each class of the aquifer lithology parameter (A), from DRASTIC method.



**Figura 5** – Mapa com os valores calculados para cada uma das classes do parâmetro tipo de solos (S), do método DRASTIC.

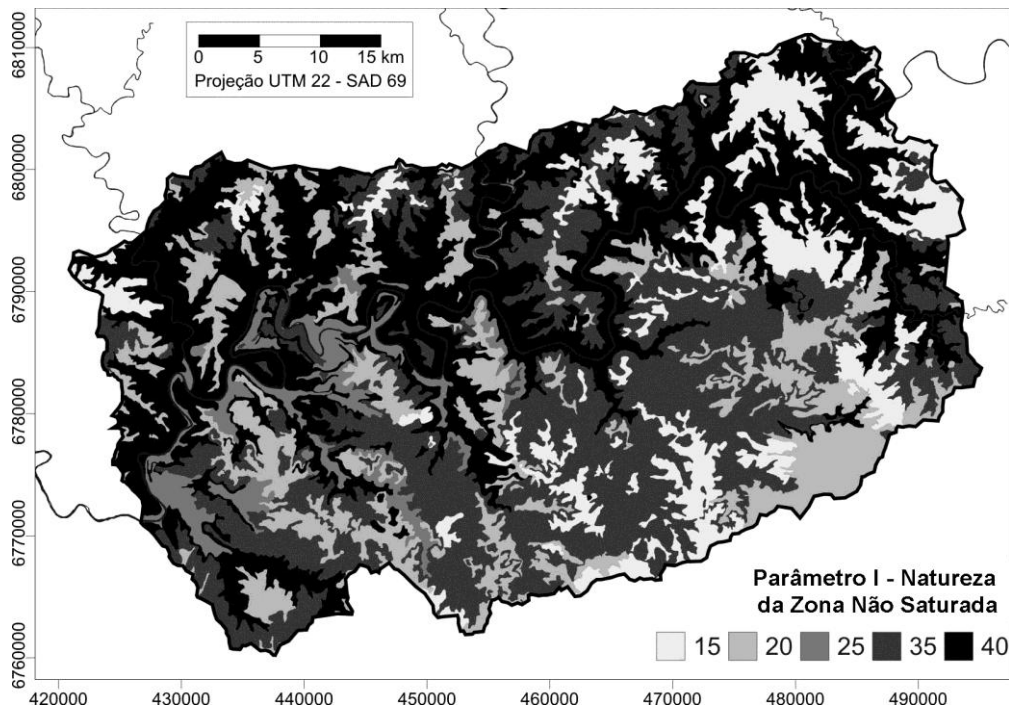
**Figure 5** – Map with the values calculated for each class of soil type parameter (S), from DRASTIC method.





**Figura 6** – Mapa com os valores calculados para cada uma das classes do parâmetro declividade (T), do método DRASTIC.

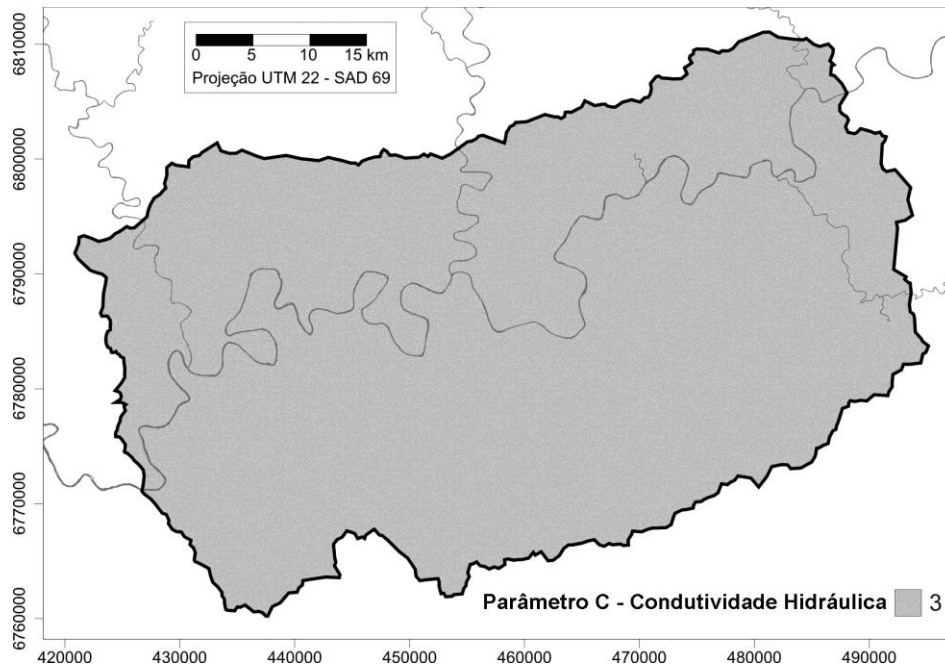
**Figure 6** – Map with the values calculated for each class of slope parameter (T), from DRASTIC method.



**Figura 7** – Mapa com os valores calculados para cada uma das classes do parâmetro natureza da zona não saturada (I), do método DRASTIC.

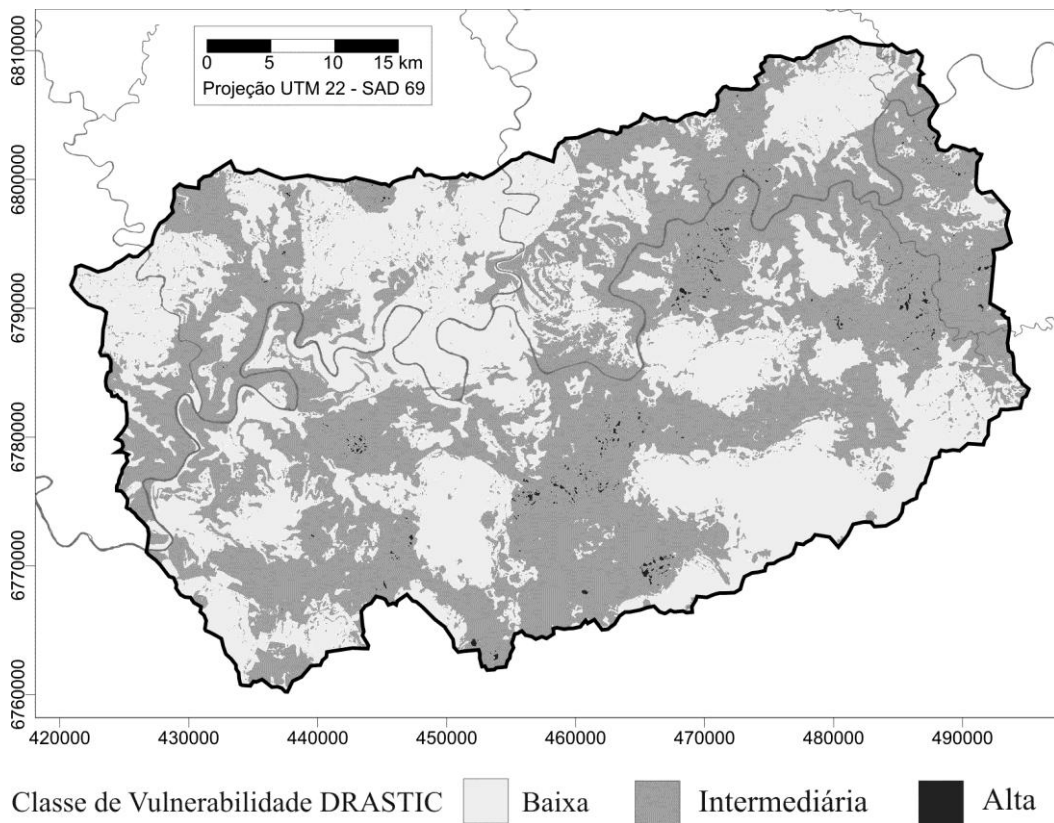
**Figure 7** – Map with calculated values for each class of nature of the unsaturated zone parameter (I), from DRASTIC method.





**Figura 8** – Mapa com os valores calculados para o parâmetro condutividade hidráulica (C), do método DRASTIC.

**Figure 8** – Map with the values calculated for hydraulic conductivity parameter (C), from DRASTIC method.



**Figura 9** – Mapa de Vulnerabilidade do SASG do método DRASTIC.

**Figure 9** – Map of the Vulnerability of the SASG by DRASTIC method.

## VULNERABILIDADE DO SASG PELO MÉTODO GOD

No método GOD, os três parâmetros analisados foram ordenados por classes, atribuídos pesos conforme a tabela 2 e gerados os mapas das figuras 10 a 13.

O parâmetro G está associado ao tipo de aquífero, sendo que na região há ocorrência dos aquíferos fraturados. Como esses aquíferos possuem comportamentos diferenciados (livre ou confinado) em função dos condicionantes geológicos (estruturas primárias e tectônicas), o peso atribuído foi de 0,5, resultando num mapa com uma única classe (Figura 10).

O parâmetro O está relacionado diretamente com a litologia dos estratos de cobertura dos aquíferos. Na região, há ocorrência de três unidades geológicas sendo que cada uma dessas unidades foi considerada como uma classe. Para cada classe foram atribuídos os pesos 0,5; 0,7 e 0,75, que deram origem ao mapa da figura 11.

O parâmetro D corresponde a profundidade do nível de água, sendo que na região é observada uma grande variação em função das características geológicas do aquífero. Os dados de nível de água de 429 poços foram divididos em intervalos de profundidade descritos na tabela 2 dando origem a sete classes que receberam pesos entre 0,4 e 1,0. Com as classes e os pesos definidos foi gerado o mapa da figura 12.

A integração dos três mapas foi realizada com o emprego do programa IDRISI, que deu origem ao mapa de Vulnerabilidade do SASG pelo método GOD (Figura 13). Esse mapa é caracterizado pela presença das classes de vulnerabilidade baixa e média.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O mapa de vulnerabilidade obtido pela aplicação do método DRASTIC (Figura 9) indicou que em 45,6% da área a vulnerabilidade é baixa, em 54,1% é intermediária e em 0,4% é alta. Essa variabilidade decorre da maior quantidade de parâmetros utilizada por esse método, quando comparada com o método GOD, por isso é possível visualizar alternâncias de classes de vulnerabilidade em áreas próximas (vizinhas).

Os parâmetros profundidade do nível de água (D), tipo de solo (S) e material da zona não saturada (I) são os que apresentaram maior variabilidade (Figuras 2, 5 e 7), influenciando fortemente na definição das classes de vulnerabilidade. O parâmetro declividade (T) também apresentou uma grande variabilidade de classes, mas teve uma menor influência, pois o valor atribuído pelo

método para esse fator é 1 (o mais baixo de todos). Os outros três parâmetros, recarga (R), litologia do meio aquífero (A) e condutividade hidráulica (C) tiveram menor influência na definição dos graus de vulnerabilidade, pois apresentaram uma menor distribuição de classes.

As áreas de vulnerabilidade baixa estão localizadas em diferentes regiões onde há ocorrência de solos do tipo nitossolos e argissolos que apresentam maior conteúdo de argila e são mais espessos, poços com níveis de água mais profundos e declividades superiores a 12%. As áreas de vulnerabilidade intermediária estão localizadas em regiões onde há predomínio de solos do tipo chernossolos, cambissolos e neossolos, com menor conteúdo de argila e menor espessura, poços com nível de água mais próximo da superfície e declividades entre 2 e 12%. Já as áreas de vulnerabilidade alta estão localizadas em pontos isolados, onde há ocorrência de neossolos, poços com profundidade do nível de água menores que 2 metros e declividades inferiores a 2%.

O mapa de vulnerabilidade obtido através do método GOD permitiu a identificação da classe de vulnerabilidade baixa em 79,1% da área e média em 20,9%. A ocorrência de duas classes de vulnerabilidade decorre do fato que o método GOD utiliza somente três parâmetros. Nesse caso deve-se destacar que o parâmetro profundidade do nível de água (D) é o que apresentou a maior variabilidade de classes, seguido pelo parâmetro litologia dos estratos de cobertura (O). Esses dois parâmetros tiveram influência direta na determinação das áreas com vulnerabilidade baixa ou média.

A localização das áreas de vulnerabilidade baixa ocorreu nas três unidades geológicas, em relevos com declividades variadas (vales, encostas e áreas mais altas dos patamares do planalto meridional), em diferentes tipos de solos (nitossolos, argissolos, chernossolos, cambissolos e neossolos) e, em poços com níveis de água mais profundos. Já as áreas de vulnerabilidade média correspondem a regiões onde há ocorrência das unidades geológicas Gramado e Caxias, relevos com declividades mais baixas, solos de diversos tipos e poços com nível de água mais raso. Se analisarmos o mapa do parâmetro D (Figura 12) e compararmos com o mapa de vulnerabilidade obtido pelo método GOD (Figura 13) pode-se evidenciar uma forte correlação entre as regiões onde os níveis de água observados nos poços foram mais baixos e as áreas definidas como de vulnerabili-

dade média.

Os mapas de vulnerabilidade gerados por ambos os métodos indicaram que na região predominam as classes baixa ou média (intermediária). De modo geral, as áreas classificadas como de vulnerabilidade média pelo método GOD foram classificadas como de vulnerabilidade intermediária pelo método DRASTIC. Contudo, várias das áreas que no método GOD aparecem com vulnerabilidade baixa, são classificadas como vulnerabilidade intermediária no método DRASTIC, conforme pode ser visto na comparação dos mapas (Figuras 9 e 13). Isso decorre do fato de que no método DRASTIC são avaliados mais parâmetros, sendo os parâmetros S e I os que apresentaram maior diversidade e pesos diferenciados, influenciando fortemente na determinação das classes de vulnerabilidade baixa e intermediária.

Comparando os dois métodos e sua aplicação na avaliação da vulnerabilidade de aquíferos fraturados, pode-se concluir que os mesmos podem ser utilizados com esse objetivo. Nas regiões de aquíferos fraturados os solos tem grande

importância, pois têm influência na recarga e desempenham um papel de proteção dos processos de contaminação. Dessa forma, o método DRASTIC, por possibilitar a utilização de parâmetros que envolvem os tipos de solos e o material da zona não saturada é mais aconselhado para ser utilizado no estudo de aquíferos fraturados.

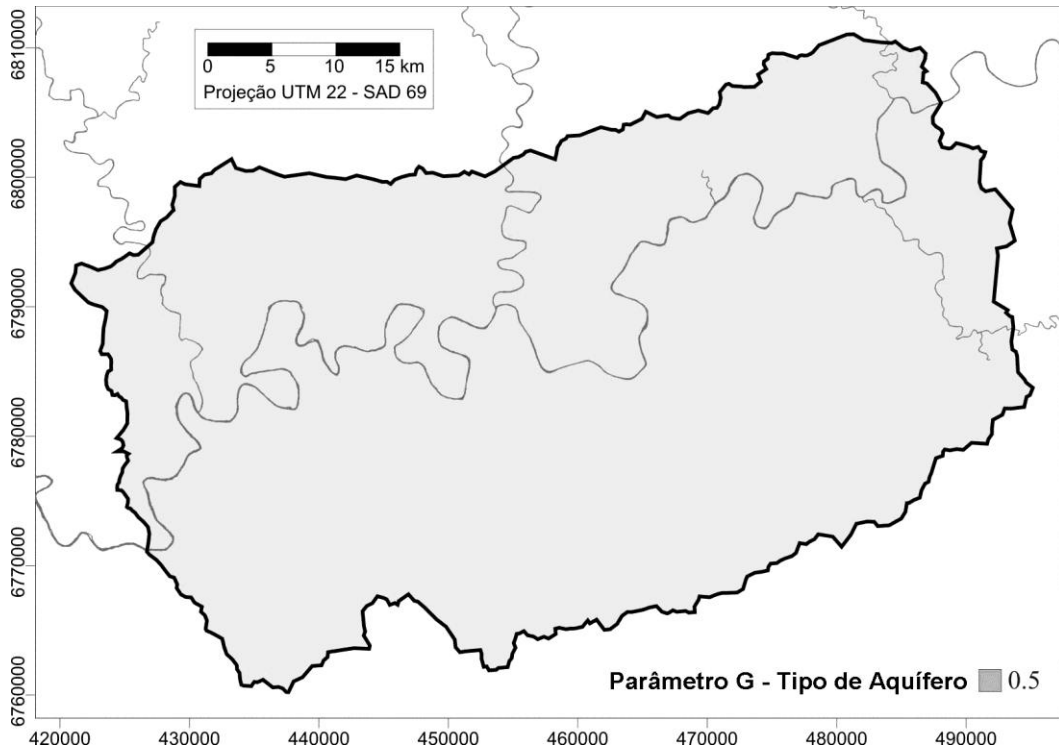
Conforme Hirata e Fernandes (2008), a classe de vulnerabilidade baixa indica que o aquífero é vulnerável, a longo prazo, para contaminantes conservativos quando os mesmos são amplamente lançados e lixiviados. Já a classe média (intermediária) indica que o aquífero é vulnerável a alguns contaminantes (sais, nitratos e hidrocarbonetos clorados e não-clorados) quando os mesmos são continuamente lançados.

Dessa forma, embora o SASG tenha vulnerabilidades médias a baixas, indicando uma proteção natural razoável, deve-se dar uma atenção especial ao uso e ocupação do solo. Na região de estudo, as atividades agropecuárias são intensas e com manejo inadequado dos dejetos, gerando assim a possibilidade de ocorrência de processos de contaminação.

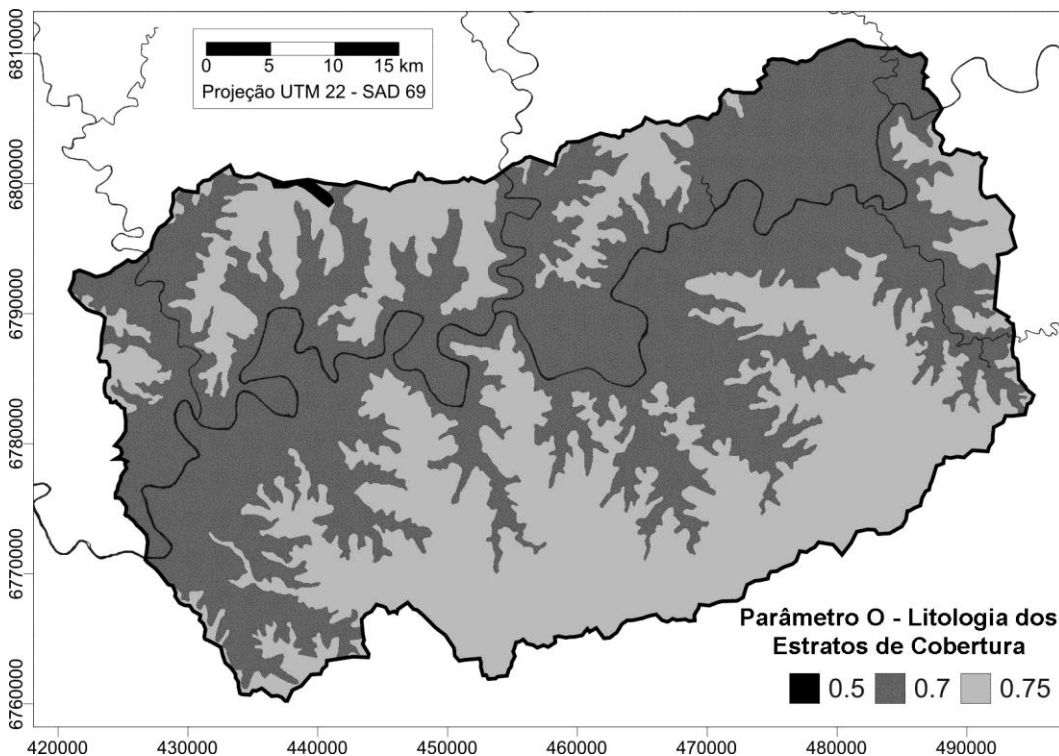
**Tabela 2** – Tipos de classes e pesos atribuídos a cada um dos parâmetros utilizados na elaboração dos mapas parciais e de vulnerabilidade pelo método GOD.

**Table 2** - Types of classes and weights assigned to each of the parameters used in the preparation of maps and the vulnerability by GOD method.

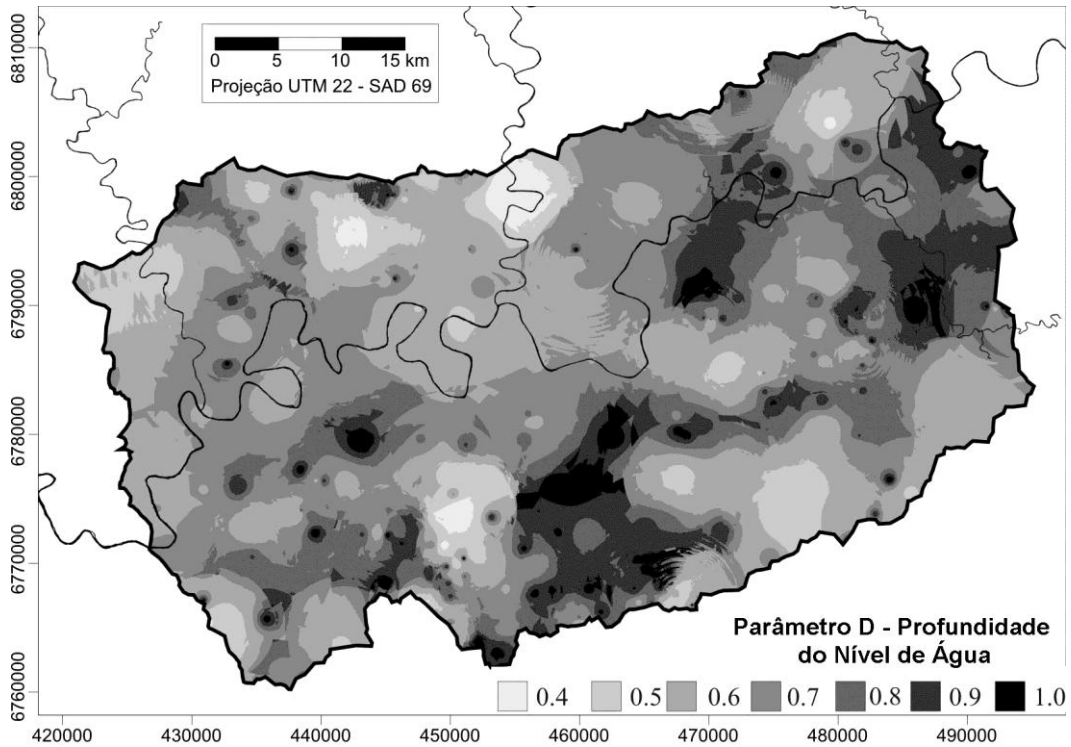
<b>Parâmetro G – Tipo de Aquífero</b>	<b>Valor</b>
Aquífero Fraturado	0,5
<b>Parâmetro O – Litologia dos Estratos de Cobertura</b>	<b>Valor</b>
Unidade Várzea do Cedro	0,5
Unidade Gramado	0,7
Unidade Caxias	0,75
<b>Parâmetro D – Profundidade do Nível de Água (m)</b>	<b>Valor</b>
> 100	0,4
50 a 100	0,5
20 a 50	0,6
10 a 20	0,7
5 a 10	0,8
2 a 5	0,9
< 2	1,0



**Figura 10** – Mapa com o valor atribuído a classe do parâmetro tipo de aquífero (G) do método GOD.  
**Figure 10** – Map with the value assigned to each class of aquifer type parameter (G) from GOD method.

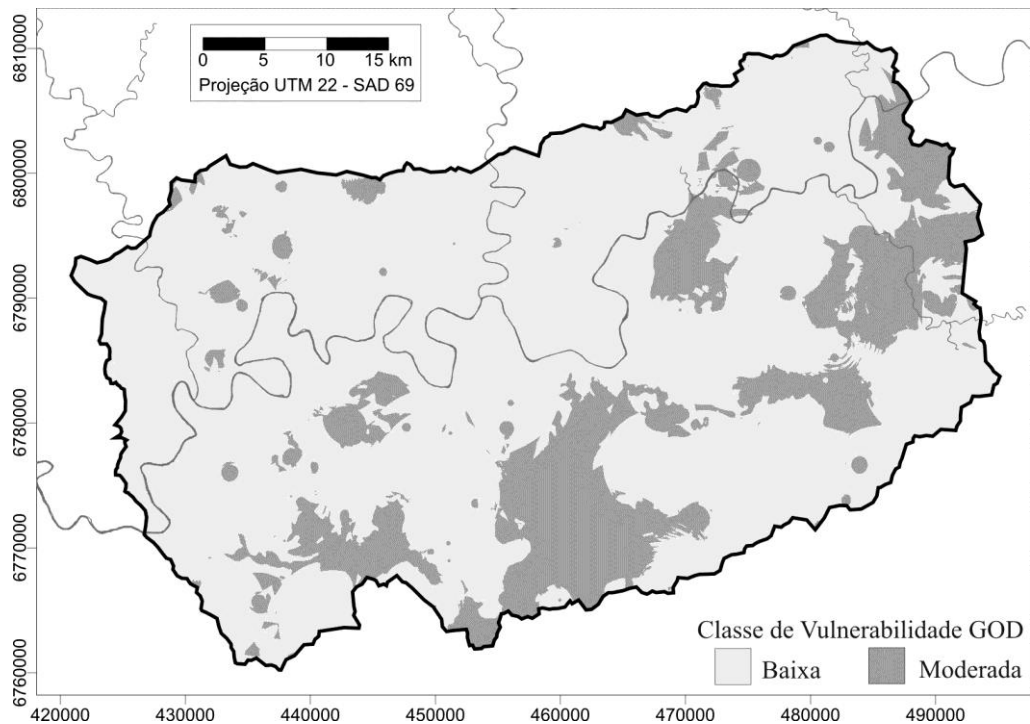


**Figura 11** – Mapa com os valores atribuídos as classes do parâmetro litologia dos estratos de cobertura (O) do método GOD.  
**Figure 11** – Map with the values assigned to each class of lithology coverage parameter (O) from GOD method.



**Figura 12** – Mapa com os valores atribuídos às classes do parâmetro profundidade do nível de água (D) do método GOD.

**Figure 12** – Map with the assigned values of each class of water level depth parameter (D) from GOD method.



**Figura 13** – Mapa de Vulnerabilidade do SASG do método GOD.

**Figure 13** – Map of the Vulnerability of the SASG by GOD method.

## CONCLUSÕES

A utilização dos métodos DRASTIC e GOD para a avaliação da vulnerabilidade do SASG forneceu bons resultados, comprovando que ambos podem ser aplicados para regiões onde há ocorrência de aquíferos fraturados. O método DRASTIC, a princípio, apresenta melhores resultados por utilizar mais parâmetros, sendo que o solo, o material da zona não saturada e a profundidade do nível de água são os parâmetros de maior importância na avaliação das classes de vulnerabilidade. No método GOD o parâmetro profundidade do nível de água foi o que teve maior influência na definição das classes de vulnerabilidade.

O mapa de vulnerabilidade do SASG gerado pelo método DRASTIC evidencia que a região apresenta três classes de vulnerabilidade, sendo a intermediária (54,1%) e a baixa (45,6%) como as principais. O mapa de vulnerabilidade

gerado pelo método GOD indica que na região há ocorrência das classes de vulnerabilidade baixa (79,1%) e média (20,9%). Essas diferenças estão relacionadas com a quantidade de parâmetros utilizados por cada método. No método DRASTIC o uso de uma maior quantidade de parâmetros resultou num mapa com maior variabilidade espacial para as classes de vulnerabilidade. Já no método GOD, o uso de menos parâmetros, que na região são mais homogêneos, gerou um mapa de vulnerabilidade com menor variabilidade espacial das classes.

Essa avaliação permite definir que os aquíferos fraturados do SASG possuem uma boa proteção, pois as classes de vulnerabilidade identificadas indicaram que esses aquíferos são vulneráveis somente a contaminantes conservativos, persistentes quando continuamente lançados e lixiviados.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul, pelo financiamento do projeto.

## REFERÊNCIAS

- ALBERTI, E. A.; SILVA, J.L.S DA. Estudo da Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos no Perímetro Urbano de Tupanciretã/RS. In: 1º SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL. 2005. Santa Maria. RS, **Anais**. 2005 (CD-rom).
- ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J.H.; PETTY, R.; HACKETT, G. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. US E.P.A. – EPA/600/2-87/035, 1987.
- CPRM. **Mapeamento Geológico Integrado da Bacia Hidrográfica do Guaíba**: Carta Geológica. Folha SH22-V-D-Caxias do Sul. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. Porto Alegre. Um mapa colorido. Escala 1:250.000. Material Cartográfico. 1998.
- FLORES, C.A.F.; PÖTTER, R.O.; FASOLO, P.J.; HASENACK, H.; WEBER, E. **Levantamento semidetalhado de Solos**: Região da Serra Gaúcha – Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, UFRGS, 2007 (Mapa).
- FOSTER, S.; HIRATA, R. **Determinação de Riscos de Contaminação das Águas Subterrâneas**: uma metodologia embasada em dados existentes. Instituto Geológico. São Paulo. Boletim nº 10. 1993.
- HASENACK, H.; WEBER, E. (Org.). **Base Cartográfica Digital da região da Serra Gaúcha**: Escala 1:50.000. Porto Alegre. UFRGS-Centro de Ecologia, Série Geoprocessamento 2. 2007. (CD-rom).
- HIRATA, R.; FERNANDES, A. J. Vulnerabilidade a Poluição de Aquíferos. In: FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E.C.; DEMETRIO, J.G. **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. 3ª ed. rev. e ampl. Rio da Janeiro: CPRM:LABHID, 812p. 2008.
- MACHADO, J.L.F.; FREITAS, M.A. de. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul**: relatório final. Porto Alegre. CPRM. 65p.il.mapa.2005.
- NANNI, A.S.; TEDESCO, M.A.; FREITAS, M.A.; BINOTTO, R.B. Vulnerabilidade e Risco de Contaminação do Aquífero Serra Geral pela Suinocultura na região das Missões, RS. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. João Pessoa. **Anais** (CD-rom).2005
- PONTES, C.H.C.; LASTORIA, G.; PARANHOS FILHO, A.C.; GABAS, S.G.; OLIVEIRA, P.T.S. de. Determinação da Vulnerabilidade do Aquífero Basáltico no Campus da UFMS, em Campo Grande – MS. **Revista Águas Subterrâneas**. v.23, nº01, p.105-120. 2009.
- REGINATO, P.A.R.. **Integração de Dados para Prospecção de Aquíferos Fraturados em Trecho da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (RS)**. Porto Alegre, 2003. 254p. Tese (Doutoramento em Engenharia). Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais. UFRGS.
- REGINATO, P.A.R.; STRIEDER, A.J.. Caracterização Estrutural dos Aquíferos Fraturados da Formação Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geociências**. 36(1):13-22, março de 2006.
- ROISENBERG, A.; VIERO, A.P. O Vulcanismo Mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. In: HOLZ, M.; DE ROS, L.F. (Edit.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CIGO/UFRGS. 444p. il.- Edição Revista, 2002.

VARGAS, T. DE; ZABO, M.A.; SUSIN, S.; CABERLON, M.V. Diagnóstico Hidrogeológico da Bacia de Captação do Faxinal. In: 1º CONGRESSO INTERNACIONAL DO

MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO. São Paulo, **Anais**. (CD-rom).2009.