

**MIRIANNE UGOLINI GOULART SOARES**

MAPEAMENTO DO RISCO À CONTAMINAÇÃO DO SISTEMA  
AQUÍFERO SERRA GERAL NO MUNICÍPIO DE CHAPECÓ - SC

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito  
para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Ambiental da  
Universidade Federal da Fronteira Sul.

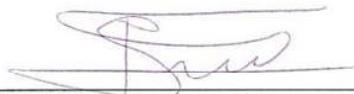
**Orientadora: Profa Aline de Almeida Mota**

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e  
aprovado pela banca em: 01 / 12 / 2016

**BANCA EXAMINADORA**



Profa Me. Aline de Almeida Mota – UFFS



Prof. Dr. Fernando Grison – UFFS



Prof. Dr. Mauro Leandro Menegotto - UFFS

# MAPEAMENTO DO RISCO À CONTAMINAÇÃO DO SISTEMA AQUIFERO SERRA GERAL NO MUNICÍPIO DE CHAPECÓ - SC

Mirianne Ugolini Goulart Soares, Aline de Almeida Mota<sup>1</sup> (Orientadora)

<sup>1</sup>Universidade Federal da Fronteira Sul, Chapecó, SC, Brasil

**Resumo:** O Sistema Aquífero Serra Geral é a reserva de águas subterrâneas mais importante e explorada no município de Chapecó-SC. Entretanto, atividades antrópicas podem causar contaminação desse recurso. Diante disto, o objetivo deste trabalho foi mapear a vulnerabilidade, o perigo e o risco à contaminação do Sistema Aquífero Serra Geral no município de Chapecó, por meio da aplicação dos métodos GOD, POSH e cruzamento de mapas, respectivamente. Para isso, foram utilizadas informações da hidrogeologia, pedologia e nível estático dos poços perfurados na região e cadastrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Por meio do método GOD, estimou-se a vulnerabilidade do Sistema Aquífero Serra Geral como baixa em aproximadamente 90% da área município. Entretanto, 57% da área do município e 83% do perímetro urbano foram classificados como de perigo elevado. Isso faz com que aproximadamente metade da área do Sistema Aquífero Serra Geral no município tenha risco alto. No perímetro urbano essa porcentagem de área é ainda maior, 71%. Estes resultados evidenciam a necessidade de planejamento adequado no que diz respeito à localização tanto de novos poços quanto de atividades antrópicas. Os mapas gerados podem ser utilizados como ferramenta para o planejamento territorial do município.

**Palavras-chave:** vulnerabilidade, perigo, aquífero, planejamento, GOD, POSH.

**Abstract:** The Serra Geral Aquifer System is the most important and exploited groundwater reservoir in the municipality of Chapecó-SC. However, anthropic activities can cause contamination of this resource. In view of this, the objective of this work was to map the vulnerability, hazard and risk to contamination of the Serra Geral Aquifer System in the municipality of Chapecó, through the application of the GOD, POSH and mapping methods, respectively. For this, information on hydrogeology, pedology and static level of wells drilled in the region and registered in the Groundwater Information System was used. Through the GOD method, the vulnerability of the Serra Geral aquifer system was estimated as low in approximately 90% of the municipal area. However, 57% of the area of the municipality and 83% of the urban perimeter were classified as high hazard. This means that approximately half of the Serra Geral Aquifer System area in the municipality has a high risk. And in the urban perimeter this percentage of area is even greater, 71%. These results demonstrate the need for adequate planning with regard to the location of both new wells and anthropogenic activities. The maps generated can be used as a tool for the territorial planning of the municipality.

**Keywords:** Vulnerability, hazard, aquifer, planning, GOD, POSH.

## INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são fundamentais para a subsistência da humanidade, e são explorados por meio de mananciais superficiais e

subterrâneos. Sendo relevante destacar-se a vantagem de custo e qualidade que as águas subterrâneas têm em relação às superficiais (GONÇALVES, 2012).

Além de serem explorados atualmente, os aquíferos se apresentam como uma reserva de recursos hídricos estratégica, correspondendo a aproximadamente 97% da água doce disponível para uso, em geral com boa qualidade para consumo.

Entretanto, algumas atividades antrópicas estão provocando a contaminação desse recurso natural, colocando a sua qualidade em risco. Diante disso, o mapeamento de risco à contaminação de aquíferos é uma atividade essencial no intuito de promover o conhecimento da área e auxiliar no planejamento territorial e no consumo da água subterrânea.

O risco à contaminação do aquífero é uma probabilidade de que essa contaminação ocorra, sendo determinado pela interação entre a vulnerabilidade natural do sistema aquífero com o perigo à contaminação (GOERL, KOBAYAMA e PELLERIN, 2012). Portanto, o mapa de risco é resultante do cruzamento das informações de vulnerabilidade e perigo à contaminação do aquífero.

A vulnerabilidade do aquífero, diz respeito as suas características de fragilidade naturais em relação à possível exposição à contaminação. Existem diversos métodos para

mapear a vulnerabilidade de um aquífero, sendo que, de acordo com Linhares et al. (2014) os mais utilizados são os métodos GOD (*Groundwater occurrence; Overall lithology of the unsaturated zone; Depth to the water table*) e DRASTIC (*Depth to groundwater, Recharge rate; Aquifer media; Soil media; Topography; Impact of the vadose zone; Hydraulic conductivity*).

O método GOD utiliza-se da combinação de três parâmetros físicos do aquífero, e o método DRASTIC é formado pela combinação de sete parâmetros hidrológicos, morfológicos e físicos (LINHARES et al., 2014).

Entretanto, Foster et al. (2006) afirmam que o método DRASTIC tende a resultar em um índice de vulnerabilidade de importância vaga porque a combinação de um excesso de parâmetros ponderados pode gerar uma sobreposição de dados no cálculo do índice de vulnerabilidade, ocasionando em riscos nas tomadas de decisões.

O perigo à contaminação está relacionado com a ameaça ao sistema aquífero, gerada pela presença de contaminantes (GOERL, KOBAYAMA e PELLERIN, 2012). Pode-se associar o perigo com o uso e ocupação do solo e subsolo e o seu potencial de atuar

como contaminante. Diante disso, o método POSH (*Pollutant Origin; Surcharge Hydraulically*) é aplicado, com o intuito de definir as principais atividades do município que representam perigo para o aquífero, enquadrando-as entre perigo reduzido, moderado e elevado (PEREIRA JÚNIOR, SOARES e CASTRO, 2015).

A importância estratégica das águas subterrâneas é evidente no município de Chapecó – SC, no qual há atualmente 305 poços perfurados registrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) utilizados para abastecimento doméstico, industrial, animal, na irrigação e em atividades de lazer.

A exploração de águas subterrâneas no município ocorre quase que totalmente no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) que apresenta condições de confinamento entre livres e confinados.

As atividades potencialmente poluidoras na região onde está inserido o município de Chapecó, de acordo com o diagnóstico obtido no PROESC – Projeto Oeste de Santa Catarina (FREITAS, 2003), estão relacionadas com a ocupação da região de forma não sustentável causando desmatamento, erosão do solo, assoreamento dos rios, uso

excessivo e não planejado de dejetos suínos em lavouras, a aplicação excessiva de agrotóxicos, falta de tratamento de esgoto, disposição inadequada de lixo e efluentes industriais.

O desenvolvimento socioeconômico da região oeste de Santa Catarina, de acordo com Freitas et al. (2002), depende essencialmente das águas subterrâneas. Os municípios da região que mais utilizam desse recurso natural são: Chapecó, Concórdia e São Miguel d'Oeste, sendo que Chapecó destaca-se pelo fato da grande interferência no SASG devido à superexploração causando rebaixamento dos níveis e diminuição das vazões.

Freitas et al. (2002) também destacam que o aquífero Serra Geral não dispõe de reservas de águas necessárias para suprir toda a região, enfatizando a preocupação em relação à qualidade das águas subterrâneas desse sistema diante do aumento no desmatamento, das intensas práticas agrícolas com adição de dejetos suínos em lavouras e agrotóxicos, e pela compactação do solo que interfere nas recargas dos aquíferos da região.

Diante disso, o objetivo deste trabalho é mapear a vulnerabilidade, o

perigo e o risco à contaminação do SASG no município de Chapecó, por meio da aplicação dos métodos GOD, POSH e cruzamento de mapas, respectivamente.

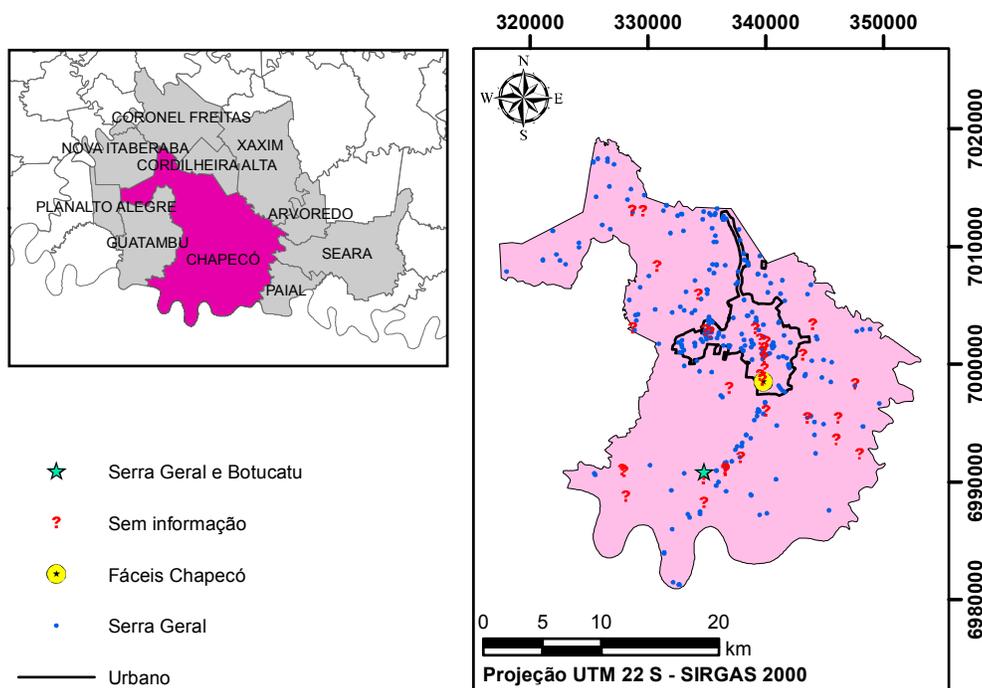
## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

O município de Chapecó, localizado na região oeste do estado

de Santa Catarina (Fig. 1), possui área de 625,291 km<sup>2</sup> e seu perímetro equivale a 186,346 km. O Clima subtropical no município caracteriza o verão quente da região, com temperaturas médias anuais de 22 °C (EPAGRI/CIRAM, 2016).

**Figura 1** – Mapa de localização do município de Chapecó-SC e dos poços perfurados, em suas respectivas formações geológicas. Nota-se que os poços identificados como sem informação são aqueles que não possuem informação a respeito da formação geológica onde estão perfurados.



O município está inserido na Província Hidrogeológica Paraná, que é caracterizada por formações sedimentares, em geral, clásticas, e intrusões e derrames basálticos que atingem espessura de até 7.800

metros. Esta província se destaca por ser uma das melhores províncias hidrogeológicas em termos de produtividade, sendo que nela encontram-se os Sistemas Aquífero

Guarani e Serra Geral (SASG) (MENTE, 2008).

Atualmente, há 305 poços registrados no SIAGAS localizados no território do município, sendo que 268 destes estão perfurados no SASG e

são utilizados como fonte de abastecimento (Fig. 1).

A Tabela 1 indica as condições encontradas nos poços de Chapecó-SC, segundo Machado (2013).

**Tabela 1** – Condições dos poços perfurados no SASG no município de Chapecó-SC.

ZONA AQUÍFERA	DESCRIÇÃO	VAZÕES PROVÁVEIS (m <sup>3</sup> /h)	VARIAÇÃO DO NÍVEL ESTÁTICO (m)
Serra Geral	Aquíferos fraturados de maior potencialidade	5,0 a 40,0	5,0 a 30,0
	Aquíferos fraturados de menor potencialidade	2,0 a 15,0	5,0 a 30,0
Formações geológicas Permianas e Cretácicas	Aquíferos locais e limitados	3,0 a 10,0	10,0 a 30,0

**Fonte:** Adaptado de Machado, 2013.

De acordo com Freitas (2003) os poços perfurados na região do oeste catarinense possuem profundidade que varia entre 24 e 310 metros, sendo que o intervalo mais encontrado na região é de 100 a 150 metros. Entretanto, no município de Chapecó-SC a profundidade dos poços varia entre 2,5 e 318 m, de acordo com SIAGAS.

As vazões obtidas por meio de ensaio de bombeamento dos poços da região apresentam o seguinte

percentual, de acordo com Freitas (2003): 31,83% dos poços têm vazões inferiores a 1 m<sup>3</sup>/h; 19,36% entre 1 e 5 m<sup>3</sup>/h; 18,17% entre 5 e 10 m<sup>3</sup>/h; 21,08% entre 10 a 20 m<sup>3</sup>/h e 9,56% ocorrem vazões superiores a 20 m<sup>3</sup>/h.

O SASG no município é caracterizado pela ocorrência de aquíferos no sistema de fraturas da rocha basáltica e no solo resultante da alteração dessas rochas. Assim, os aquíferos fraturados podem ocorrer em condições de confinamento

semiconfinado e confinado, e os porosos são livres.

Os aquíferos livres localizam-se na zona de alteração das rochas, e sofrem influência do tipo de solo, da espessura da zona alterada, da topografia, do clima e do substrato rochoso. O nível estático desse aquífero varia de acordo com a precipitação, que conforme os dados da Epagri/Ciram (2016) apresenta um valor anual entre 1.700 e 1.900 mm (REGINATO, 2003).

Os aquíferos do tipo semiconfinados e confinados são formados pelas fraturas do maciço rochoso da Formação Serra Geral e, portanto, dependem inteiramente da estruturação dos derrames basálticos (REGINATO, 2003).

Reginato (2003) afirma que os aquíferos livres, semiconfinados e confinados podem estar interligados por meio de fraturas, e evidentemente, essa interligação proporciona a recarga do aquífero semiconfinado e confinado e influencia diretamente em sua vulnerabilidade.

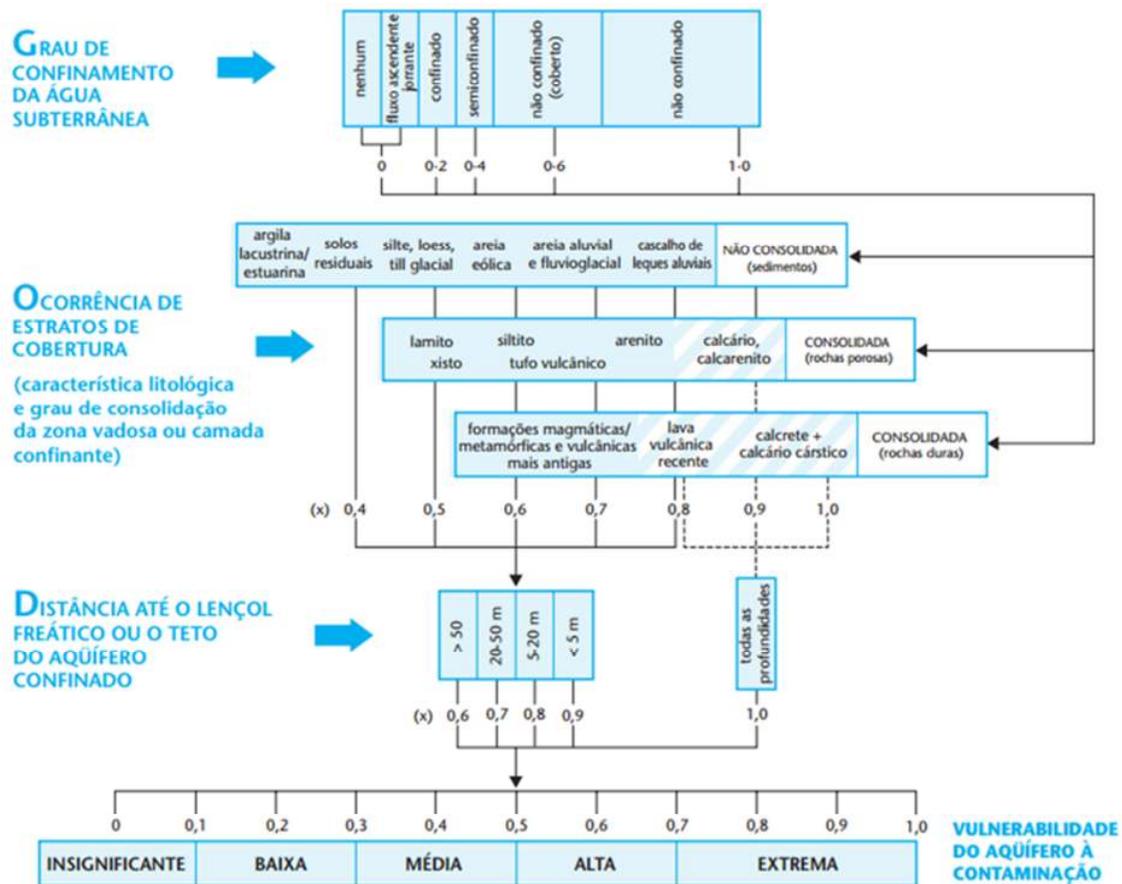
### **Método GOD**

Proposto em 1988 por Foster e Hirata, o método GOD (*Groundwater occurrence, Overall lithology of the*

*unsaturated zone, Depth to the water table*) trata-se de um método empírico utilizado na determinação da vulnerabilidade de aquíferos (HIRATA; FERNANDES, 2008).

A aplicação do método, segundo Foster et al. (2006), consiste em 4 etapas: **1)** Identificar o tipo de confinamento ao qual a água subterrânea está sujeita e sua respectiva valoração na escala de 0,0 - 1,0, representada pela letra G; **2)** Especificar quais são os estratos de cobertura da zona saturada do aquífero estudado, em relação ao grau de consolidação e litologia, enquadrando tais parâmetros em uma escala de 0,4 - 1,0, representada pela letra O; **3)** Estimar a profundidade do nível onde encontra-se a água subterrânea, enquadrando esse parâmetro numa escala de 0,6 - 1,0, representada pela letra D. **4)** Após obter G, O e D, o índice final de vulnerabilidade do aquífero pode ser obtido por meio do produto entre os três valores. Assim, a vulnerabilidade da área de estudo pode ser classificada segundo sua potencialidade de contaminação em cinco níveis: insignificante, baixa, média, alta ou extrema (Fig.2).

Figura 2 – Etapas do método GOD.



Fonte: Foster et al. 2006.

### Parâmetro G

O grau de confinamento do SASG no município de Chapecó-SC foi obtido a partir de informações do Mapa Hidrogeológico de Santa Catarina com escala 1:500.000. Esse mapa está disponível no banco de dados da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM) na forma de arquivo digital, sendo possível de ser trabalhado em ambiente de

Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Identificaram-se duas zonas aquíferas na área de estudo, e os valores para o parâmetro G foram adotados de acordo com suas características especificadas na tabela de atributos do Mapa Hidrogeológico (Tab. 2).

**Tabela 2** – Informações hidrogeológicas de Chapecó - SC.

ZONAS AQUIFERAS	CONDIÇÕES HIDROGEOLÓGICAS	GRAU DE CONFINAMENTO ADOADO	VALOR DE G
Serra Geral	Aquíferos livres a semiconfinados, regionais e fraturados.	Livre a semiconfinado	0,7
Formações geológicas Permianas e Cretácicas	Aquitardos e aquíferos locais e limitados, com porosidade por fraturas.	Semiconfinado a confinado	0,3

**Fonte:** Adaptado de Machado, 2013.

A zona aquífera Serra Geral apresenta uma situação intermediária como condição de confinamento, ou seja, de livre a semiconfinado. Nestes casos, o parâmetro G da zona aquífera foi calculado por meio da média entre os valores correspondentes a aquíferos semiconfinados ( $G = 0,4$ ) e livres não cobertos ( $G = 1,0$ ) (Fig. 2).

A zona aquífera das Formações geológicas Permianas e Cretácicas não apresenta nenhuma definição direta a respeito do grau de confinamento.

Entretanto, de acordo com Machado (2013), nesta zona de aquíferos pouco produtivos há a ocorrência de derrames basálticos pouco fraturados e litologias que não favorecem a produção de água. Além disso, esta zona possui uma pequena importância hidrogeológica local devido à presença de aquitardos e aquíferos pobres, relacionados à condições morfológicas desfavoráveis (MACHADO, 2013).

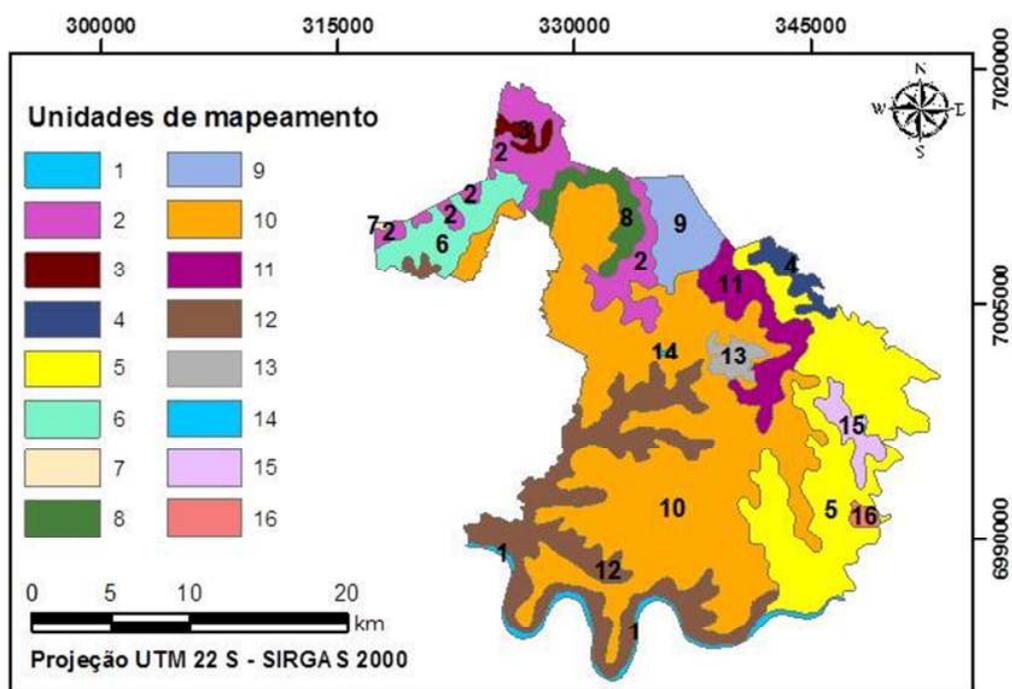
Diante disso, para a zona aquífera das Formações geológicas Permianas e Cretácicas, adotou-se um grau de confinamento de semiconfinado a confinado e, sendo assim, o parâmetro G foi calculado pela média entre os valores correspondentes a aquíferos semiconfinados ( $G = 0,4$ ) e confinados ( $G = 0,2$ ).

### **Parâmetro O**

As informações acerca da ocorrência de estratos de cobertura foram consultadas no Mapa de Solos do Estado de Santa Catarina, elaborado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) na escala 1:250.000 (EMBRAPA, 2004).

O mapa de solos do município é constituído por unidades de mapeamento (Fig. 3) que podem apresentar um ou mais tipos de solo com suas respectivas características de textura e profundidade (Tab.3 e 4).

**Figura 3** – Unidades de mapeamento de solos de Chapecó-SC.



Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2004).

**Tabela 3** – Tipos de solos presentes em cada unidade de mapeamento do município de Chapecó-SC.

UNIDADE DE MAPEAMENTO	SOLO 1	SOLO 2	SOLO 3
1	Corpo d'água	Corpo d'água	Corpo d'água
2	Cambissolo	Solos Litólicos	Terra Roxa Estruturada
3	Terra Roxa Estruturada	Cambissolo	Solos Litólicos
4	Terra Roxa Estruturada	Cambissolo	Solos Litólicos
5	Cambissolo	Solos Litólicos	-
6	Terra Roxa Estruturada	-	-
7	Terra Roxa Estruturada	-	-
8	Terra Roxa Estruturada	-	-
9	Latossolo Roxo	-	-
10	Latossolo Bruno/Vermelho	-	-
11	Terra Roxa Estruturada	Cambissolo	-
12	Cambissolo	Solos Litólicos	Terra Roxa Estruturada
13	Urbano	Urbano	Urbano
14	Corpo d'água	Corpo d'água	Corpo d'água
15	Terra Roxa Estruturada	Cambissolo	Solos Litólicos
16	Terra Roxa Estruturada	Cambissolo	Solos Litólicos

**Tabela 4** – Características dos tipos de solo encontrados no município de Chapecó.

TIPO DE SOLO	TEXTURA	PROFUNDIDADE (cm)
Cambissolo	Argilosa	60 - 150
Latossolo Roxo	Muito Argilosa	> 150
Latossolo Bruno/Vermelho	Muito Argilosa	> 150
Solos Litólicos	Siltosa/Argilosa	< 60
Terra Roxa Estruturada	Muito Argilosa	> 150

Para determinar o parâmetro O, além do grau de consolidação da zona vadosa ou camada confinante e suas características litológicas, que são as características previstas no método GOD (Fig.2), considerou-se também a profundidade do solo.

O motivo para a inclusão dessa característica se justifica pelo fato de que a profundidade corresponde à distância que o contaminante percorreria até alcançar o aquífero, caso deslocasse verticalmente.

Diante disso, o parâmetro O final ( $O_f$ ) foi calculado de acordo com a Equação 1, sendo que os valores adotados encontram-se na Tabela 5.

$$O_f = \frac{(O_{t_1} + O_{p_1}) + (O_{t_2} + O_{p_2}) + \dots + (O_{t_n} + O_{p_n})}{2 \cdot n} \quad (1)$$

Onde  $O_f$  é o valor final de O para cada unidade de mapeamento;  $O_t$  é o valor de O atribuído de acordo com a textura de cada tipo de solo presente na unidade de mapeamento;  $O_p$  é o valor de O atribuído conforme o

intervalo de profundidade de cada tipo de solo presente na unidade de mapeamento; e  $n$  corresponde ao número de tipos de solo presentes na unidade de mapeamento.

Destaca-se que o Mapa de Solos do Estado de Santa Catarina possui três unidades de mapeamento inseridas na área de estudo que não se caracterizam por tipo de solo, sendo duas referentes a corpos d'água e uma representando as áreas urbanas. Nestes casos, o valor atribuído ao parâmetro O foi igual a 1,0. De acordo com Foster et al. (2006), o solo nas áreas urbanas é frequentemente removido em escavações, durante construções. Logo, o contaminante no subsolo é aplicado abaixo da sua base, sendo esta razão para que se assumia que a zona de solo é ausente, e portanto mais vulnerável.

Além de os corpos d'água superficiais não possuírem nenhum tipo de cobertura, podem ser uma via

de contato entre a fonte de contaminação em superfície e o aquífero.

**Tabela 5** – Composição do valor final de O a partir de valores parciais referentes à profundidade e textura.

<b>PROFUNDIDADE (cm)</b>	<b>Op</b>	<b>JUSTIFICATIVA (*)</b>	<b>TEXTURA</b>	<b>Ot</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>
< 60	1,0	Capacidade de atenuação muito baixa	Siltosa	0,5	Valor proposto pelo método GOD
60 a 150	0,8	Capacidade de atenuação baixa	Argilosa	0,4	Valor proposto pelo método GOD
> 150	0,5	Capacidade de atenuação mediana	Muito Argilosa	0,3	Efeito de atenuação maior do que a textura "Argilosa"

**Fonte:** \* Adaptado de Lopes, 2012.

### **Parâmetro D**

A distância até o lençol freático do Sistema Aquífero Serra Geral foi obtida por meio do banco de dados do SIAGAS.

Identificaram-se no município 305 poços registrados no SIAGAS, entretanto, aqueles que não apresentavam dados de Nível Estático (NE) foram excluídos, restando 205 poços.

Para a atribuição dos valores do parâmetro D foi levado em consideração o nível estático, pois, de acordo com Reginato (2003), os sistemas de aquíferos livres, semiconfinados e confinados estão interligados, sendo evidente que as

mesmas águas que circulam nos aquíferos livres alimentam os aquíferos semiconfinados e confinados por meio das fraturas. Diante disso, pode-se afirmar que contaminação das águas dos aquíferos livres, pode interferir diretamente na qualidade das águas dos aquíferos semiconfinados e confinados.

Além disso, a profundidade de solo poderia ser utilizada para inferir sobre a distância da superfície até o topo do aquífero confinado. Porém, não se dispõe de informações com detalhe suficiente para tal consideração e a influência da profundidade do solo foi contabilizada no parâmetro O.

Os valores de D do método GOD possuem cinco intervalos de classificação, sendo que a menor vulnerabilidade está relacionada com valores de profundidades do NE maiores que 50 m  $\rightarrow D=0,6$ , e a maior vulnerabilidade está relacionada com valores de profundidades menores que 5 m  $\rightarrow D=0,9$ .

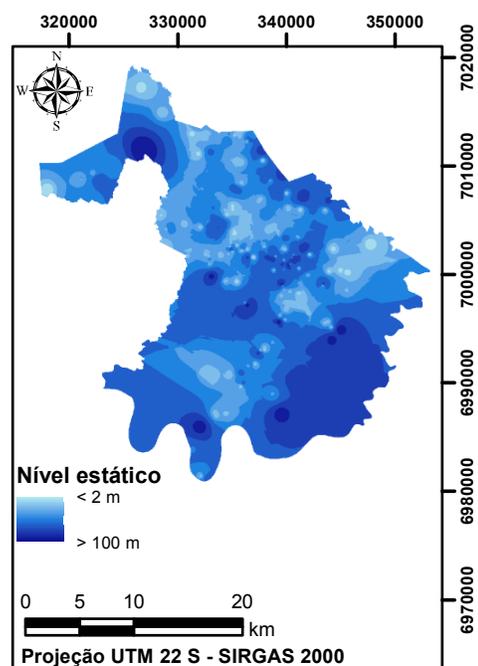
Entretanto, os níveis estáticos dos poços de Chapecó-SC estão entre 0,00 m a 199,80 m, então, adotou-se a classificação sugerida por Reginato e Ahlert (2013), no intuito de representar de maneira mais discretizada a variabilidade do NE e sua relação com a vulnerabilidade (Tab. 6 e Fig.4).

**Tabela 6** – Valores de D de acordo com a profundidade do Nível Estático.

<b>PROFUNDIDADE N.E (m)</b>	<b>D</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

**Fonte:** Adaptado de Reginato e Ahlert, 2013.

**Figura 4** – Distribuição dos níveis estáticos.



Dentre os métodos aplicados para interpolação do NE, o método *Inverse Distance Weighted* (IDW) foi o que manteve o intervalo de variação dos níveis estáticos dos poços na área do município próximo ao medido. Os métodos *Kriging* e *Spline* distorcem os valores de NE para áreas onde não se tem poços, e apresentaram uma variação muito maior do que a medida nos poços.

O mapa dos níveis estáticos foi reclassificado, isto é, atribuíram-se valores do parâmetro D de acordo com a Tabela 6, obtendo-se o mapa do parâmetro.

## Mapeamento da vulnerabilidade

O método GOD foi aplicado para a obtenção do mapa da vulnerabilidade natural do SASG.

Após a atribuição dos valores de cada um dos parâmetros G, O e D, realizou-se a análise e processamento dos dados em ambiente SIG, no sistema de referência SIRGAS 2000 projeção UTM zona 22 S.

Os mapas foram multiplicados por meio da ferramenta “*Raster Calculator*” do ArcGIS 10.3, obtendo-se assim o mapa da vulnerabilidade natural do Sistema Aquífero Serra Geral no município de Chapecó-SC, que foi classificado de acordo com a Tabela 7.

**Tabela 7** – Classes de vulnerabilidade do método GOD.

<b>CLASSE DE VULNERABILIDADE</b>	<b>INTERVALO DA CLASSE</b>	<b>DEFINIÇÃO CORRESPONDENTE</b>
Extrema	0,7 a 1,0	Vulnerável à maioria dos contaminantes com impacto rápido em muitos cenários de contaminação
Alta	0,5 a 0,7	Vulnerável a muitos contaminantes (exceto os que são fortemente adsorvidos ou rapidamente transformados) em muitas condições de contaminação
Moderada	0,3 a 0,5	Vulnerável a alguns contaminantes, mas somente quando continuamente lançados ou lixiviados
Baixa	0,1 a 0,3	Vulnerável somente a contaminantes conservadores, a longo prazo, quando contínua e amplamente lançados ou lixiviados
Insignificante	0 a 0,1	Presença de camadas confinantes sem fluxo vertical significativo de água subterrânea (percolação)

**Fonte:** Adaptado de Foster et al., 2006.

## Mapeamento do perigo

O método *POSH* (*Pollutant origin, surcharge hydraulically*) proposto por Foster et al. em 2002, relaciona em sua aplicação a estimativa de duas características: a origem do poluente e a sobrecarga hidráulica. Posteriormente essas características são enquadradas em três níveis qualitativos de perigo que a fonte contaminante apresenta ao aquífero, sendo eles: reduzido, moderado e elevado (FOSTER et al., 2006).

As principais fontes de contaminações consideradas na aplicação de *POSH* foram baseadas no mapa de uso e ocupação do solo elaborado para o município.

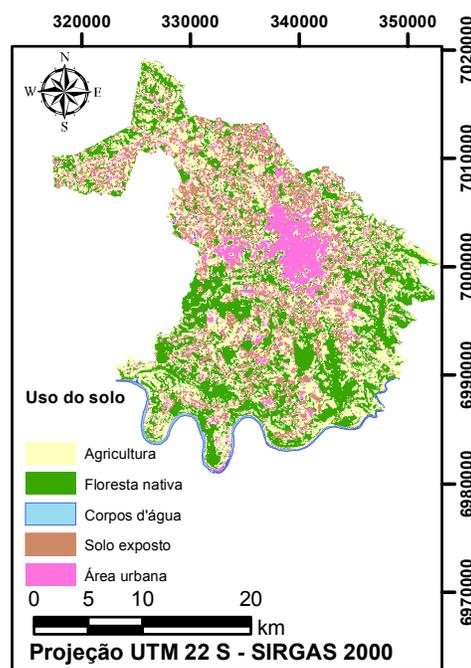
O mapa de uso e ocupação do solo (Fig.5) foi elaborado a partir de imagens do satélite Landsat 8, datadas em 07 de abril de 2016, obtidas gratuitamente no banco de dados do *United States Geological Survey* – USGS.

Inicialmente, foi necessário reprojeter as imagens do sistema WGS 1984 para SIRGAS 2000 na projeção UTM zona 22 S. Com o auxílio do *software SPRING 5.4* a partir da composição das bandas espectrais 4 (vermelho), 3 (verde), 2 (azul) obteve-se a imagem em cor

natural/verdadeira, o que possibilitou a realização do processo de classificação automática supervisionada da imagem, por meio do classificador Maxver do programa ArcGIS 10.3.

As imagens foram classificadas de acordo com os principais tipos de usos do solo no município, sendo divididas em cinco classes: área urbana, solo exposto, agricultura, floresta nativa e corpos d'água (Tab. 8).

**Figura 5** – Mapa do uso e ocupação do solo do município de Chapecó-SC.



**Tabela 8** – Classes do uso e ocupação do solo, com suas respectivas porções em percentagem e em área.

<b>Classe</b>	<b>(%)</b>	<b>km<sup>2</sup></b>
Agricultura	42,00	262,60
Floresta nativa	38,75	242,31
Área urbana	15,11	94,50
Solo exposto	3,03	18,94
Corpos d'água	1,11	6,94

Além das classes do mapa do uso e ocupação do solo, as principais fontes pontuais potencialmente poluidoras também foram localizadas e incluídas na análise, sendo elas: dois cemitérios do município e dez postos de combustíveis. Também foram considerados 302 poços perfurados no município dos 305 presentes na área de estudo, pois, os outros três não possuíam informações de coordenadas geográficas necessárias para esta análise.

Para as fontes pontuais foram adotados diâmetros de dispersão em torno de cada fonte sendo que, para os cemitérios e postos de combustíveis adotou-se um diâmetro de 200 metros e para os poços perfurados o diâmetro adotado foi igual a 100 metros.

Com isso, as fontes foram enquadradas nos três níveis qualitativos do método POSH, sendo importante ressaltar que o nível “Nenhum” foi acrescentado na análise

devido à presença de floresta nativa no município (Tab.9).

**Tabela 9** – Níveis qualitativos de POSH para as fontes difusas e pontuais.

<b>FONTES</b>	<b>POSH</b>
Área urbana	Elevado
Solo exposto	Moderado
Agricultura	Elevado
Floresta nativa	Nenhum
Corpos d'água	Elevado
Diâmetro de 200 metros de cemitérios	Reduzido
Diâmetro de 200 metros de postos de combustível	Moderado
Diâmetro de 100 metros de poços perfurados	Reduzido

A classe “Área urbana” envolve muitos riscos que podem influenciar na contaminação do aquífero. Em especial, no município de Chapecó - SC pode-se citar que na área de estudo apenas 33,76% da população do município são alcançadas pela coleta e tratamento de esgoto sanitário (SNIS, 2014). Outro ponto muito relevante é a rapidez com que esta área se desenvolve no município, gerando aumento em instalações residuais e industriais e, portanto, em um aumento na geração de efluentes.

A classe de “Solo exposto” se caracteriza por não existir nenhum tipo de cobertura de proteção ao solo,

tanto vegetal quanto de edificações ou impermeabilizações urbanas. Diante disso, o risco oferecido aos aquíferos é grande, pois, a proteção às águas subterrâneas trata-se apenas do potencial de atenuação natural da zona vadosa ou camada confinante do aquífero.

O peso atribuído à classe “Agricultura” levou em consideração que algumas práticas agrícolas, principalmente a monocultura, causam uma grave contaminação difusa por meio de alguns nutrientes aplicados no solo, além do mais, a contaminação ocasionada pela atividade agrícola, segundo Ribeiro, Lourencetti e Teixeira (2005/2006), é uma das mais difíceis de ser avaliada e o seu comportamento em subsuperfície é ainda pouco conhecido. Sem falar do fato que na região, de acordo com Freitas (2003) é comum a prática de lançamento de dejetos animais nas lavouras como fonte de nutrientes.

A classe “Floresta nativa” se caracteriza por ser uma área conservada, sem influências das ações antrópicas e, por isso, não apresentam riscos às águas subterrâneas, mas sim cooperam em sua proteção e conservação.

A classe dos “Corpos d’água” apresenta riscos elevados aos

aquíferos, pois, diante da hipótese de contaminação das águas superficiais por contaminantes persistentes, por exemplo, e sabendo que em alguns locais as águas superficiais recarregam os aquíferos, o perigo à contaminação é bastante significativo.

A fonte pontual “Cemitério” foi incluída na classificação pela possibilidade de ocorrerem infiltrações do necrochorume no solo e o contato dele com o aquífero. De acordo com Foster et al. (2006) essa fonte potencial de contaminação microbiológica ocorre em área pequena e com pouca intensidade. Entretanto, se o líquido resultante da putrefação alcançar as águas subterrâneas ele oferece riscos à saúde da população, e por isso foi considerado neste trabalho.

O perigo principal relacionado aos “Postos de combustível” se deve ao fato, segundo Foster et al. (2006), de que os combustíveis, que são os potenciais contaminantes serem armazenados no próprio subsolo e conterem hidrocarbonetos com grande potencial a contaminação. Outra questão levantada pelos autores é a relação entre a ocorrência de vazamentos com a idade dos tanques instalados, pois, segundo eles há uma grande probabilidade de tanques com

mais de 20 anos apresentarem vazamentos significativos devido ao processo de corrosão.

Consideraram-se os “Poços” como fonte pontual devido aos problemas encontrados relativos aos poços mal construídos na região e fora das normas, sem nenhum tipo de responsabilidade técnica, e também pela verificação pelo PROESC de poços secos abandonados na região do oeste de Santa Catarina, o que segundo Freitas (2003) constituem como fontes potenciais de contaminação dos aquíferos.

### Mapeamento do risco

O mapa do risco à contaminação foi obtido a partir do cruzamento entre o mapa de vulnerabilidade natural resultante do método GOD e o mapa de perigo, desenvolvido de acordo com o método POSH.

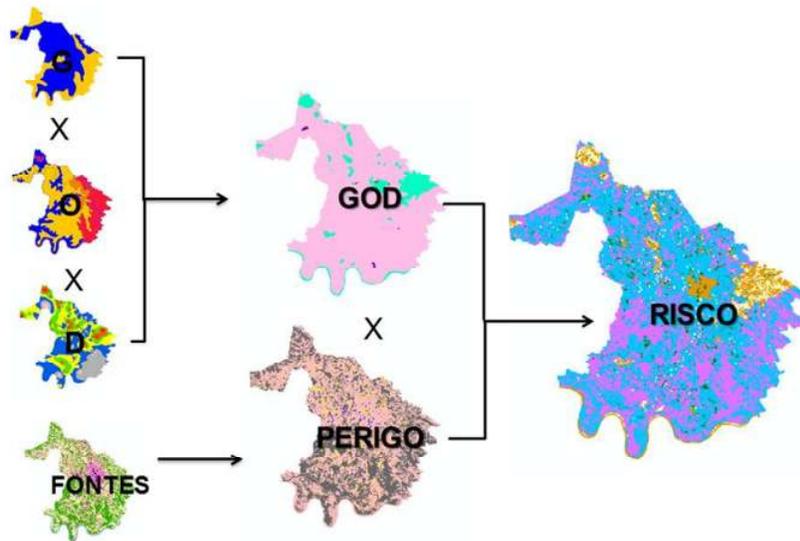
A partir dos pesos qualitativos empregados para cada uma das fontes potencialmente poluidoras por POSH, foi estabelecida uma relação em ambiente SIG dos riscos relacionados entre as classes de vulnerabilidade natural do método GOD com os pesos atribuídos segundo recomendado pelo método POSH, obtendo-se o mapa de risco a contaminação do SASG do município de Chapecó – SC (Tab.10).

**Tabela 10** – Riscos resultantes da interação da vulnerabilidade natural com os perigos das fontes potencialmente poluidoras.

		GOD				
		Insignificante	Baixa	Média	Alta	Extrema
POSH	Nenhum	Nenhum	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto
	Reduzido	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
	Moderado	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto	Elevado
	Elevado	Médio	Alto	Muito Alto	Elevado	Muito Elevado

A Figura 6 resume a metodologia empregada neste trabalho para a obtenção dos mapas de vulnerabilidade e risco à contaminação do sistema aquífero.

**Figura 6** – Metodologia de álgebra de mapas aplicada no trabalho.



## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Parâmetro G

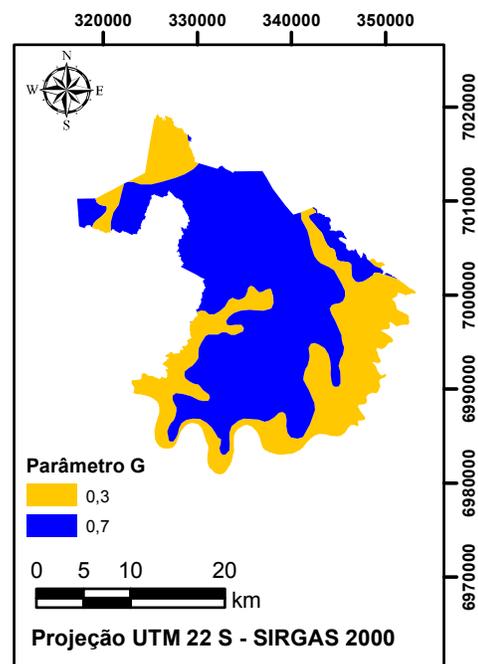
O mapa do parâmetro G (Fig.7) indica que em relação ao grau de confinamento cerca de 63% da área do município possui valor de G igual 0,7.

Isso acontece devido ao fato de que a zona aquífera Serra Geral é composta por aquíferos livres não cobertos e semiconfinados, e por isso, está mais suscetível à contaminação.

Os aquíferos livres não cobertos no método GOD recebem o valor maior do parâmetro G, pois, todo contaminante que cai na superfície do solo que está acima do aquífero poderá ou escoar superficialmente, ou evaporar ou então infiltrar no solo, e sendo assim, há uma grande possibilidade de chegar até as águas

subterrâneas. Portanto, o primeiro contato que um contaminante tem com o aquífero ocorre por meio do aquífero livre.

**Figura 7** – Grau de confinamento (G) da água subterrânea do SASG.



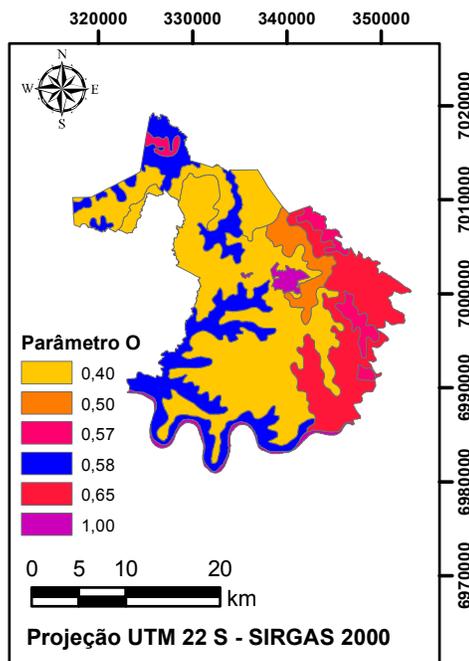
Os restantes 37% representam a zona aquífera das Formações Geológicas Permianas e Cretácicas, compostas por aquíferos locais e limitados.

Os aquíferos se caracterizam por impedirem ou dificultarem o movimento das águas subterrâneas, e por isso, apresentam um valor menor na vulnerabilidade natural.

### Parâmetro O

A Figura 8 apresenta a influência da textura e da profundidade de estratos de cobertura sobre a vulnerabilidade natural do aquífero.

**Figura 8** – Mapa da ocorrência de estratos de cobertura do SASG.



Pode-se perceber no mapa que os valores de O mostram exatamente a influência da textura e profundidade, na qual os tipos de solo Latossolo Roxo, Latossolo Bruno Vermelho e Terra Roxa Estruturada possuem a textura mais fina e profundidades maiores (Tab. 4), o que promove o menor valor de vulnerabilidade, O igual a 0,4.

Já a presença dos tipos de solo Cambissolo e Solos Litólicos aumentam a vulnerabilidade do aquífero, por estarem em uma profundidade menor e possuírem uma textura mais grosseira com maior condutividade hidráulica e menor potencial de retenção.

É possível observar também no mapa a interferência antrópica em relação à proteção dos aquíferos, pois, nestas áreas é onde se encontra a maior vulnerabilidade associada ao parâmetro O.

### Parâmetro D

O mapa da distância até o lençol freático (Fig.9) indica a contribuição do Nível Estático para o comportamento da vulnerabilidade do aquífero.

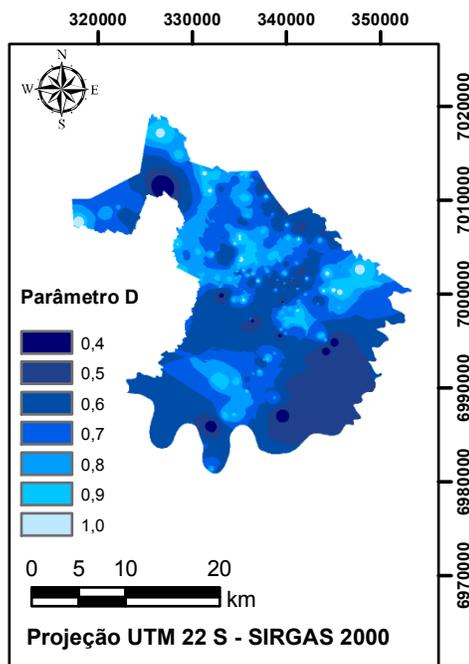
A interpolação pelo método IDW manteve o intervalo de variação dos

níveis estáticos dos poços na área do município próximo ao medido.

O mapa do parâmetro D mostra que quanto mais próximo da superfície o nível estático está mais suscetível a contaminação o aquífero se encontra.

Apesar de as informações serem de nível estático é possível perceber influência de rebaixamento onde há maior concentração de poços.

**Figura 9** – Mapa da distância até o lençol freático do SASG.



### Mapeamento da vulnerabilidade

O Sistema Aquífero Serra Geral no município de Chapecó-SC apresenta vulnerabilidade gerada pelo método GOD entre insignificante e alta, com o predomínio de baixa vulnerabilidade (Fig. 10).

Pode-se perceber no mapa que no perímetro urbano, com contorno destacado no mapa pela linha preta, é onde ocorrem as áreas de vulnerabilidade alta, entretanto sua influência na vulnerabilidade total do SASG é pouco significativa.

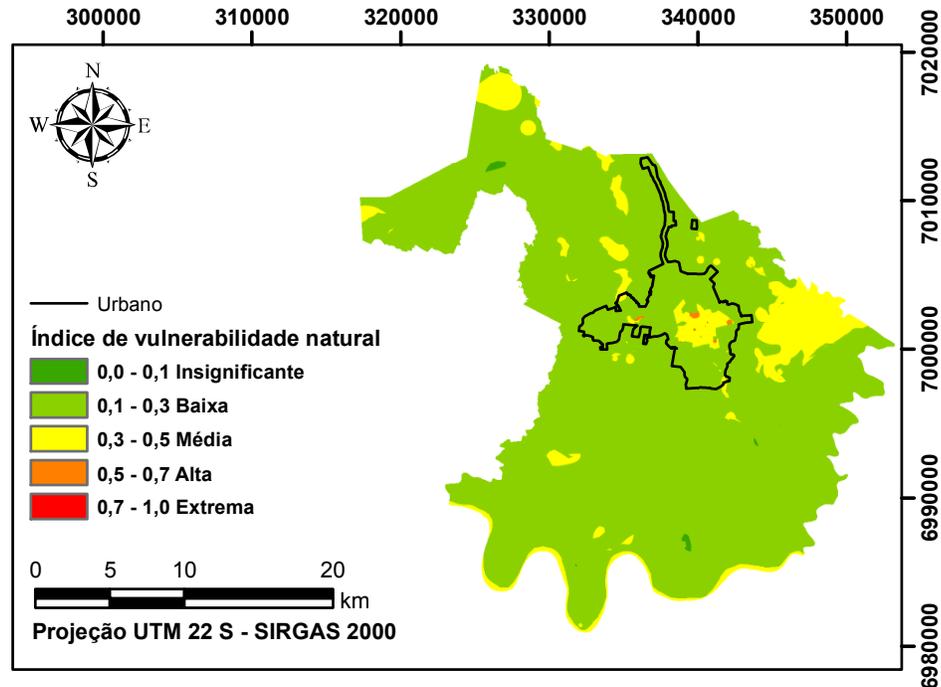
Com isso, observa-se que a capacidade natural do grau de confinamento, ocorrência de estratos de cobertura e distância até o lençol freático possuem um grande potencial na proteção do SASG. Sendo assim, devem ser conservados para que esta condição se estenda ao longo dos anos. Entretanto, para isso é necessário que o ordenamento territorial ocorra de maneira planejada.

Destaca-se que o mapa de vulnerabilidade final da área é utilizado para avaliar a susceptibilidade de contaminação do aquífero em relação ao contato de contaminantes na parte superficial do solo em fase líquida dissolvida (FOSTER et al., 2006).

Diante disso, Foster et al. (2006) recomendam que este mapeamento não deve ser utilizado para avaliar a susceptibilidade à contaminação aos contaminantes despejados abaixo do subsolo e ao derramamento de solventes orgânicos sintéticos imiscíveis (DNAPLs), pois, esses dois tipos de contaminação,

segundo os autores, necessitam de um controle específico.

**Figura 10** – Mapa do índice de vulnerabilidade do SASG.



### Mapeamento do perigo

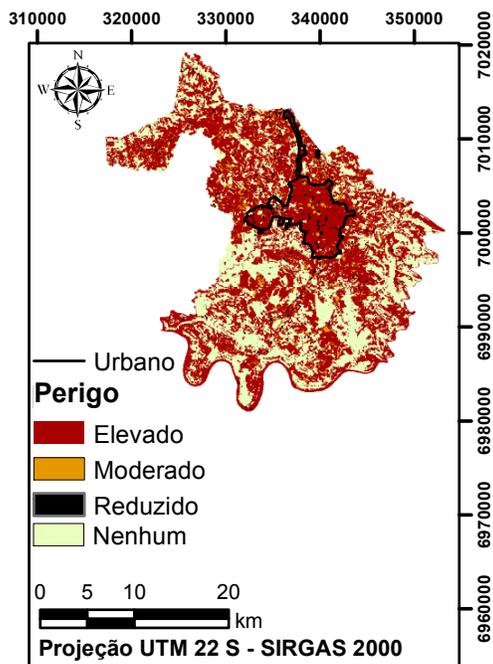
A partir do conhecimento dos principais usos do solo e das fontes potencialmente poluidoras no município e sua associação com os pesos qualitativos de POSH, obteve-se o mapa do perigo à contaminação (Fig.11).

O mapa do perigo à contaminação mostrou que o grau de perigo é elevado. Esse resultado está associado com a área urbana, corpos d'água e com a atividade de agricultura, sendo que a agricultura possui a maior influência neste peso,

pois, representa o maior uso e ocupação do solo do município.

Os perigos de peso moderado relacionam-se com a porcentagem de solo exposto e pela presença dos postos de combustíveis no município. Já os perigos com peso reduzido estão ligados à presença dos poços perfurados e os dois cemitérios localizados na área de estudo. As florestas nativas não apresentam nenhum perigo ao aquífero, pelo contrário potencializam sua proteção natural.

**Figura 11** – Mapa do perigo à contaminação do SASG.



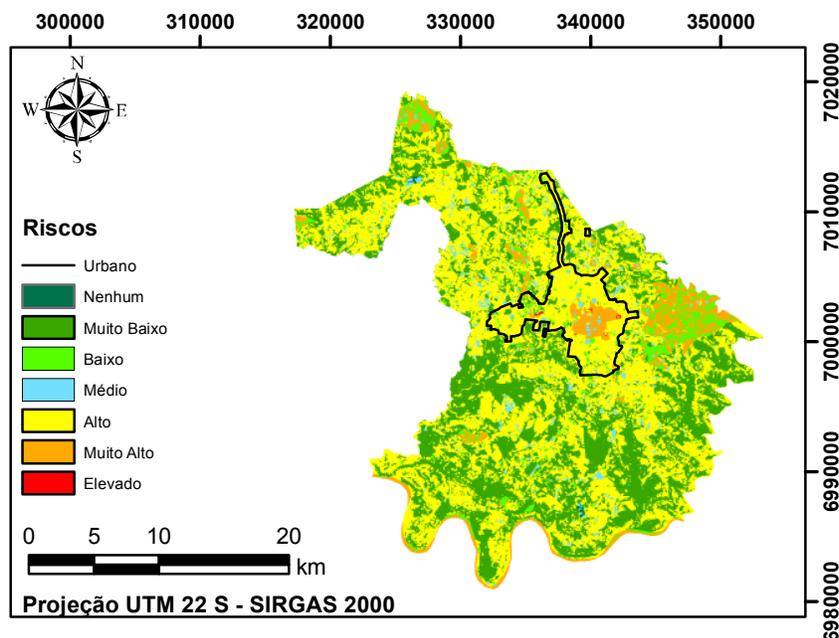
## Mapeamento do risco

O mapa do risco à contaminação é resultado do cruzamento entre o mapa do perigo e o mapa da vulnerabilidade do SASG (Fig.12).

Pode-se observar que a maior influência no resultado de alto risco está associada ao uso e ocupação do solo, caracterizado principalmente pela atividade agrícola e pela urbanização da área de estudo.

Diante disso, destaca-se a importância que o ordenamento territorial do município ocorra a partir de um planejamento adequado, pois, apesar de no município a vulnerabilidade à contaminação ser baixa, os riscos são altos.

**Figura 12** – Mapa do risco à contaminação do SASG.



A Tabela 11 apresenta o resumo dos resultados da vulnerabilidade, do perigo e do risco à

contaminação do SASG, encontrados no município de Chapecó-SC.

**Tabela 11** – Resultados da vulnerabilidade, do perigo e do risco à contaminação do SASG no município e no perímetro urbano de Chapecó.

<b>VULNERABILIDADE</b>	<b>MUNICÍPIO (%)</b>	<b>PERÍMETRO URBANO (%)</b>
Insignificante	0,18	0,00
Baixa	90,11	83,88
Média	9,62	14,97
Alta	0,09	1,14
Extrema	0,00	0,00
<b>PERIGO</b>		
Nenhum	38,23	5,81
Reduzido	1,41	6,69
Moderado	3,34	3,69
Elevado	57,02	83,80
<b>RISCO</b>		
Nenhum	0,08	0,00
Muito Baixo	34,99	5,53
Baixo	4,43	5,28
Médio	3,42	4,30
Alto	51,15	71,26
Muito Alto	5,88	13,07
Elevado	0,04	0,56

A vulnerabilidade do aquífero tanto no município, quanto no perímetro urbano se desenvolve de forma homogênea ao longo da área de Chapecó-SC, onde 90,11% da área total do município e 83,88% do perímetro urbano são baixas. Sendo assim, pode-se afirmar que as características naturais do aquífero relacionadas com o grau de confinamento da água subterrânea, com a ocorrência dos estratos de cobertura e com a distância da superfície até a água subterrânea, colaboram na atenuação natural de

possíveis contaminações do SASG de Chapecó-SC. Pode-se perceber que as porções de média vulnerabilidade são pouco significativas ao SASG, sendo que apenas 9,62% da área total do município e 14,97% da área total do perímetro urbano possuem essa classificação de vulnerabilidade.

Relacionando o resultado obtido de baixa vulnerabilidade com o método GOD, percebe-se que o SASG de Chapecó é “vulnerável somente a contaminantes conservadores, a longo prazo, quando contínua e amplamente

lançados ou lixiviados” (FOSTER et al., 2006).

O perigo à contaminação no município é bem distribuído ao longo de toda a área do município, e relaciona a presença de fontes distribuídas e pontuais potencialmente poluidoras na área de estudo. O perigo encontra-se elevado para a área do município, com uma porção de 57,02% de sua área total, e no perímetro urbano, com 83,80% da área total. Entretanto, pode-se notar que o perigo é mais significativo no perímetro urbano tendo em vista que as atividades perigosas com potencial à contaminação encontram-se nestas áreas, como por exemplo, os postos de combustíveis.

O maior risco no município, encontrado em 51,15% de sua área total e em 71,26% da área total do perímetro urbano é o de nível alto, apesar de o perigo a contaminação ser elevado, este resultado está relacionado ao fato de que a vulnerabilidade natural do SASG é baixa, já que o risco é função desses dois fatores.

Diante disso, destaca-se a necessidade de que a ocupação do município deve ser planejada, para que os riscos à contaminação não se elevem. Para isto, recomenda-se que

as novas instalações de fontes potencialmente poluidoras, ou seja, de novas fontes que apresentem algum tipo de perigo à contaminação do aquífero, como é o caso de novas indústrias, atentem-se para o mapa de vulnerabilidade do SASG de Chapecó-SC, sendo que estas devem ser localizada nas áreas de baixa vulnerabilidade, evitando áreas de média e alta vulnerabilidade.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O SASG é o sistema aquífero mais importante na região oeste de Santa Catarina, e em especial no município de Chapecó-SC, no qual apresenta uma grande exploração

O Sistema Aquífero Serra Geral no município de Chapecó-SC possui, predominantemente, baixa vulnerabilidade à contaminação, perigo à contaminação elevado, e o risco à contaminação alto, sujeitando 51,15% da área do município e 71,26% da área do perímetro urbano nesta condição de risco.

O baixo grau de vulnerabilidade torna-se vantajoso ao aproveitamento deste recurso no município. Entretanto, os gestores municipais devem observar essa vantagem e promover medidas de conservação e proteção desses recursos, pois,

conclui-se que no município, a atividade agrícola, juntamente com a urbanização apresentam perigo “alto” à qualidade das águas subterrâneas do SASG no município e, portanto, as fontes potencialmente perigosas ao aquífero devem ser consideradas no futuro planejamento territorial do município, evitando-se assim que o risco à contaminação do aquífero avance para a próxima classificação, a de “Muito Alto”.

Recomenda-se que futuros trabalhos verifiquem a vulnerabilidade por meio do método DRASTIC, para que comparações entre os métodos possam ser realizadas.

Também, recomenda-se que a partir deste trabalho, novos estudos sobre fontes pontuais de contaminação possam ser investigados na área de estudo.

## REFERÊNCIAS

EMBRAPA. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 46. **Solos do Estado de Santa Catarina** – Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2004.

EPAGRI/CIRAM. **Atlas Climatológico do Estado de Santa Catarina**. Disponível em: [http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=708&Itemid=483](http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=708&Itemid=483). Acesso em: 9 nov. 2016.

FOSTER, S. et al. **Proteção da qualidade da água subterrânea**: um

guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. São Paulo: Servmar, 2006. p.104.

FREITAS, M. A. **Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do oeste do Estado de Santa Catarina** – Projeto Oeste de Santa Catarina. Porto Alegre: CPRM/SDM-SC/SDA-SC/EPAGRI, 2003. p.100.

FREITAS, M. A. et al. Água subterrânea: um recurso vital para o Oeste Catarinense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., 2002, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis: ABAS, 2002. p. 1-8.

GOERL, R. F; KOBIYAMA, M; PELLERIN, J.R.G.M. Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: estudo de caso do município de Rio Negrinho – SC. **Boletim de Geografia**, Maringá, v.30, n.1, p.81-100, 2012.

GONÇALVES, L.R. **Vulnerabilidade natural e avaliação de risco de contaminação dos sistemas de aquíferos nas áreas degradadas pela extração de carvão na bacia hidrográfica do Rio Mão Luzia**. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

HIRATA, R.; FERNANDES, A.J. Vulnerabilidade à poluição de aquíferos. In: FEITOSA, F.A.C. et al. (Org.) **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. p. 405-424.

LINHARES, F. M. et al. Avaliação da vulnerabilidade e do risco à contaminação das águas subterrâneas da bacia hidrográfica do Rio Gramame (PB). **Sociedade & Natureza**,

Uberlândia, v. 26, n.1, p.139-157, jan./abr. 2014.

LOPES, A.R.B.C. **Recursos hídricos e uso da terra na bacia do Rio do Peixe/SC, mapeamento das áreas de vulnerabilidade e risco de contaminação do Sistema Aquífero Serra Geral.** 317 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MACHADO, J.L.F. **Mapa hidrogeológico do estado de Santa Catarina.** Escala 1:500.000. – Porto Alegre: CPRM, 2013.

MENTE, A. A água subterrânea no Brasil. In: FEITOSA, F.A.C. et al. (Org.) **Hidrogeologia: conceitos e aplicações.** 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008, p. 31-48.

PEREIRA JÚNIOR, L.C.P; SOARES, H.L.T; CASTRO, S.S. Vulnerabilidade natural e risco de contaminação do aquífero Bauru no município de Rio Verde – GO. **Águas subterrâneas,** v.29, n.2, p.129-145, 2015.

REGINATO, P.A.R. **Integração de dados geológicos para prospecção de aquíferos fraturados em trecho da bacia hidrográfica Taquari-Antas (RS).** 276 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

REGINATO, P. A. R; AHLERT, S. Vulnerabilidade do sistema aquífero Serra Geral na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. **Águas Subterrâneas,** v. 27, n.2, p.32-46, mar. 2013.

RIBEIRO, M.L; LOURENCETTI, C. TEIXEIRA, D. Cenários de contaminação da água subterrânea por atividades agrícolas. **Revista Uniara,** n.17/18, p.181-194, 2005/2006.

**Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS.** 2014. Disponível em:<  
<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em:  
01 nov. 2016.