

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**JANDIR PEREIRA BLASIU**

**DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DAS  
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR NECRÓPOLE EM FREDERICO WESTPHALEN -  
RS**

**Caçapava do Sul  
2016**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo autor através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

B644a Blasius, Jandir Pereira Blasius  
DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE VULNERABILIDADE À  
CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR NECRÓPOLE  
EM FREDERICO WESTPHALEN - RS / Jandir Pereira  
Blasius Blasius.  
56 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA  
AMBIENTAL E SANITÁRIA, 2016.  
"Orientação: Maximilian Fries".

1. Geoprocessamento. 2. Investigação Ambiental.  
3. Vulnerabilidade à Contaminação. 4. Necrópole.  
5. Engenharia Ambiental. I. Título.

**JANDIR PEREIRA BLASIUS**

**DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DAS  
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR NECRÓPOLE EM FREDERICO WESTPHALEN -  
RS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Ambiental e Sanitária da Universidade  
Federal do Pampa, como requisito parcial  
para obtenção do Título de Engenheiro  
Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Dr. Maximilian Fries

**Caçapava do Sul  
2016**



**JANDIR PEREIRA BLASIUS**

**DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DAS  
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS POR NECRÓPOLE EM FREDERICO WESTPHALEN -  
RS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Ambiental e Sanitária da Universidade  
Federal do Pampa, como requisito parcial  
para obtenção do Título de Engenheiro  
Ambiental e Sanitarista.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 13 de dezembro de  
2016.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Maximilian Fries  
Orientador  
UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich  
UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Vicente Guilherme Lopes  
UNIPAMPA



Dedico este trabalho aos meus familiares e amigos que sempre torceram e acreditaram em mim. Especialmente ao meu grande amigo Fernando Alberton Coan (*In memoriam*).

## AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais: José Evaldo Tezza Blasius e Salete Pereira Blasius, às minhas três irmãs (Luzia, Jadna e Lidiane), ao meu cunhado Cleiton e ao meu sobrinho Otávio (recém nascido – ontem – o qual estou ansioso para conhecer), que são minha primeira família e fonte de inspiração para seguir meus objetivos.

À segunda família que formei em Caçapava do Sul: Bruna, Daniel, Fernanda, Gabriela, Gerlânia, Gleicy, Michele, Rodolfo, Taís e Yuri, os quais sempre me serviram de apoio para todas as horas e dos quais sentirei muita saudade.

Aos professores, principalmente, com os quais tive a oportunidade de conviver mais tempo, em função dos projetos de ensino, pesquisa e extensão: Zilda Barato Vendrame, Daniel da Silva Silveira (um grande amigo, que tenho muita admiração) e José Rafael Bordin (que especialmente, foi um ótimo orientador do projeto de Simulação Computacional e que só acrescentou na minha formação).

Aos técnicos da graduação, principalmente: Francisca Oliveira, Guilherme Pacheco Casanova e Lenon Mello Ilha, os quais que me auxiliaram durante etapas da graduação.

Ao seu Patrício, seu Zé, Nide, Maninha e o pessoal da limpeza que sempre me divertiram durante a graduação e meu muito obrigado pelas partidas de sinuca.

Em especial, ao José Linhares de Borba (Zezinho) que foi um Pai aqui em Caçapava e que sempre se preocupou com a Gleicy e comigo.

Ao orientador deste trabalho: Maximilian Fries, pelo conhecimento transferido e auxílio em todos os aspectos.

Ao professor Pedro Daniel da Cunha Kemerich que ao longo do curso nos incentivou a escrever trabalhos científicos e que facilitou no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Vicente Guilherme Lopes que se mostrou compreensivo e me incentivou frente às adversidades do TCC.

A Paula Gabriela Hernandez Leal, que ministrou um curso de *Qgis* e que esteve sempre disposta a ajudar no esclarecimento de dúvidas.

Especialmente, ao Rodolfo Busolin que sempre esteve ao meu lado e que sempre me ajudou, lendo várias vezes todos os cinco TCC's que teoricamente eu escrevi e que sempre fez apontamentos pertinentes.

À Universidade Federal Do Pampa.

## RESUMO

Decorrente da degradação das águas superficiais e do elevado crescimento demográfico, houve um aumento expressivo no uso das águas subterrâneas para suprir a demanda de consumo. Este recurso é sujeito a diversas fontes de contaminação, como os cemitérios, que se instalados sem atender medidas de proteção ambiental, liberam resíduos da decomposição dos cadáveres diretamente no solo, podendo atingir o nível freático. Nesse sentido, este trabalho tem por objetivo avaliar a vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas por necrópole no entorno do Cemitério Municipal e da região de Frederico Westphalen, por meio da aplicação da metodologia *GOD*. A metodologia adotada consistiu no levantamento de informações, coleta e tratamento de dados sobre os poços tubulares cadastrados no SIAGAS. Os resultados foram expressos em mapas de topografia, espessura do solo, nível estático e nível dinâmico que correlacionados, fundamentaram o mapa de vulnerabilidade proposto por este trabalho. Para confecção dos mapas foi utilizado o programa *QGIS*, com interpolador *IDW*, com fator 6 para distância entre os pontos. Foi verificada a correlação de que os índices de vulnerabilidade são mais significativos em locais que apresentam menor espessura do solo, associado à áreas com relevo relativamente plano e nível estático pouco profundo, além de áreas com intensa atividade antrópica. Ainda, foi ressaltado que o índice pluviométrico influi na taxa de recarga dos aquíferos bem como facilita a infiltração dos contaminantes no solo. A integração dos resultados fundamentou a classificação da área municipal com 52,67% na classe insignificante, 40,42% com baixa significância e 6,91% com significância média. O Cemitério Municipal se encontra em uma área com vulnerabilidade baixa e média, porém seu entorno apresenta áreas com potencial à contaminação. Em comparação com outro trabalho realizado na área, com a mesma temática, houve um aumento no tamanho das áreas com classe de vulnerabilidade baixa e média no modelo proposto. A aplicação desta técnica de geoprocessamento permitiu o levantamento de áreas que necessitam de atenção dos gestores públicos e fornece subsídios que podem ser utilizados como base para o gerenciamento do uso e ocupação do solo municipal.

Palavras chave: Cemitérios. Águas subterrâneas. Geoprocessamento. Método *GOD*.



## ABSTRACT

As a result of surface water degradation and high population growth, there has been a significant increase in the use of groundwater to meet consumer demand. This resource is subject to several sources of contamination, such as cemeteries, which if installed without complying with environmental protection measures, release residues from the decomposition of the corpses directly into the soil, and can reach the water table. In this sense, this work aims to evaluate the vulnerability to contamination of groundwater by necropolis in the surroundings of the Municipal Cemetery and the region of Frederico Westphalen, through the application of the GOD methodology. The adopted methodology consisted in the collection of information, data collection and treatment of tubular wells registered in SIAGAS. The results were expressed in maps of topography, soil thickness, static level and dynamic level that correlated, based the map of vulnerability proposed by this work. For the mapping, the QGIS program was used, with IDW interpolator, with factor 6 for distance between points. The correlation was verified that the vulnerability indices are more significant in places that present lower soil thickness, associated to areas with relatively flat relief and shallow static level, as well as areas with intense anthropic activity. Also, it was pointed out that the rainfall index influences the recharge rate of the aquifers as well as facilitates the infiltration of contaminants in the soil. The integration of the results based the classification of the municipal area with 52.67% in the insignificant class, 40.42% with low significance and 6.91% with medium significance. The Municipal Cemetery is located in an area with low and medium vulnerability, but its environment presents areas with potential for contamination. Compared with other work carried out in the area, with the same theme, there was an increase in the size of areas with low and medium vulnerability class in the proposed model. The application of this technique of geoprocessing allowed the survey of areas that need the attention of the public managers and provides subsidies that can be used as a base for the management of the use and occupation of the municipal soil.

Key words: Cemeteries. Groundwater. Geoprocessing. GOD method.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema dos principais processos do ciclo hidrológico .....	4
Figura 2 - Representação esquemática do nível estático e dinâmico de um aquífero .....	6
Figura 3 - Características de perfuração dos poços tubulares em meios geológicos distintos .....	7
Figura 4 – Comportamento do necrochorume em meio saturado .....	11
Figura 5 - Mapa de localização do município de Frederico Westphalen e do Cemitério Municipal.....	16
Figura 6 - Cemitério Municipal de Frederico Westphalen com destaque para Rodovia Estadual - RS 150 .....	17
Figura 7 - Mapa das províncias geomorfológicas do estado do Rio Grande do Sul .....	18
Figura 8 - Mapa pedológico do município de Frederico Westphalen com destaque para hidrografia regional.....	20
Figura 9 - Diagrama para aplicação do método GOD .....	26
Figura 10 - Poços cadastrados no banco de dados do SIAGAS .....	29
Figura 11 - Uso das águas subterrâneas em Frederico Westphalen, segundo dados dos poços cadastrados no SIAGAS .....	30
Figura 12 – Modelo Digital de Elevação do terreno do município de Frederico Westphalen .....	31
Figura 13 - Mapa de topográfico plotado com interpolador Inverso do Quadrado da Distância.....	32
Figura 14 - Mapeamento do nível estático do aquífero presente na região estudada .....	33
Figura 15 – Mapeamento de nível dinâmico do Sistema Aquífero Serra Geral em Frederico Westphalen .....	35
Figura 16 – Mapeamento da profundidade do solo .....	37
Figura 17 - Gráfico de frequência dos poços considerados para aplicação do método GOD e sua classificação de vulnerabilidade .....	39
Figura 18 - Interpolação dos dados referentes à vulnerabilidade atribuída aos poços investigados.....	40
Figura 19 – Renderização de cores do <i>Raster</i> com Banda Simples Falsa-Cor ....	40

Figura 20 - Modelo inicial de vulnerabilidade à contaminação no município de Frederico Westphalen .....	41
Figura 21 - Modelo final de vulnerabilidade à contaminação do município de Frederico Westphalen, proposto por este trabalho .....	42
Figura 22 - Índice de Susceptibilidade de Frederico Westphalen, segundo Borba <i>et al.</i> (2016).....	43
Figura 23 - Mapa de vulnerabilidade de Frederico Westphalen, segundo Borba <i>et al.</i> (2015) .....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Definição dos valores atribuídos ao grau de confinamento referente ao tipo de ocorrência de estratos, pelo método GOD.....	27
Tabela 2 – Classificação de vulnerabilidade de um aquífero de acordo com sua significância, pelo método GOD .....	27
Tabela 3 - Comparação do tamanho da área e o grau de significância à vulnerabilidade encontrado pelo modelo proposto e pela pesquisa de Borba <i>et al.</i> (2015).....	45



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

GOD: **G** – *groundwater hydraulic confinement* (grau de confinamento hidráulico) ; **O** – *overlying strata* (ocorrência de estratos), **D** – *depth to groundwater table* (profundidade da água subterrânea)

MDE - Modelo Digital de Elevação

QGIS - *Quantum GIS 2.14 Essen*

SGB - Serviço Geológico Brasileiro

SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente

SNGRH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

UNIPAMPA – Universidade Federal do Pampa



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	1
2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA.....	2
2.1 Objetivo Geral .....	2
2.2 Objetivos Específicos .....	2
2.3 Justificativa.....	3
3 REVISÃO DA LITERATURA .....	4
3.2 Aquíferos .....	5
3.2.1 <i>Propriedades hidráulicas dos aquíferos</i> .....	5
3.2.2 <i>Nível estático e nível dinâmico</i> .....	6
3.2.3 <i>Captação de água subterrânea: perfuração de poços</i> .....	7
3.3 Fatores que influenciam na vulnerabilidade de aquíferos .....	8
3.4 Cemitérios: fontes de contaminação .....	10
3.4.1 <i>Necrochorume</i> .....	12
3.4.2 <i>Microrganismos</i> .....	13
3.4.3 <i>Aspectos legais e licenciamento ambiental</i> .....	14
4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	15
4.1 Localização da área de estudo.....	15
4.2 Clima Regional .....	17
4.3 Geologia Regional.....	17
4.4 Geologia Local .....	19
4.5 Pedologia .....	20
4.7 Hidrogeologia .....	22
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
5.1 Elaboração do modelo de análise de relevo, do nível estático e do nível dinâmico .....	24
5.1.1 <i>Coleta de dados na plataforma SIAGAS</i> .....	24
5.1.2 <i>Método de interpolação</i> .....	24
5.2 Metodologia de avaliação de vulnerabilidade de aquífero: <i>GOD</i> .....	25
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	28
6.1 Resultados referentes às informações coletadas no SIAGAS.....	28
6.1.1 <i>Informações gerais sobre os poços cadastrados no SIAGAS</i> .....	28
6.1.2 <i>Análise do relevo - Modelo Digital de Elevação do terreno</i> .....	30

6.1.3 Mapeamento e análise do nível estático.....	33
6.1.4 Mapeamento e análise do nível dinâmico.....	35
6.1.5 Mapeamento e análise da profundidade do solo .....	36
6.2 Classificação de vulnerabilidade à contaminação: Método <i>GOD</i> .....	38
6.3 Comparação entre o mapa de vulnerabilidade proposto por este trabalho e a pesquisa de Borba <i>et al.</i> (2015).....	43
7 CONCLUSÕES.....	48
REFERÊNCIAS .....	49

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo ANA (2008) do total da água presente na Terra, 97,6% corresponde às águas salgadas e somente 2,4% representam a porção de água doce. A maior disponibilidade de água doce é concentrada nos aquíferos, os quais armazenam 95% da parcela total de água doce existente no planeta. O Brasil pode ser considerado um país privilegiado por deter cerca de 12% do total de água doce do planeta, que são armazenadas em corpos hídricos superficiais e subterrâneos (ANA *et al.*, 2009).

Devido ao elevado crescimento demográfico, houve um aumento da demanda por água, que resultou num acréscimo do uso de fontes subterrâneas. Nesse sentido, IBGE (2008) constatou que cerca de 63,7% dos municípios brasileiros fazem captação de água subterrânea por poços profundos e Bacaro (2015) estima que 51% da população brasileira utiliza este recurso para atendimento de suas demandas domésticas. Ainda, Kemerich *et al.* (2010) destaca que futuramente, devido a degradação da qualidade da água superficial por atividades antrópicas, as águas subterrâneas serão a principal fonte de abastecimento humano. Por isso, é questão de saúde pública realizar o estudo, a identificação e remediação de áreas sob influência de qualquer fonte de contaminação, bem como a suspensão do uso das fontes comprometidas.

Diversas atividades configuram como fatores preponderantes para degradação da qualidade das águas, sendo associadas com a falta de planejamento do uso e ocupação do solo e com a deficiência de saneamento adequado. Diante dessa situação, a degradação dos corpos hídricos é um dos temas mais abordados em estudos realizados pelas instituições públicas e federais na atualidade (KEMERICH *et al.*, 2010). Especificamente, os cemitérios, desde a década de 1950, são vistos como um caso particular de aterro e devido aos riscos que podem causar ao meio ambiente e a saúde pública, passaram a ser foco de estudos ambientais.

O risco pertinente aos cemitérios é atribuído à composição do necrochorume, que em contato com águas subterrâneas e superficiais, se dissolve e libera substâncias químicas tóxicas aos seres vivos (FIEDLER *et al.*, 2012). Além, dos patógenos presentes no necrochorume, que apresentam alta mobilidade em meios líquidos e no solo, atingindo facilmente locais que apresentam nível freático pouco profundo, contaminando as águas subterrâneas.

Mesmo com a gravidade de risco ambiental e de saúde humana, advindo da utilização de água contaminada por organismos patogênicos e consequente supressão de doenças, os cemitérios não recebem devida atenção, a começar pelos locais em que foram implantados, geralmente, geologicamente impróprios (XAVIER, 2015). Zychowski (2012) ainda destaca a ausência de normas legais apropriadas para tratamento dos passivos ambientais causados por atividades fúnebres.

Apesar do receio da população em abordar assuntos envolvendo a morte, o desenvolvimento de pesquisas de cunho científico em cemitérios permite a explanação do potencial de poluição e aponta a necessidade de planejamento desses empreendimentos.

Desse modo, esta pesquisa é baseada na aplicação de ferramentas computacionais para levantamento da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do município de Frederico Westphalen e fornece uma base de dados passível de ser utilizada pelos gestores públicos para proteção e gerenciamento dos recursos hídricos regionais. Ainda, é capaz de direcionar o desenvolvimento de outros estudos, como a aplicação de técnicas geofísicas, por exemplo, em áreas que apresentam algum grau de significância à vulnerabilidade.

## **2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA**

### **2.1 Objetivo Geral**

Realizar um diagnóstico preliminar de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do entorno do Cemitério Municipal e da região de Frederico Westphalen – RS, empregando o método *GOD* proposto por Foster *et al.* (2006).

### **2.2 Objetivos Específicos**

Designadamente, a fim de obter os resultados esperados, pretende-se:

- a) Realizar uma caracterização física do município de Frederico Westphalen;

- b) Analisar a adequabilidade do método *GOD* como ferramenta de investigação ambiental voltada para avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas;
- c) Detectar áreas vulneráveis à contaminação, auxiliando na locação de investigações e métodos em estudos posteriores;
- d) Comparar os resultados deste trabalho com os resultados de outro trabalho realizado com essa temática na região.

### 2.3 Justificativa

No Brasil, o licenciamento ambiental para implantação de novos cemitérios só passou a atuar a partir de abril de 2003, quando o CONAMA, passou a reconhecer os cemitérios como atividade poluidora, através da Resolução nº 335 (BRASIL, 2003). Antes dessa norma estabelecer o marco regulatório ambiental, a maioria dos cemitérios foi implantada sem qualquer preocupação, oferecendo riscos de formação de passivos ambientais.

De acordo com a CETESB (1999) para subsidiar ações de controle ambiental em função dos impactos negativos que fontes poluidoras podem causar, é necessário realizar a avaliação de vulnerabilidade e o mapeamento de possíveis áreas contaminadas, para conhecimento sobre a distribuição espacial dos contaminantes e para implantação de poços de monitoramento. Nesse viés, o método *GOD* foi utilizado tendo em vista a não necessidade de elevada gama de dados para se obter um diagnóstico de uma área, pela sua agilidade de avaliação de grandes áreas em período reduzido de tempo e pela sua eficiência comprovada em diversos trabalhos (BRITO, 2013; EIRAS, 2015; BACARO, 2015).

Especificamente, próximo à área de estudo e região de Frederico Westphalen, o trabalho de Borba *et al.* (2014) aponta a existência de 71 fontes alternativas de abastecimento, sendo 6 fontes/nascentes, 5 poços tubulares e 60 poços escavados. Ainda, Mancuso *et al.* (2013) realizaram análises químicas das águas subterrâneas do município em questão, de Ametista do Sul e de Cristal do Sul, e encontraram concentrações de flúor acima dos padrões de potabilidade para consumo humano, estabelecidos pela Portaria nº 2.914/2011 (BRASIL, 2011). Portanto, este trabalho justifica-se pela necessidade do levantamento e avaliação de vulnerabilidade natural à contaminação em função da relevância do uso desse

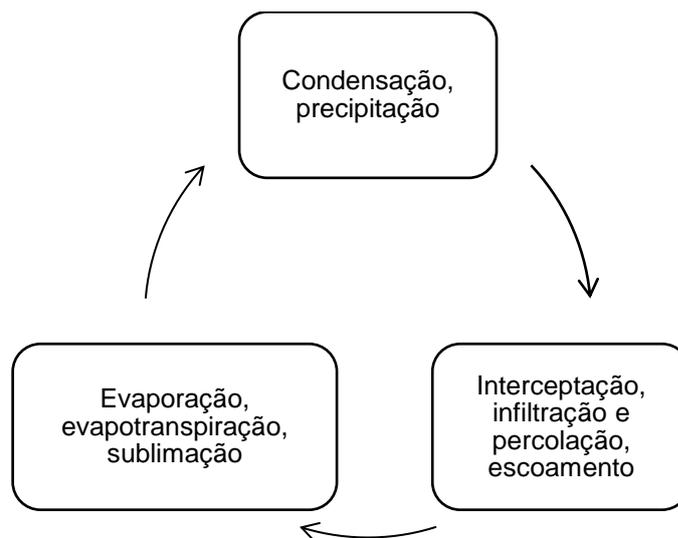
recurso na região, pela importância da preservação dos recursos hídricos, além de ser uma questão de saúde pública.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 Ciclo hidrológico

De acordo com Silveira (2001), o ciclo hidrológico é um fenômeno global de circulação de água entre os seus reservatórios (atmosfera e superfície terrestre), que é movimentado fundamentalmente pela energia proveniente do Sol. Esse ciclo ocorre em sistema fechado e seus principais processos são ilustrados na Figura 1, a seguir.

Figura 1 - Esquema dos principais processos do ciclo hidrológico



Resumidamente, segundo o mesmo autor, o ciclo hidrológico se inicia com a evaporação da água presente na superfície dos oceanos e continentes, pela evapotranspiração das plantas e pela sublimação (passagem direta da água do estado sólido para o estado gasoso) nas geleiras e calotas polares. O vapor de água ascende para níveis mais elevados da atmosfera e em contato com as massas de ar fria, se condensam, formando as nuvens, que precipitam água na forma de chuva, neve e granizo. Parte da água precipitada é evaporada novamente e não atinge a superfície terrestre. Uma parte é interceptada pela vegetação. Outra parte atinge o solo, se infiltra e percola, recarregando os aquíferos. Sendo que a maior parte da

água precipitada fica retida temporariamente no solo, que quando saturado tem capacidade de infiltração e percolação reduzida, favorecendo o escoamento superficial, direcionando o fluxo de água para os corpos hídricos receptores (rios, lagos, mares e oceanos) e dessa forma o ciclo retoma.

O estudo do balanço hídrico de uma determinada bacia hidrográfica fornece informações sobre a quantidade de água disponível na superfície e a taxa de recarga subterrânea de uma área. Dessa forma, é gerada uma base de dados que expressam o comportamento da bacia destacando a possibilidade de prever estiagens e/ou enchentes, bem como para avaliar seu potencial de uso (SILVEIRA, 2001).

## 3.2 Aquíferos

Os aquíferos são corpos rochosos que possuem capacidade de armazenar e transmitir grandes volumes de água. Estes corpos hídricos subterrâneos são classificados de acordo com suas características geológicas em (TOLEDO, 2009):

- **Aquífero livre:** também chamado de freático, é formado por rochas permeáveis. O nível freático se situa próximo à superfície do terreno, sendo comum em alguns pontos aflorar e alimentar os corpos hídricos superficiais. A água transmitida por esse tipo de aquífero é submetida à pressão atmosférica;
- **Aquífero confinado:** o fluxo de água ocorre entre dois estratos pouco permeáveis ou impermeáveis, sendo submetida a uma pressão maior que a pressão atmosférica;
- **Aquífero suspenso:** é um tipo peculiar de aquífero que acumula água sobre o material impermeável, acima do lençol freático.

### 3.2.1 Propriedades hidráulicas dos aquíferos

A porosidade é uma propriedade física que é dada pela relação entre o volume dos poros de um material e seu volume total. Essa propriedade é dependente do tamanho, forma, grau de compactação e distribuição dos grãos (TUCCI, 2000). Por exemplo, solos porosos e rochas fraturadas, quando

permeáveis, favorecem a infiltração e percolação de água, ao contrário, solos muito compactados e espessos, que apresentam baixa porosidade, dificultam esses processos.

A permeabilidade é uma característica que expressa a capacidade de fluxo de um fluido através dos poros de um material, sendo dependente do tamanho dos poros e de suas conexões (TOLEDO, 2009). Materiais, como a argila, que apresentam alta porosidade podem apresentar pequeno espaço livre entre seus grãos, resultando em baixa permeabilidade. Enquanto, o basalto, uma rocha geralmente fraturada, possui baixa porosidade e alta permeabilidade.

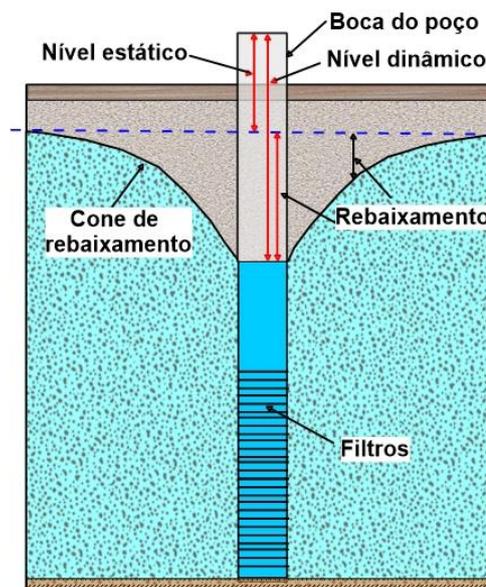
A condutividade hidráulica, medida em velocidade, é uma propriedade relacionada com a capacidade do aquífero em transmitir água. Este parâmetro é dependente das características do meio geológico, bem como das características peculiares do fluxo percolado (massa específica e viscosidade) (BACARO, 2015).

A transmissividade de um aquífero é definida como a taxa de escoamento de água pelo aquífero, através da zona saturada (FEITOSA & MANUEL FILHO, 2000).

### 3.2.2 *Nível estático e nível dinâmico*

De acordo com Feitosa & Manuel Filho (2000) os conceitos de nível estático e nível dinâmico (Figura 2) são definidos da seguinte forma:

Figura 2 – Representação esquemática do nível estático e dinâmico de um aquífero



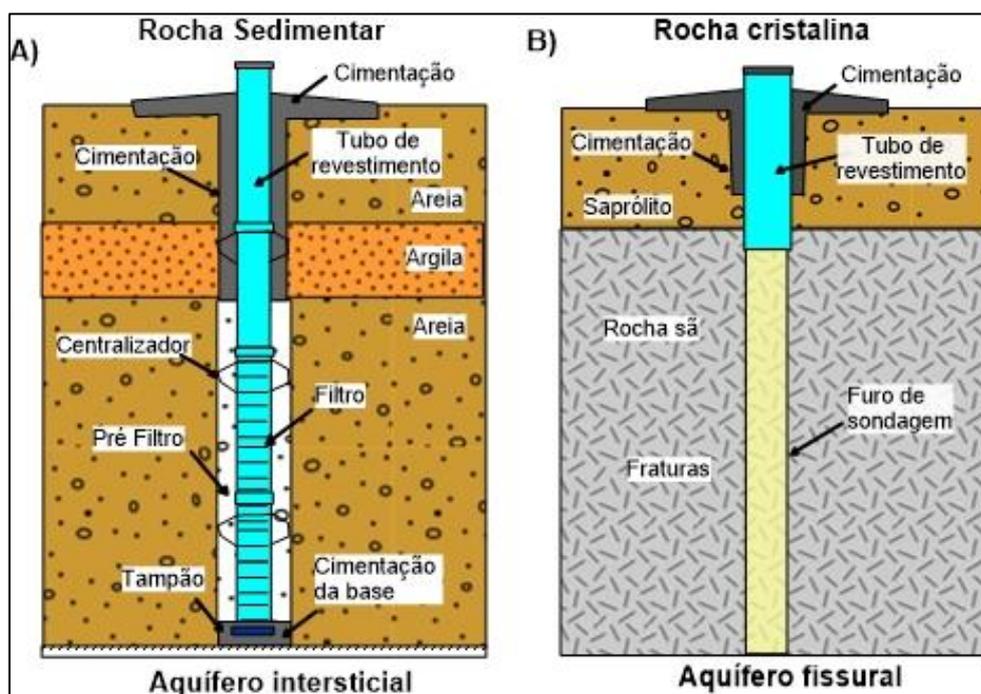
Fonte: Modificado de CPRM (1998)

- **Nível estático:** é o nível de água medido sem bombeamento e é definido como a distância entre a boca do poço e a superfície da água dentro do poço;
- **Nível dinâmico:** é o nível medido durante o bombeamento do poço ou após sua recuperação (quando o bombeamento cessa e o nível de água retorna para o nível estático) e representa a distância entre a boca do poço e a superfície da água no poço.

### 3.2.3 Captação de água subterrânea: perfuração de poços

Para perfuração de poços em rochas sedimentares (Figura 3 A), as profundidades e vazões são variadas, podendo atingir mais de 1.000 metros e 1.000m<sup>3</sup>/h, respectivamente. As perfuradoras mais utilizadas são de percussão e rotação, com diâmetro que vai de 4 a 22 polegadas. Esse meio geológico sedimentar necessita de revestimentos, filtros e pré-filtros (cascalho), o que encarece os custos totais para captação de água subterrânea (CPRM, 1998).

Figura 3 – Características de perfuração dos poços tubulares em meios geológicos distintos



Fonte: Modificado de CPRM (1998)

Enquanto para rochas cristalinas (Figura 3 B) é feito o uso de máquinas com percussão e ar comprimido. São comumente utilizados diâmetro de quatro a seis polegadas e adotado uma profundidade máxima de 80 metros, salvo com exceções, de poços mais profundos. Geralmente, os aquíferos fissurados apresentam baixas vazões (média de 2 a 5 m<sup>3</sup>/h) (CPRM, 1998).

Em geral para instalação de poços é necessário uma bomba, podendo ser submersa (grandes vazões), injetora (pequena a grande vazão), manual (vazão muito baixa), centrífuga (pequena vazão), compressor (injeção de ar) e cata-vento (energia eólica) (CETESB, 1978).

### **3.3 Fatores que influenciam na vulnerabilidade de aquíferos**

Um aquífero contaminado é um ambiente em que suas características naturais foram alteradas, sendo comprovada sua poluição ou contaminação causada pela presença de microrganismos nocivos à saúde, resultando no desequilíbrio ecológico do meio. A diferença entre o termo contaminação e poluição, é que este último não se refere ativamente sobre o ser humano, mas indiretamente retira dele as condições adequadas à vida (MONDELLI, 2008).

A vulnerabilidade natural representa a susceptibilidade de um aquífero em ser afetada por carga contaminante imposta, que resulta de um conjunto de características intrínsecas do aquífero, dependentes da associação de fatores entre a pedologia, topografia, geologia, hidrogeologia e do clima de determinados ambientes (JÚNIOR *et al.*, 2015).

A vulnerabilidade específica é a dada pela susceptibilidade do aquífero em ser impactado por contaminantes provenientes do uso específico do solo (VRBA & ZAPOROZEC, 1994).

As contaminações do meio físico de subsuperfície, por lixiviado de aterros e/ou resíduos de necrópoles, se instalam, apenas, se houver condições de vulnerabilidade, como a ausência ou deficiência de proteção contra as fontes poluidoras (Foster *et al.*, 2006). Nesse sentido, Kemerich *et al.* (2012) destacam que determinados tipos de solos, devido às suas características intrínsecas, possuem capacidade de reduzir compostos complexos em simples, atenuando o potencial da carga poluidora. Ainda, Manuel Filho *et al.* (2008) complementam que nos aquíferos, devido ao pequeno tamanho dos canalículos e ao processo de adsorção do

contaminante pelo solo, a circulação da água tem circulação lenta, podendo levar muito tempo para que a contaminação seja observada.

Hirata & Suhogusoff (2004) elencaram os principais fatores que expressam a vulnerabilidade de um aquífero e destacaram a acessibilidade dos poluentes à zona saturada e a capacidade de atenuação, resultante da interação entre reações físicas e químicas.

Esses fatores são passíveis de interação com elementos dependentes do comportamento do contaminante, como sua mobilidade físico-química, representada pelos seguintes processos (TOLEDO, 2009):

- **Advecção:** movimentação do contaminante junto com a água, através do gradiente hidráulico;
- **Retardação:** o contaminante é atraído pela matriz sólida e tem sua velocidade de movimentação reduzida;
- **Adsorção:** nesse processo, o contaminante é retido pela matriz sólida e se torna imóvel;
- **Dispersão:** o contaminante se espalha ao entrar em contato com a água devido à variação da velocidade advectiva;
- **Degradação:** nesse processo ocorre a destruição do contaminante, através de reações físicas, químicas e biológicas.

Em período chuvoso, o nível freático se eleva e pode se aproximar ou até entrar em contato direto com as sepulturas, facilitando a lixiviação de contaminantes (SILVA, 2008). Nesse sentido, Kemerich & Borba (2013) complementam que a infiltração de águas pluviais em sepulturas facilita o transporte dos compostos químicos para o solo e dependendo de suas características geológicas, podem chegar ao nível freático.

No que diz respeito às águas superficiais, a ocorrência de contaminação é bastante remota (BERTACHI, 2014), porém em períodos com alta pluviosidade e devido à impermeabilização e a deterioração dos túmulos (fendas e rachaduras), o necrochorume pode ser incorporado ao escoamento superficial e pode chegar até os corpos hídricos superficiais.

As águas subterrâneas são mais atingidas, principalmente quando se tem um nível freático raso ou aflorante, quando os cemitérios são instalados em ambientes com rochas fraturadas ou em sistemas cársticos (RODRIGUES & PACHECO, 2010), e em meio geológico que possui alta condutividade hidráulica. Outra situação ocorre devido à infiltração de água através das rachaduras dos túmulos, que provocam o abatimento do solo e conseqüentemente, causam a contaminação das águas subterrâneas (SILVA & MALAGUTTI FILHO, 2008).

### **3.4 Cemitérios: fontes de contaminação**

Entre as atividades antrópicas que podem comprometer a qualidade dos aquíferos é destacada a falta de saneamento adequado, que resulta na disposição imprópria dos resíduos sólidos, bem como dos despejos domésticos, além de atividades de superexploração de poços para irrigação de lavouras, abastecimento humano, atividades industriais, extrativismo mineral, vazamentos de hidrocarbonetos com armazenamento subterrâneo em postos de combustíveis e os cemitérios.

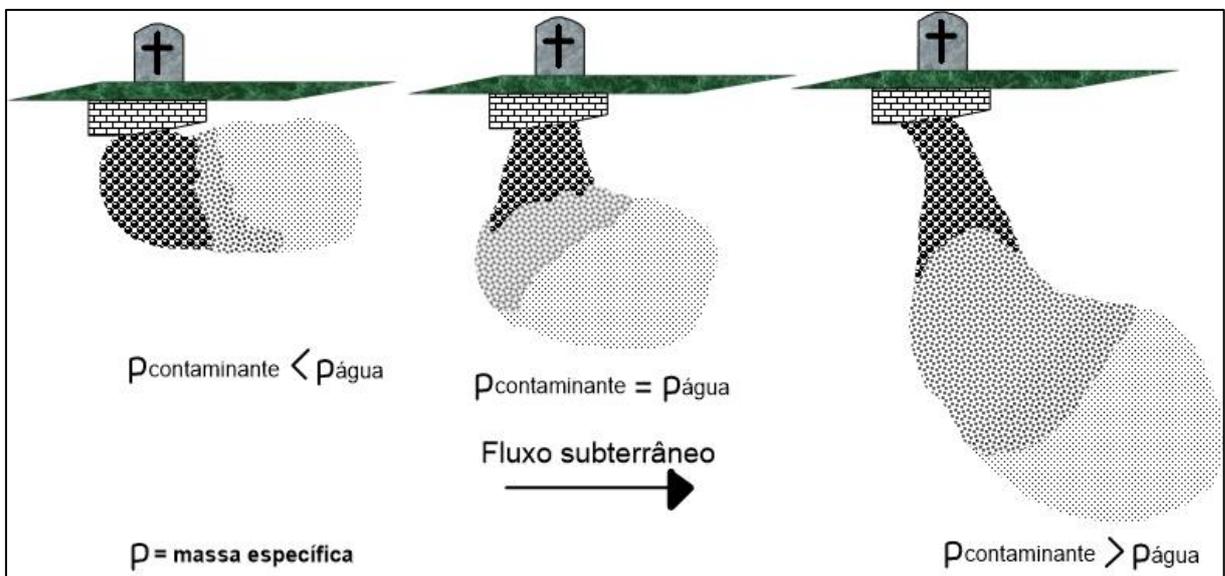
A falta de manejo adequado é a principal causa de contaminação da água e do solo, pelos cemitérios. Os compostos solúveis presentes no necrochorume, quando entram em contato com a água do aquífero, apresentam densidade e viscosidade variada, formando plumas que podem atingir distâncias quilométricas, a partir de sua fonte de dissipação (FINEZA, 2008). Ainda, Silva (2008) enfatiza que técnicas de despoluição de aquíferos são muito complexas e onerosas, além de não funcionar em curto prazo e em muitos casos, o aquífero pode não ser recuperado.

Na zona não saturada (água, solo e ar), o movimento das águas intersticiais segue o fluxo na direção dos níveis de potenciais de gradiente hidráulico, dos mais elevados para os mais baixos, com direção predominantemente, vertical. Nessa região, a velocidade de movimentação é maior, em comparação com a zona saturada, que possui fluxo, predominantemente, horizontal. Dessa forma, a região não saturada atua como um sistema de defesa, pois proporciona características físico-químicas (alta aeração, baixa alcalinidade, alto índice de vazios entre as partículas sólidas e grande superfície específica dos poros presentes) que interceptam, adsorvem e eliminam bactérias e vírus patogênicos, bem como hospedam microrganismos com capacidade de degradar vários compostos (SILVA & MALAGUTTI FILHO, 2008).

Referente à movimentação no subsolo, os estudos de Romero (1970) apontam que os microrganismos em meios saturados podem atingir uma distância média de 15 a 30 metros da fonte, especificamente, os vírus podem percorrer até 60 metros e dependendo da disponibilidade de água e nutrientes, distância ainda maior.

A disseminação do necrochorume em meios saturados apresenta distância, direção e velocidade variável de acordo com as características do meio geológico e da massa específica do contaminante, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Comportamento do necrochorume em meio saturado



Fonte: Modificado de Silva (1998)

Quando o contaminante possui massa específica menor que a água, apresenta fluxo horizontal com baixa mobilidade, pois os líquidos mais densos fluem através do mecanismo de gradiente hidráulico e os líquidos menos densos tendem a ter baixa velocidade de difusão. Quando o contaminante e a água possuem mesma massa específica, há uma maior dispersão do contaminante, que pode atingir determinadas profundidades tanto na direção horizontal quanto na vertical. Por fim, quando o contaminante é relativamente mais denso que a água, ele apresenta elevada mobilidade e pode alcançar grandes profundidades, verticais e horizontais.

### 3.4.1 Necrochorume

Do ponto de vista químico, o corpo humano é composto por diversas substâncias e depois de morto é decomposto, principalmente, por bactérias microscópicas e enzimas, que são responsáveis pela degradação dos tecidos do corpo. Esse processo é chamado de putrefação e ocorre de maneira gradual, gerando subprodutos gasosos, líquidos e sais (XAVIER, 2015).

Conforme Rodrigues (2015), a taxa de putrefação é influenciada por fatores intrínsecos aos cadáveres, como a idade (putrefação ocorre mais rapidamente em corpos mais jovens), constituição do corpo (maior taxa de gordura corporal resulta na aceleração da decomposição) e a causa da morte (degradação ocorre em maior taxa em vítimas de infecções, mutilações e corpos em estado gangrenoso). E também por características extrínsecas como o clima (temperatura – ideal entre 20 e 30°C, umidade e aeração) e ao solo do ambiente de sepultamento.

Os principais gases liberados durante a decomposição dos corpos são o sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), metano ( $CH_4$ ), amônia ( $NH_3$ ), fosfina ( $PH_3$ ) (PACHECO, 2012). O odor nauseante é causado pela liberação dos gases supracitados e de mercaptanos, que são substâncias que contém hidrogênio ligado a carbono saturado. Sendo que em regiões tropicais, com clima quente e pós chuva, o odor é mais acentuado.

Em média um corpo com 70 kg, ao ser decomposto produz cerca de 30 litros de necrochorume, o qual é composto de 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas (SILVA, 1998).

O necrochorume é caracterizado como um líquido viscoso, de cor castanho-acinzentada, polimerizável, de odor ocre e fétido e apresenta variado grau de patogenicidade (MATOS, 2001). Possui densidade superior a da água, com teor médio de  $1,23 \text{ g/cm}^3$  e pH variando de 5 a 9, em temperatura de 23 a 28°C.

O processo de decomposição pode durar de meses a vários anos, dependendo da ação ambiental, sendo que em clima tropical, para ocorrer a decomposição completa, demora em torno de três anos, e em climas temperados, até dez anos (FELICIONI *et al.*, 2007). Porém, a liberação do necrochorume ocorre principalmente, no primeiro ano de sepultamento (SILVA, 2008).

O potencial de toxicidade do necrochorume é atribuído à formação de compostos orgânicos complexos, como as diaminas (cadaverina ( $NH_2(CH_2)_5NH_2$ ) e

putrescina ( $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2$ ), aos agentes patogênicos, representados pelas bactérias e vírus (NASCIMENTO, 2009), aos radioisótopos de pessoas que passaram por tratamento químico hospitalar (quimioterapia) e aos óxidos metálicos (principalmente, óxidos de titânio (Ti), cádmio (Cd), chumbo (Pb), ferro (Fe), cromo (Cr) e mercúrio (Hg)) lixiviados dos adereços das urnas mortuárias, formaldeído e metanol utilizados para embalsamação (SILVA & MALAGUTTI FILHO, 2008).

Durante o processo de decomposição das aminas biogênicas, ocorre a liberação de amônio, que são fontes responsáveis pelo aumento de nitrito e nitrato nas águas subterrâneas, que causam a síndrome do bebê azul (NASCIMENTO *et al.*, 2008).

Todos os contaminantes incorporados ao necrochorume são agravantes para geração de passivos ambientais. As áreas contaminadas são caracterizadas pela presença de compostos de fósforo e nitrogênio, concentração de sais (sódio, cálcio, cloreto e ácido carbônico) que alteram parâmetros de pH, a alcalinidade, condutividade elétrica e dureza do solo (SILVA & MALAGUTTI FILHO, 2008).

### **3.4.2 Microrganismos**

De acordo com Xavier (2015), os principais patógenos responsáveis pela decomposição dos cadáveres são as bactérias e os vírus. Esses microrganismos, em sua grande maioria, são anaeróbios restritos ou facultativos e se proliferam, principalmente na zona saturada, onde há deficiência de oxigênio dissolvido na água. Possuem um tempo de vida que pode variar de três meses a cinco anos, em condições especiais (ROMERO, 1970).

O ecossistema de bactérias decompositoras apresenta grande heterogeneidade devido à variação da composição química dos corpos. Pacheco (2012) definiu as classes de bactérias de acordo com o material que degradam, entre as quais, matéria orgânica (bactérias heterotróficas), proteínas (bactérias proteolíticas) e lipídeos (bactérias lipolíticas). Ainda, são encontradas bactérias que vivem no trato intestinal dos humanos, como *Escherichia coli*, bactérias do gênero *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter* (que formam o grupo coliforme total) e a *Streptococcus faecalis* (que provoca diarreia e dores abdominais), além de microrganismos patogênicos como *Clostridium perfringens*, *Clostridium welchii* (que causam tétano, gangrenas e infecção alimentar), *Salmonella typhi* (que causa a

febre tifóide), *Salmonella paratyphi*, (que causa a febre paratifóide), *Shigella* (que causa a disenteria bacilar) e o vírus da hepatite A.

De acordo com Carvalho Junior & Costa e Silva (1997), a contaminação humana se dá por ingestão, inalação e pelo contato direto com as substâncias tóxicas e microrganismos patogênicos presentes no necrochorume, tendo como órgãos alvos principalmente, o trato digestivo, fígado, pulmões e epiderme.

### **3.4.3 Aspectos legais e licenciamento ambiental**

De acordo com Rodrigues (2015), as esferas municipais, estaduais e federais são responsáveis pela normatização das atividades de instalação e operação de cemitérios. Porém, a maioria dos estados brasileiros não possui legislação específica para reger a implantação desses empreendimentos. Uma exceção é o estado de São Paulo, onde a CETESB é responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividade potencialmente poluidora.

A esfera municipal formula as leis locais e a normatização é de responsabilidade dos órgãos ambientais que compõem o SISNAMA, sendo que o marco regulatório ambiental para os cemitérios se deu através da criação da Resolução CONAMA nº 335/2003 (KLEIN, 2012).

A Resolução CONAMA nº 335/2003, que foi alterada pela Resolução CONAMA nº 368/2006 (alterados parâmetros dos artigos 3º e 5º) e nº 402/2008 (alterados os artigos 11º e 12º e revogando o artigo 3º da Resolução CONAMA nº 369/2006), dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios verticais e horizontais, sendo atribuída a responsabilidade de licenciar e fiscalizar a implantação de novos cemitérios, aos órgãos estaduais (CONAMA, 2003; CONAMA, 2006; CONAMA, 2008).

Os cemitérios existentes tiveram um prazo de dois anos para se adequarem às exigências junto aos órgãos ambientais, bem como promover a recuperação de áreas degradadas e indenizar as vítimas que foram sujeitas à contaminação ambiental (SILVA, 2008).

O licenciamento ambiental consiste numa obrigação legal prévia para instalação de uma atividade ou empreendimento que possui poder de poluição e é obtido por meio de três fases: Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO). No caso dos cemitérios, para atingir os mínimos

requisitos legais em proteção aos aquíferos, deve-se avaliar as características de permeabilidade do solo, bem como sua capacidade de atenuação de substâncias na subsuperfície. O detalhamento de cada etapa, bem como a documentação e os passos necessários para obtenção do licenciamento ambiental estão descritos na Resolução CONAMA nº 335.

Os principais critérios legais a serem seguidos para se obter o licenciamento ambiental de um cemitério, em âmbito nacional, são:

- As sepulturas enterradas no solo devem respeitar uma distância mínima de um metro e meio do nível freático, se o local não atender essas características, o sepultamento deve ser realizado acima do nível natural do terreno;
- Deve-se ter um sistema de captação e retenção dos gases gerados, bem como a utilização de dutos para trocas gasosas, facilitando o processo de decomposição dos cadáveres;
- Os materiais que envolvem os corpos (urnas, mantas e caixões) devem ser biodegradáveis, sem elementos nocivos em sua composição;
- Os adereços e adornos devem possuir destinação ambiental e sanitária adequada;
- Os empreendimentos devem possuir sistema de drenagem pluvial.

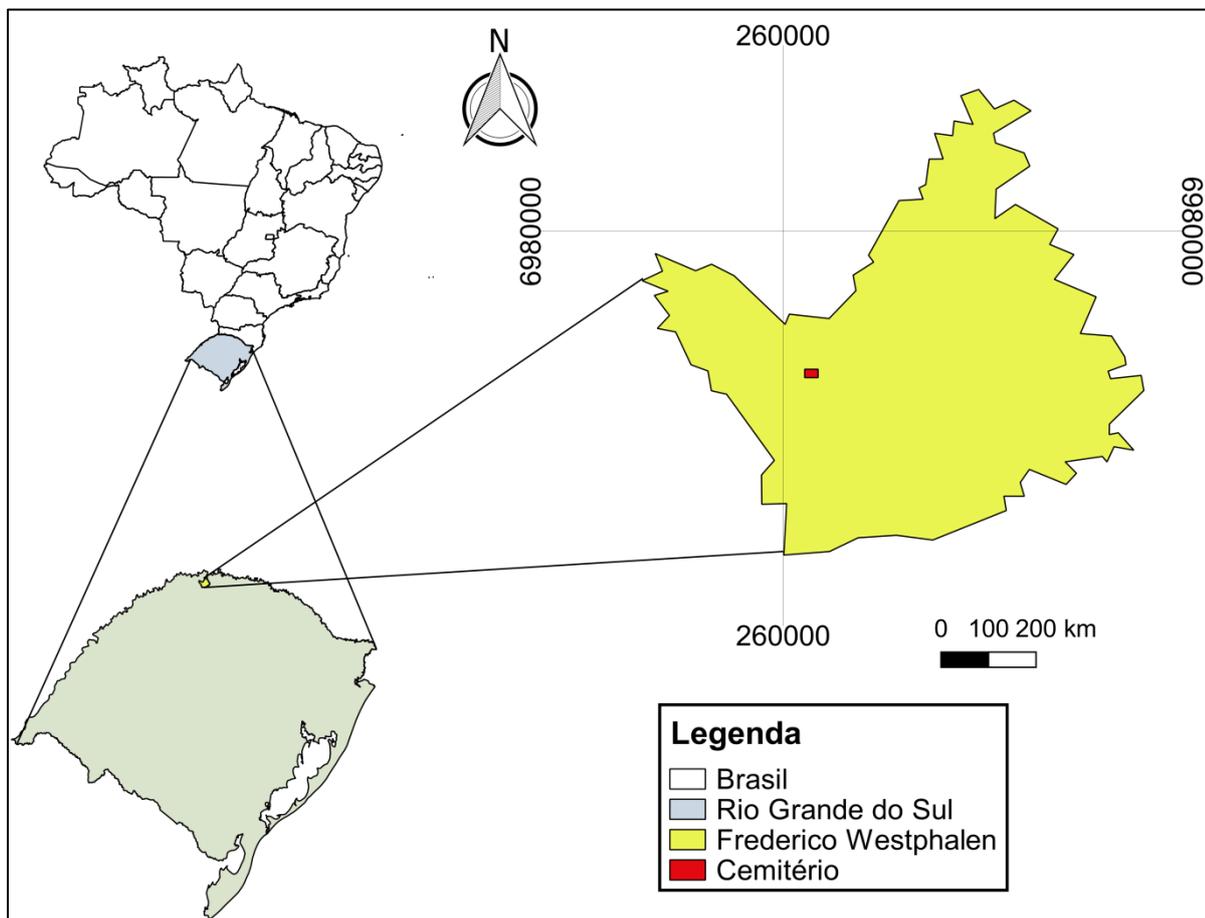
Nos cemitérios brasileiros, uma prática comum é a falta de planejamento para o enterro de indigentes, que são enterrados diretamente no solo. Portanto, apesar de todas as especificações prescritas pela norma, é comum encontrar diversos empreendimentos que não se enquadram à legislação vigente e que atuam inadequadamente, poluindo o meio físico.

## **4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

### **4.1 Localização da área de estudo**

O município em questão é localizado a uma distância aproximada de 420 km da capital do Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Geograficamente, o local encontra-se no planalto meridional norte (Figura 5).

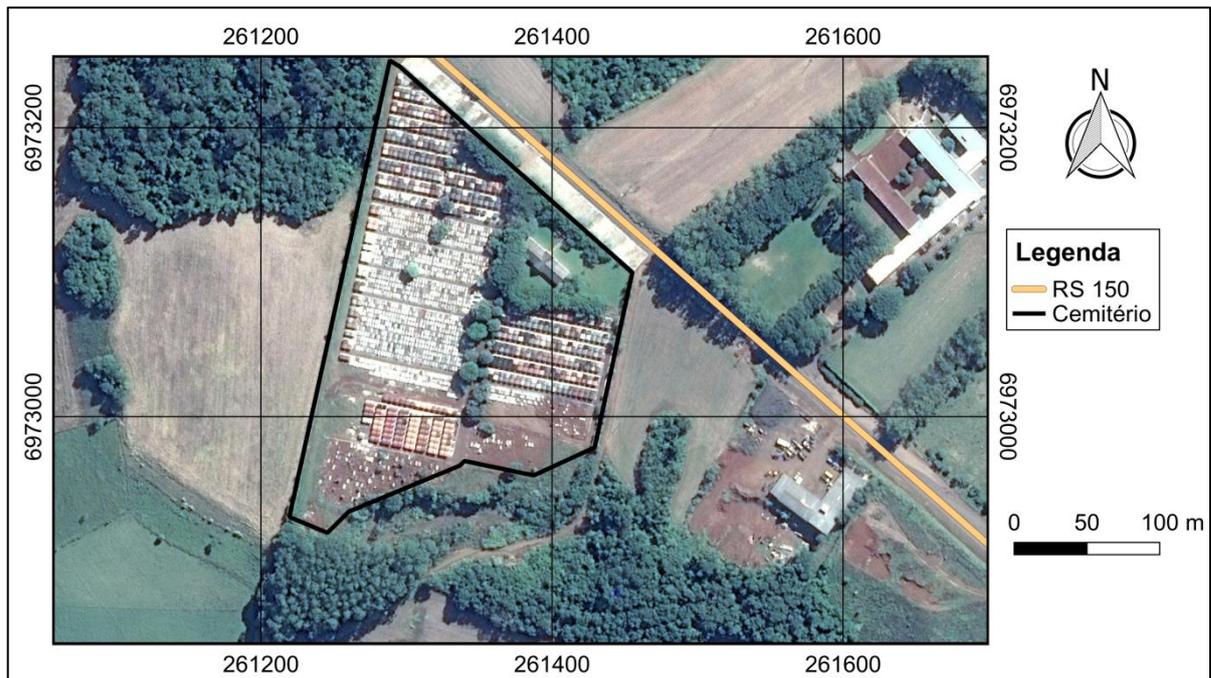
Figura 5 - Mapa de localização do município de Frederico Westphalen e do Cemitério Municipal



A área territorial estimada possui cerca de 264 quilômetros quadrados tendo sido povoado por volta de 1918 a partir da associação do avanço da pecuária pelos campos nativos do planalto e da chegada dos descendentes de colonos europeus, alemães, italianos e caboclos (CUNHA *et al.*, 2011). De acordo com o censo do IBGE (2010), a população do município é de 28.843 habitantes, dos quais em torno de 5.510 residem na zona rural e 23.333 residem no meio urbano.

O Cemitério Municipal de Frederico Westphalen é localizado junto à rodovia estadual RS 150 (Figura 6). O empreendimento possui perímetro de 920 metros e dispõe de uma área de cerca de 50.000 metros quadrados.

Figura 6 - Cemitério Municipal de Frederico Westphalen com destaque para Rodovia Estadual - RS 150



Fonte: *Google Earth Pro*. Data: 13 de abril de 2014

## 4.2 Clima Regional

De acordo com Moreno (2014), através de critérios para subdivisão morfoclimática de Köppen, o território do estado do Rio Grande do Sul é enquadrado na zona fundamental temperado “C”, no tipo fundamental temperado úmido “Cf”.

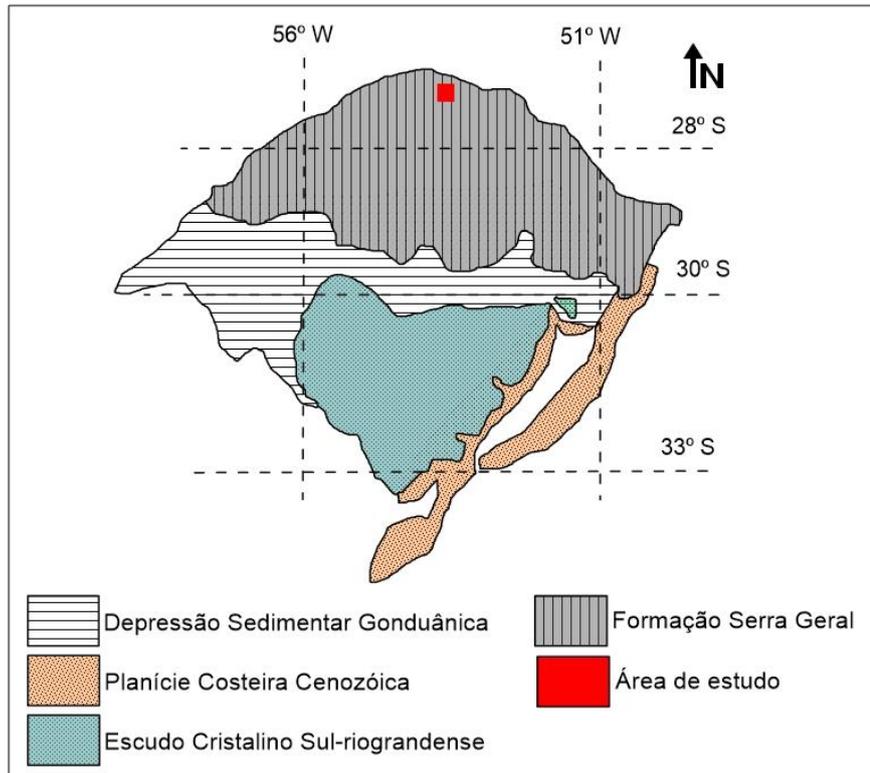
O clima da região norte do estado é caracterizado como mesotérmico temperado “Cfa” por apresentar estações bem definidas. A temperatura média entre as estações se situa entre 18°C e 20°C, o índice pluviométrico anual médio é de cerca de 1.900mm (HAUSMAN, 1995). O verão é caracterizado por chuvas intensas e temperaturas elevadas (de 38 a 40°C), enquanto no inverno, as temperaturas decaem consideravelmente (tendo um mínimo em -4°C).

## 4.3 Geologia Regional

A geologia regional remonta aos diferentes processos geodinâmicos de formação da crosta terrestre em diferentes escalas de tempo geológico.

No mapa de geologia regional (Figura 7), foram destacadas as quatro principais províncias geomorfológicas do estado: Formação Serra Geral, Escudo Cristalino Sul-Riograndense, Planície Costeira Cenozóica e Depressão Periférica Gondwânica (ou Bacia Sedimentar Gondwânica).

Figura 7 - Mapa das províncias geomorfológicas do estado do Rio Grande do Sul



Fonte: Modificado de Borba *et al.*(2013)

A Formação Serra Geral, onde a área de estudo é situada, pertence à Bacia do Paraná, que é uma grande Bacia Sedimentar Gondwânica intracratônica, preenchida com rochas sedimentares e vulcânicas que constituem uma superposição de pacotes depositados devido à dinâmica de placas. A Bacia do Paraná evoluiu sobre a crosta continental sul-americana e se estende da região central em direção ao sul do Brasil, incluindo porções do Uruguai, Argentina e Paraguai, apresentando variações de limite da bacia com o tempo. (ZALÁN *et al.*, 1990).

De acordo com MMA (2006), a geologia da região é caracterizada como Formação Serra Geral, que foi formada no Eon Fanerozóico, na Era do Mesozóico e no Período de transição entre o Jurássico e o Cretáceo, quando houve a ruptura do

continente Gondwana (separação da América do Sul da África e abertura do Oceano Atlântico Sul) que provocou intensas atividades tectônicas e conseqüentemente, expressivos rifteamentos e processos vulcânicos.

A Formação Serra Geral se originou de derrames superpostos, descontínuos, geralmente sub-horizontais, com leve inclinação (BELLIENI *et al.*, 1983). Sucintamente, as rochas são compostas por basaltos toleíticos com intercalações de arenitos, diques diabásicos e rochas vulcânicas ácidas como os riolitos, dacitos e riodacitos. Essa unidade geológica cobre cerca de um milhão de quilômetros quadrados, com locais que apresentam até mais de 2.000 metros de espessura (MILANI *et al.*, 2007).

#### **4.4 Geologia Local**

Gomes (1996) fez um estudo sobre a geologia da região de Frederico Westphalen com intuito de correlacionar as características estruturais, petrográficas e geoquímicas em função dos derrames basálticos e andesíticos. Através de perfis geológicos, o autor caracterizou os derrames com espessura de aproximadamente 50 metros, com propriedades do tipo Paranapanema, no qual as rochas apresentam composição com teor intermediário de óxido de titânio (1,7 a 3,2%) e elementos incompatíveis. Ainda, devido à observação de geometria tabular plana dos derrames, foi concluído que as lavas foram extrudidas sobre uma superfície horizontal e que o contato entre as unidades é marcado pela presença de arenitos vermelhos.

A seqüência de derrames de lava resultou na formação de estruturas internas como a presença zonas vesiculares, que devido ao aprisionamento de gases voláteis, foram preenchidas por quartzo, zeólitas, calcita e argilominerais do grupo das esmectitas. Esse processo geológico complexo formou depósitos minerais, como de ametista e ágata, que representam os minérios explorados na região e configuram uma atividade de grande importância econômica.

De acordo com Gomes (1996), apesar das diferenças estruturais em função da composição de derrames basálticos, as rochas de Frederico Westphalen são consideradas homogêneas por não apresentarem grandes variações. Superficialmente as rochas dessa formação são pouco fissuradas, devido à sua

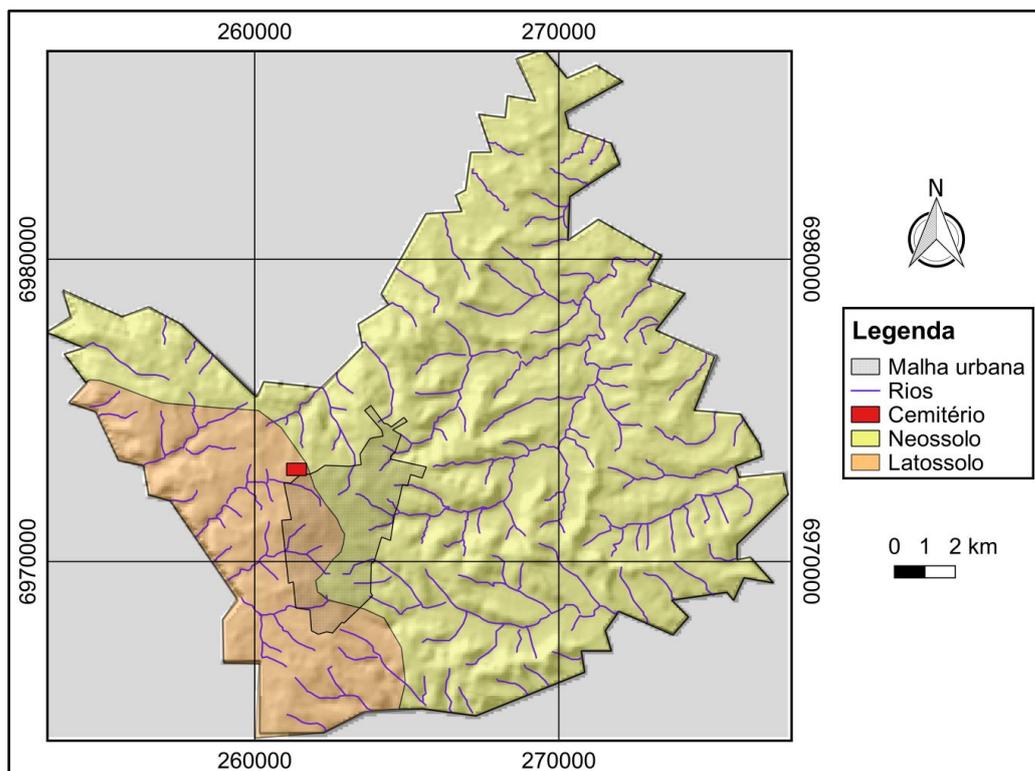
origem mais recente. Ao contrário, devido ao peso dos blocos rochosos, em profundidade são encontradas rochas fraturadas (diaclasses).

A geologia local, especificamente na área do Cemitério Municipal e regiões próximas, é caracterizada pelo afloramento de rochas basálticas pertencentes à Formação Paranapanema. Essa unidade geológica é composta por basalto granular fino a médio, mesocrático com horizontes vesiculares preenchidos por quartzo (ametista), zeólita, seladonita e carbonato (CPRM, 2007).

#### 4.5 Pedologia

O solo de Frederico Westphalen (Figura 8) é produto do intenso intemperismo das rochas, formadas por derrames sucessivos de lavas basálticas, uma vez que a região apresenta grandes oscilações de temperaturas sazonais e elevado índice pluviométrico anual. O perfil do solo é caracterizado por apresentar desníveis de profundidade, associados à decomposição parcial do basalto. Os principais solos encontrados na área e seu entorno (Figura 8) são do tipo (EMBRAPA, 1999):

Figura 8 - Mapa pedológico do município de Frederico Westphalen com destaque para hidrografia regional



Fonte: Adaptado de EMBRAPA (1999)

- **LATOSSOLO VERMELHO Aluminoférrico:** caracterizados como solos profundos e homogêneos, de coloração vermelha acentuada e apresentam fertilidade reduzida, devido à toxidez do alumínio e ao alto teor de ferro (entre 18 e 36%), que dificulta o desenvolvimento radicular em profundidade. Designadamente, a área do Cemitério Municipal apresenta predominantemente esta classe de solo;
- **NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico:** representam solos pouco desenvolvidos, constituídos por material mineral recoberto com fina camada de matéria orgânica. Em geral, devido a pouca profundidade (em torno de 50 cm) possuem restrição na penetração das raízes, o que dificulta o crescimento de espécies vegetais de grande porte, bem como o desenvolvimento de atividades que necessitam de mecanização agrícola. Designadamente, o grande grupo (eutrófico) dessa subordem (LITÓLICO) apresenta elevada saturação por bases e constituem solos com alta fertilidade.

Apesar dos tipos de solos supracitados apresentarem restrição quanto à aptidão para prática agrícola, são aplicadas tecnologias para correção de fertilidade e de acidez dos mesmos, como a adição de compostos de fósforo (fertilizantes) e calcário, em vista que esta é a principal deficiência nutricional das terras locais (CUNHA *et al.*, 2011).

A intensa deflorestação na região deu lugar às áreas agrícolas e com isso agravou os problemas ambientais. Tais fatos são comprovados pelo trabalho de Jung *et al.* (2012), que realizaram um mapeamento multitemporal (de 1985 para 2010) do uso e ocupação do solo em Frederico Westphalen, apontaram que houve maior fragmentação das florestas decorrente do avanço da agricultura e resultou numa maior desnudação do solo.

Borba *et al.* (2016) classificaram o uso e ocupação do solo de Frederico Westphalen e encontraram índice de 80% do solo recoberto por pastagens e áreas agroflorestais, 16% por áreas de florestas e zonas seminaturais, 3% de áreas urbanas contínuas e 1% de recursos hídricos superficiais.

## 4.7 Hidrogeologia

O município de Frederico Westphalen é localizado na parte norte da Bacia Hidrográfica do Rio da Várzea. A área de estudo pertence ao Sistema Aquífero Serra Geral, caracterizado como aquífero fissurado ou fraturado, o qual ocupa a parte centro-oeste da região denominada pelos derrames da Unidade Hidroestratigráfica Serra Geral no planalto rio-grandense. Essa região é constituída principalmente por litologias basálticas, amigdalóides e fraturas, encobertas por solo avermelhado (MACHADO, 2005).

O Sistema Aquífero Serra Geral engloba dois domínios hidrogeológicos: Rochas Vulcânicas de Planalto e de Escarpa (Província Basáltica Planalto) e Rochas Vulcânicas da Fronteira Sudoeste do Rio Grande do Sul (Província Basáltica Cuesta) (FGV, 1998).

Devido à sua formação basáltica, a distribuição da água subterrânea é irregular, sendo comum a existência de poços não produtivos próximos de poços com boa produtividade. Especificamente em Frederico Westphalen a maioria dos poços produtivos possui capacidade específica entre 1 e 4 m<sup>3</sup>/h/m e existem poços com capacidade específica superior a 4 m<sup>3</sup>/h/m. A salinidade das águas subterrâneas em geral é baixa, variando em torno de 200mg/L. Há poços que apresentam elevado pH (entre 9 e 10) e transmitem água mais salinas (sódicas, cálcicas e magnesianas), que são caracterizadas pela ascensão das águas pertencentes ao Aquífero Guarani. Esse evento ocorre porque os dois aquíferos, devido aos condicionantes geomorfológicos e geotectônicos, em determinados pontos se encontram sotopostos (CPRM, 2005).

Em geral o Sistema Aquífero Serra Geral constitui um meio heterogêneo e anisotrópico com boas condições de armazenar e transmitir água pelas descontinuidades das rochas. Sua recarga pode ser tanto pela infiltração da água da chuva como pela entrada nas rupturas regionais cobertas com manto de alteração e solo. A circulação da água ocorre por dois níveis, sendo um nível horizontal entre o solo alterado e as rochas e outro nível, nas fissuras das rochas (FEPAM, 2003).

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica em trabalhos sobre a temática dos cemitérios. Esta etapa instigou o interesse de investigação frente a pouca visibilidade dos problemas ambientais que estes empreendimentos podem causar na forma de impactos negativos ao meio ambiente e conseqüentemente, à saúde pública.

Particularmente, o cemitério em questão, foi escolhido devido à fácil acessibilidade para realização de outros trabalhos a campo e a constatação da existência de outros estudos na área, que apontaram indícios de possível contaminação, salientando a necessidade da aplicação de metodologias para avaliar as condições de vulnerabilidade do meio físico.

Após a seleção da área e da região municipal, segundo as justificativas apresentadas, foram adotados os seguintes procedimentos:

- Levantamento das informações existentes: estudos geológicos, hidrogeológicos, topográficos e pedológicos da região;
- Coleta, agrupamento, sintetização dos dados pertinentes ao estudo;
- Redação do texto, escolha de imagens e elaboração de mapas que caracterizaram a área de estudo e fundamentaram a base teórica para discussão dos resultados finais;
- Coleta de dados na plataforma SIAGAS;
- Teste e escolha do interpolador para construção de mapas de nível estático, nível dinâmico, topografia, profundidade do solo e mapa de vulnerabilidade;
- Análise por meio do método GOD;
- Comparação com outro trabalho de mesma temática na região.

O *software Quantum Gis 2.14 Essen*, programa gratuito, foi utilizado para construção dos mapas de caracterização da área de estudo (com exceção do mapa de Geologia Regional – com *DATUM WGS 84*), bem como para espacialização e elaboração dos mapas contendo os resultados finais, onde foram utilizadas coordenadas *UTM (Universal Transverse Mercator)* e *Datum SIRGAS 2000*.

## **5.1 Elaboração do modelo de análise de relevo, do nível estático e do nível dinâmico**

### **5.1.1 Coleta de dados na plataforma SIAGAS**

O SIAGAS foi desenvolvido pelo Serviço Geológico Brasileiro - SGB em resposta dos grandes desafios de gestão dos recursos hídricos. Essa ferramenta consiste em um sistema de informações sobre as águas subterrâneas do território brasileiro, que desde 1996, armazena, sistematiza, atualiza, divulga e disponibiliza dados, gera informações georreferenciadas e relatórios (LARINI, 2013).

A adoção do SIAGAS pelos órgãos gestores estaduais, Secretarias dos Governos Estaduais, Agência Nacional de Águas - ANA e Usuários dos Recursos Hídricos Subterrâneos foi recomendada pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, através da Moção nº 038/2006, com intuito de difundir informações sobre as águas subterrâneas (CPRM, 2016).

Para coleta de informações sobre os poços tubulares cadastrados, bem como suas características peculiares, foi realizada uma pesquisa na plataforma do SIAGAS ([http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa\\_complexa.php](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php)). A plataforma do SIAGAS apresenta uma ferramenta de pesquisa que permitiu a verificação de informações sobre os poços tubulares cadastrados em seu sistema, onde os dados são divididos em categorias, tais como: dados gerais, construtivos, geológicos, hidrogeológicos, teste de bombeamento e análises químicas. Tais informações serviram de base para desenvolvimento deste estudo.

### **5.1.2 Método de interpolação**

O programa *Quantum Gis 2.14 Essen* dispõe de dois métodos de interpolação espacial (inverso do quadrado da distância e a triangulação). A diferença entre os interpoladores geoestatísticos é relacionada com o peso que é atribuído às diferentes amostras. Estas ferramentas são disponibilizadas para acesso direto pelo programa ou através de complementos, que podem ser baixados.

Neste estudo foi utilizado o método de interpolação espacial Inverso do Quadrado da Distância (do inglês, *Inverse Distance Weighting – IDW*), que segundo Chen *et al.* (2012) e Sajid *et al.* (2013) apresenta exatidão, precisão e consistência

para descrever com precisão qualquer conjunto de dados espaciais, o que foi previamente comprado no teste de seleção dos métodos.

Mano (2011) testou e categorizou que para espacialização de dados dispersos e aleatórios, o interpolador *IDW* apresenta melhores resultados em comparação com a triangulação. Este autor ainda recomenda o uso de um coeficiente para distância entre os pontos, que varia de 4 a 8 para interpolação pelo programa *Qgis*. Esse atributo é relacionado à morfologia da área, e nesse caso por ser uma área com descontinuidades geomorfológicas, foi utilizado coeficiente de valor igual a 6 com tipo de quebra de linhas.

## 5.2 Metodologia de avaliação de vulnerabilidade de aquífero: *GOD*

Existem vários métodos que têm sido desenvolvidos para avaliação da vulnerabilidade de aquíferos à contaminação, porém as metodologias utilizadas se baseiam em concepções diferentes sobre o conceito de vulnerabilidade. Estes métodos são divididos em categorias, tais como: métodos empíricos ou de superposição, métodos determinísticos que simulam modelos baseados em processos físicos e métodos estatísticos (SANTOS, 2010).

O método *GOD* (**G** – *groundwater hydraulic confinement* – grau de confinamento hidráulico; **O** – *overlying strata* – ocorrência de estratos; **D** – *depth to groundwater table* – Profundidade da água subterrânea) é um método empírico de superposição de camadas que se baseia nas características intrínsecas ao solo, ao meio geológico e hidrogeológico. Outros métodos como *DRASTIC*, *AVI*, *SINTACS* e *IS*, também pertencem a essa categoria.

Os principais métodos existentes são baseados em variáveis como o acesso da água à zona saturada e a capacidade de atenuação da zona não saturada. No entanto, esses parâmetros não podem ser aferidos diretamente e dependem de outras variáveis.

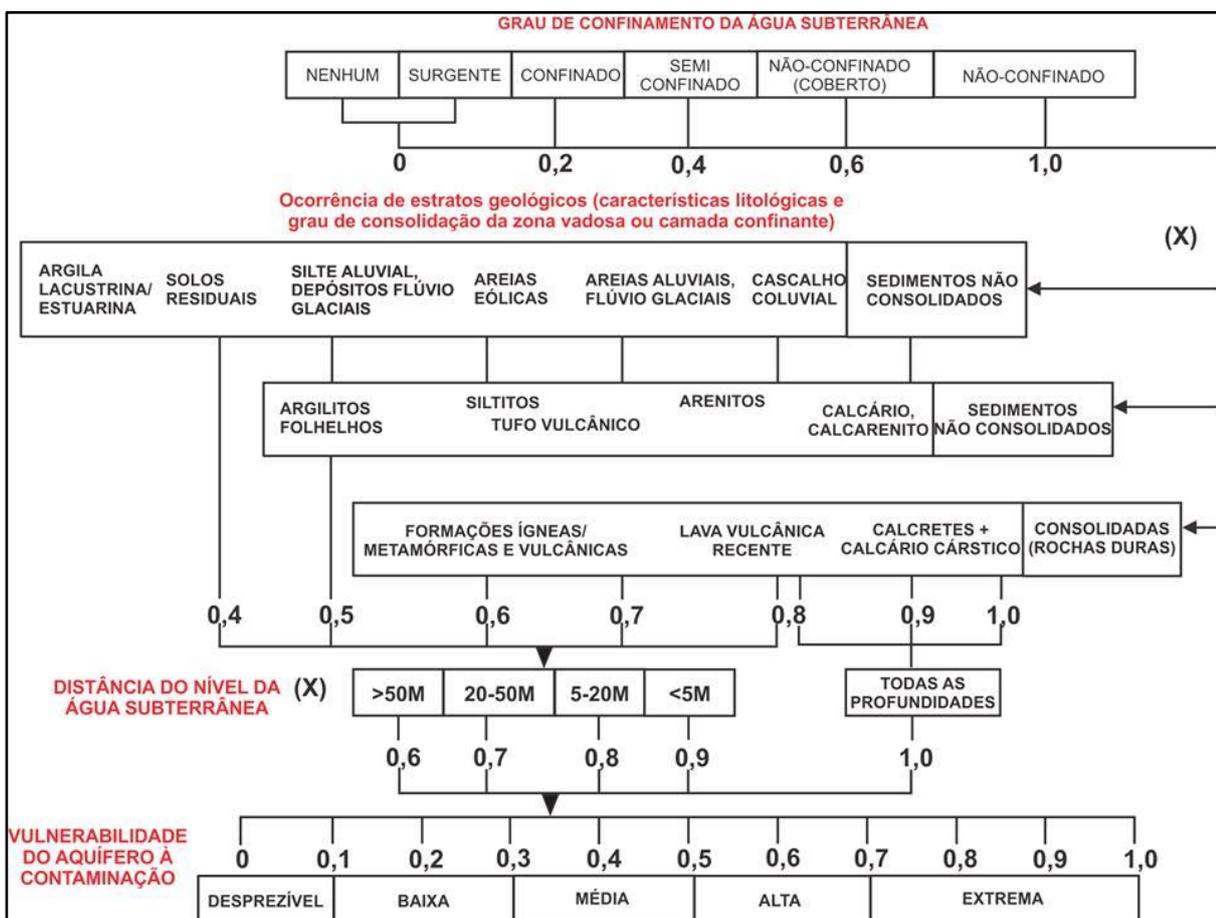
O método *GOD* é baseado na atribuição de índices de variáveis entre 0 e 1. Devido a sua simplicidade de aplicação é largamente aplicado no desenvolvimento de trabalhos que visam gerir o uso adequado dos recursos naturais, principalmente as águas subterrâneas (BRITO, 2013).

Se comparado o método *GOD* como os métodos *DRASTIC* e o *SINTACS*, ele apresenta resoluções mais imprecisas, uma vez que não considera a relevância do

solo como um filtro natural para a contaminação (AUGE, 2004). Porém, somente o método *GOD* considera o tipo de aquífero e seu comportamento hidráulico relacionado com o grau de consolidação, ainda sua simplicidade e exigência de poucos dados faz deste método um modelo de fácil aplicação (BRITO, 2013).

A qualificação da vulnerabilidade de um aquífero à contaminação por este método segue o diagrama de Foster *et al.* (2006), representado na Figura 9.

Figura 9 - Diagrama para aplicação do método GOD



Fonte: Adaptado de Foster *et al.* (2006)

Para o grau de confinamento da água subterrânea (*G*) o diagrama apresenta escala de 0 a 1, enquanto que para ocorrência de estratos geológicos (*O*), adota escala de 0,4 a 1 e para distância do nível da água subterrânea (*D*), a escala varia de 0,6 a 1.

Referente à variável *G*, na região analisada foi encontrado dois tipos de aquíferos, confinado e não confinado, que receberam peso atribuído de 0,2 e 1,

respectivamente. Com exceção de dois poços, sendo que esse fato é discutido mais adiante.

Para a variável *O* foram analisadas as características litológicas e grau de consolidação da zona vadosa ou camada confinante, que recebe uma pontuação em função do tipo de formação, conforme é expresso na Tabela 1.

Tabela 1 - Definição dos valores atribuídos ao grau de confinamento referente ao tipo de ocorrência de estratos, pelo método GOD

<b>Tipo de formação</b>	<b>Valor</b>
Solo argiloso	0,5
Solo + rocha	0,7
Solo areno argiloso	0,7
Basalto	0,7
Solo argiloso + rocha	0,7
Solo consolidado	0,7

Por fim para variável *D*, seguiu-se a interpretação correspondente ao diagrama da Figura 9.

Após a definição dos valores dos atributos encontrados, foi calculado o produto destas variáveis, que gerou um valor final entre 0 a 1. A vulnerabilidade de cada poço de captação de água subterrânea à contaminação foi determinada pela correspondência entre o valor numérico encontrando e sua classe de significância (variando de desprezível ou insignificante à de extrema significância), como mostrado na Tabela 2, que destaca as características de cada categoria.

Tabela 2 – Classificação de vulnerabilidade de um aquífero de acordo com sua significância, pelo método *GOD*

<b>Intervalo</b>	<b>Classe</b>	<b>Características</b>
0,0 – 0,1	Insignificante	Desconsidera as camadas confinantes com fluxo vertical descendente não significativo
0,1 - 0,3	Baixa	Vulnerável a contaminantes conservativos em longo prazo, quando persistir seu lançamento
0,3 – 0,5	Média	Vulnerável a alguns poluentes, mas somente quando continuamente lançado
0,5 – 0,7	Alta	Vulnerável a muitos poluentes, exceto os que apresentam mobilidade e persistência muito baixa
0,7 -1,0	Extrema	Vulnerável a muitos poluentes, com rápido impacto em muitos cenários de contaminação

Fonte: Adaptado de Foster & Hirata (1988)

Para minimizar os efeitos de superestimação do método, alguns parâmetros foram ajustados. Por exemplo, dois casos particulares, de dois poços em aquíferos livres que receberiam pontuação de 1.0, porém por serem cobertos por solo argiloso, que apresenta boas propriedades de retenção de contaminantes, foi ponderado um valor de 0,8 para o grau de confinamento.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A partir dos métodos adotados, os resultados encontrados foram ordenados e discutidos em tópicos e subtópicos, na seguinte ordem: mapas elaborados com as informações do SIAGAS (informações gerais sobre os poços cadastrados, topografia da região, mapeamento e análise do nível dinâmico, nível estático e profundidade do solo), aplicação do método *GOD* e comparação dos resultados obtidos por este método com outro trabalho realizado na área com essa temática.

A organização dos resultados nessa cronologia permite um maior embasamento sobre o produto final, o mapa de vulnerabilidade à contaminação, bem como sua interpretação.

Os mapas de topografia, nível estático, nível dinâmico, e profundidade de solo foram confeccionados por meio de interpolação dos dados com interpolador *IDW*, enquanto o mapa hipsométrico foi elaborado através do tratamento de um arquivo tipo *Raster*, chamado MDE – Modelo de Elevação Digital de altitude, disponibilizado por Miranda (2005).

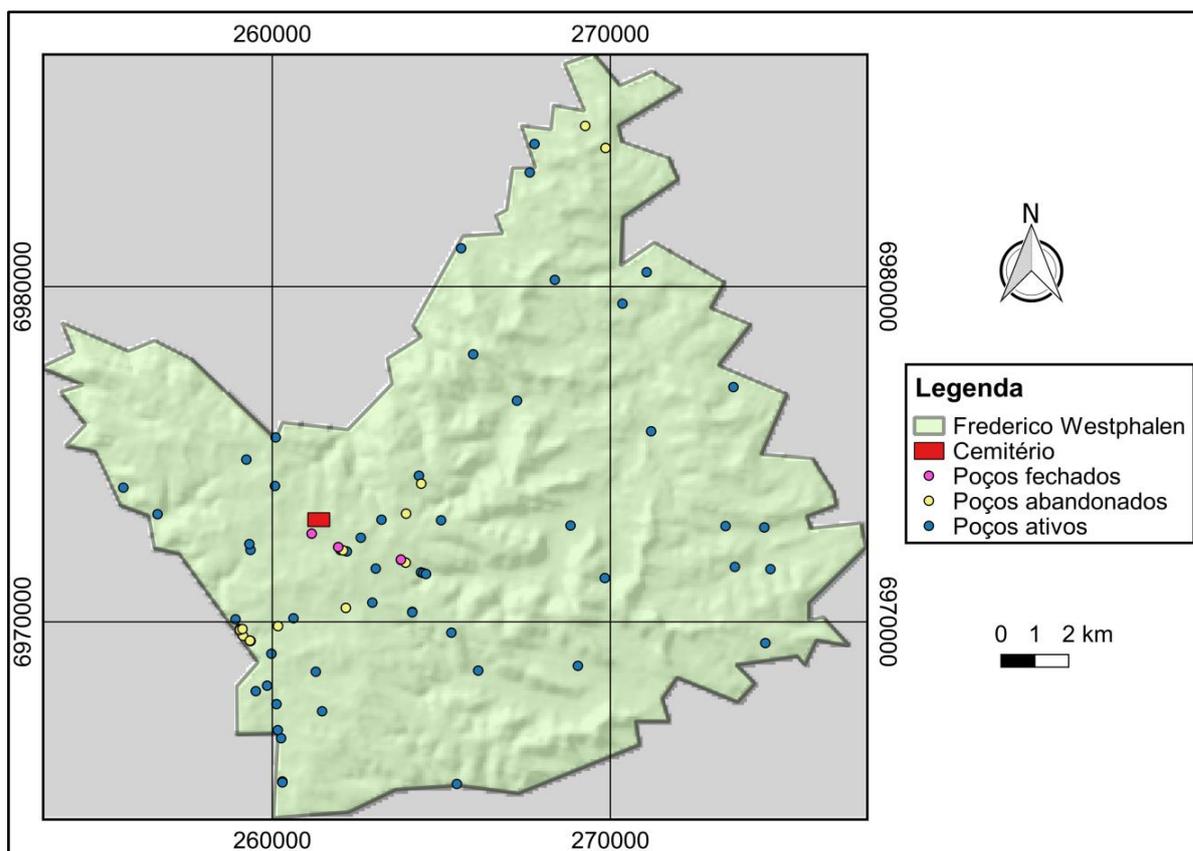
### **6.1 Resultados referentes às informações coletadas no SIAGAS**

#### **6.1.1 Informações gerais sobre os poços cadastrados no SIAGAS**

Em referência ao município de Frederico Westphalen, no banco de dados do SIAGAS, constam 72 poços tubulares registrados, que foram instalados para captação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral.

Do total de poços instalados no município, três poços foram fechados e nove poços foram abandonados/desativados. Portanto, em relação percentual, mais de 16% dos poços registrados no SIAGAS não estão em uso ativo. A localização destes poços tubulares é observada na Figura 10.

Figura 10 - Poços cadastrados no banco de dados do SIAGAS



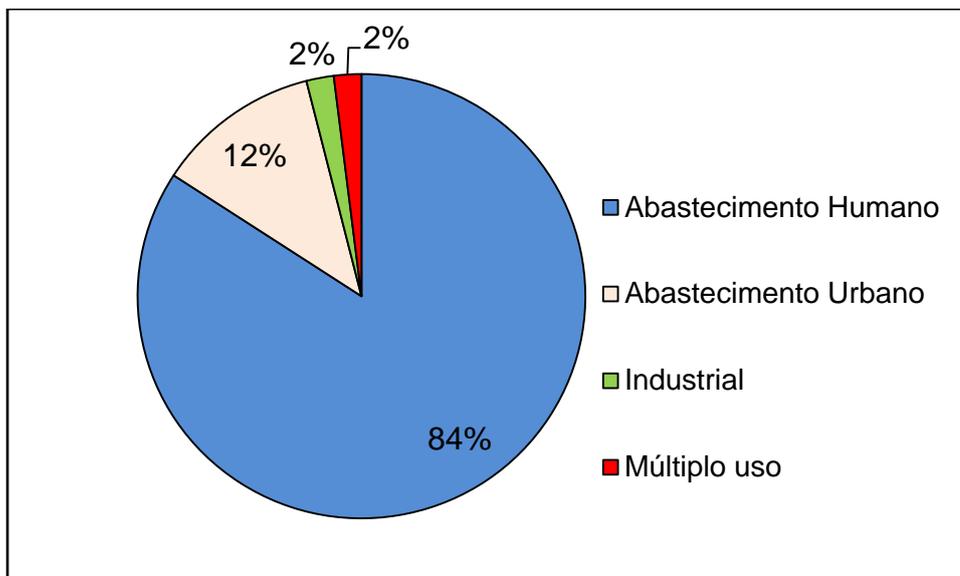
É possível observar na Figura 10, a existência de um poço fechado bem próximo à área em que o cemitério é localizado. Ainda, um pouco mais distante, é encontrado um poço abandonado e outro fechado, além de poços produtivos que se encontram praticamente na mesma distância em relação ao Cemitério Municipal. Se não foram tomadas as medidas corretas no fechamento do poço, esses locais podem ser fonte de entrada de contaminantes, que podem atingir diretamente o nível freático.

Apenas 10% dos poços possuem vazão específica maior que  $5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ , tendo um único poço com pico de vazão específica de água captada em  $22,03 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ . Vale ressaltar que o maior volume de água captada por poços tubulares é localizado na área urbana, sendo responsável pela exploração deste recurso, a empresa CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento, que distribui água tratada para região.

Do total de poços ativos (60), cerca de 12% são utilizados como fonte de abastecimento urbano, 2% para abastecimento industrial e 2% para usos múltiplos,

sendo que a maioria das águas subterrâneas captadas são destinadas para abastecimento humano (cerca de 84%) (Figura 11).

Figura 11 - Uso das águas subterrâneas em Frederico Westphalen, segundo dados dos poços cadastrados no SIAGAS



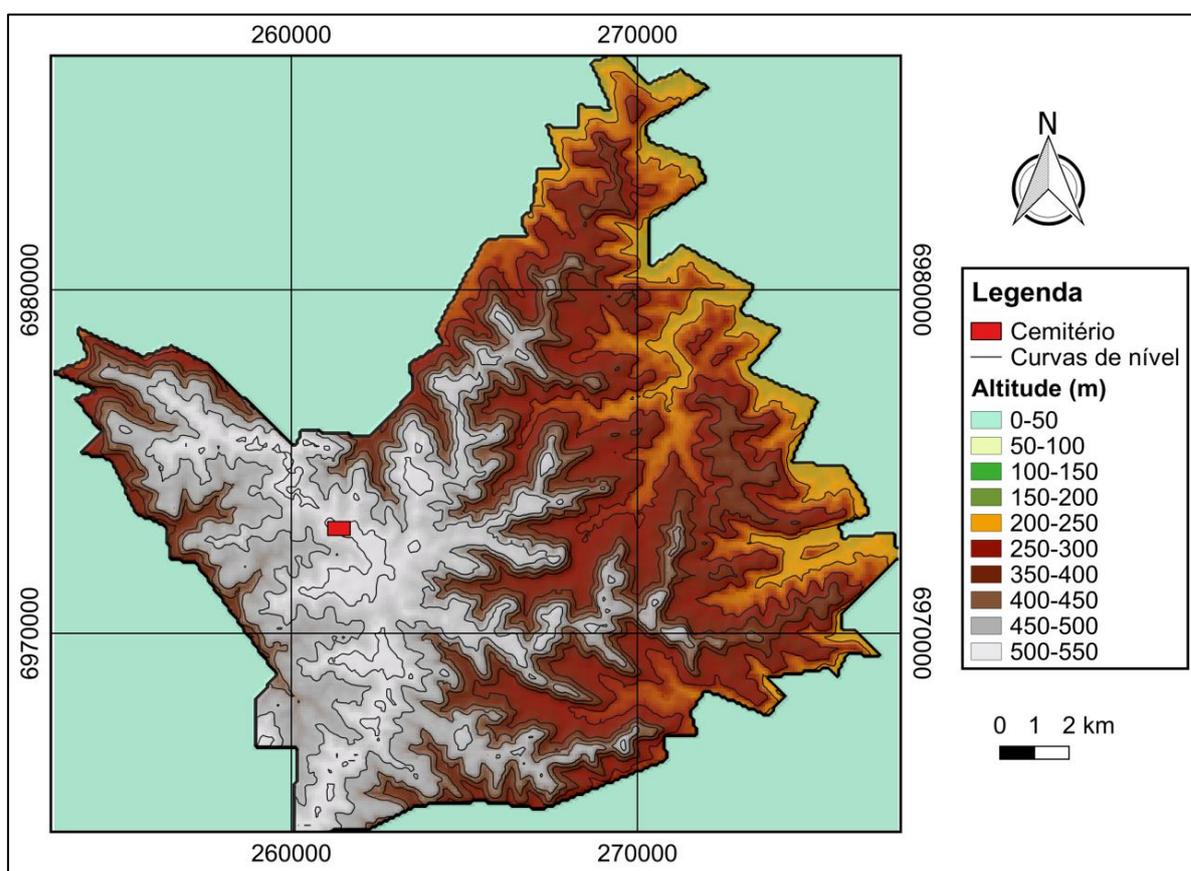
Na área estudada, segundo Hausman (1995), o índice pluviométrico anual varia em torno de 2000 mm. A partir desse dado, Borba *et al.* (2016) estimou a recarga média anual do aquífero em 125 mm, representando uma taxa de 6,5% do total de água precipitada na bacia. Desse modo, é possível considerar que o aquífero possui boa capacidade de armazenar e transmitir água. Sendo que esta apresenta, em alguns casos, qualidade fora dos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde, através da Portaria 2.914/2011, como explícito no trabalho de Mancuso *et al.* (2013), que encontrou altos níveis de flúor na água da região.

Vale ressaltar que o banco de dados do SIAGAS, não possui informações completas referentes às análises físico-químicas e microbiológicas da água para gerar um diagnóstico geral por poço registrado no sistema.

### **6.1.2 Análise do relevo - Modelo Digital de Elevação do terreno**

De acordo com Cunha *et al.* (2011) o relevo de Frederico Westphalen (Figura 12) se divide da seguinte forma:

Figura 12 – Modelo Digital de Elevação do terreno do município de Frederico Westphalen



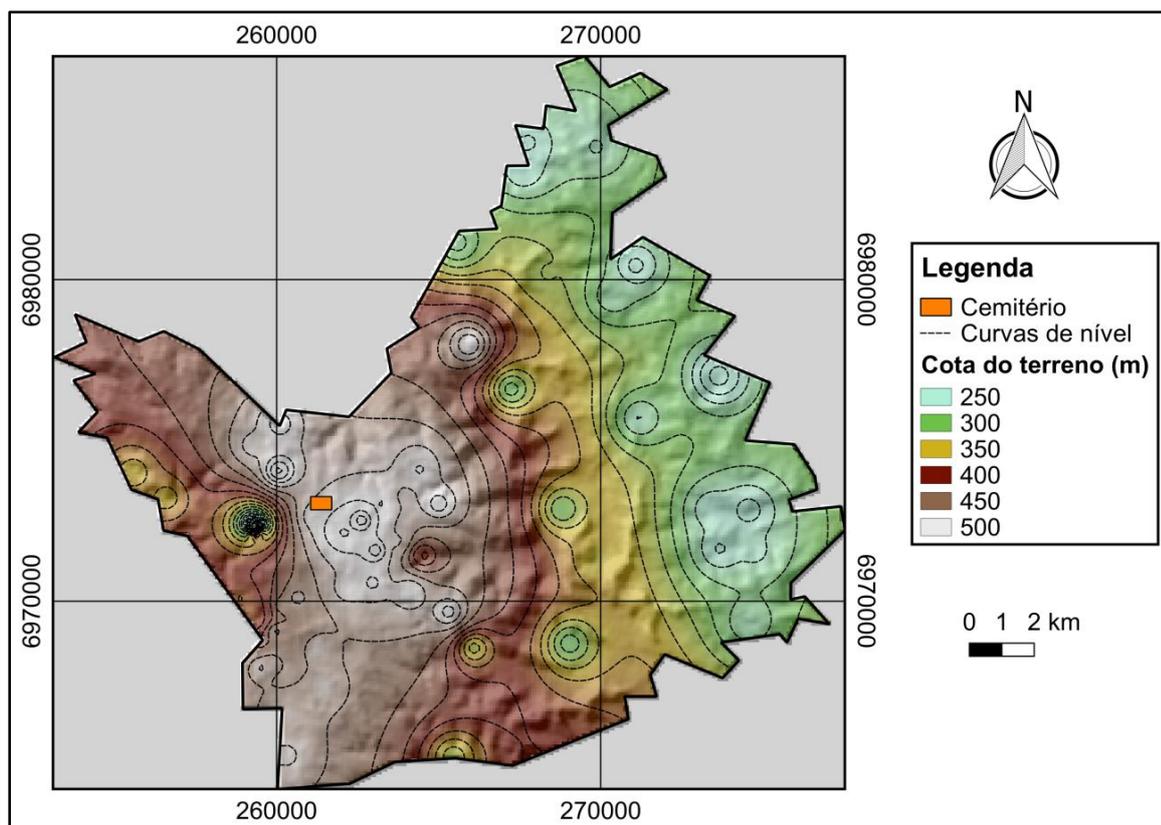
Fonte: Modificado de Miranda (2005)

- **Chapadas:** que foram modeladas pelas forças intempéricas, cobrem uma área de 55,37km<sup>2</sup>, representando 20,87% da área municipal total;
- **Espigões rochosos:** são platôs estreitos, íngremes e rochosos (com solo neolítico – raso), que se estendem em direção ao Uruguai e abrangem uma área de 19,06 km<sup>2</sup> (7,19%);
- **Espigões degradados:** que são pequenas superfícies elevadas nas extremidades dos espigões que passaram por processo de intemperismo e erosão, compreendem a 67,87 km<sup>2</sup> e representam 25,62% da geomorfologia;
- **Serras:** são formadas por superfícies íngremes, com relevo marcante rochoso, fortemente escarpado que se alterna entre os espigões rochosos elevados, com completa desagregação;

- **Vales:** compreendem uma porção de 22,48 km<sup>2</sup> de relevo plano com terras e platôs aplainados e correspondem a cerca de 8,49% da área.

O relevo da área do Cemitério Municipal e seu entorno possui altitudes que oscilam em torno de 500 e 550 metros (Figura 12), sendo considerado, relativamente plano. É perceptível que a área do cemitério se situa na porção mais elevada do relevo. As cotas decaem substancialmente à medida que se aproximam do limite leste do município, alcançando uma diferença relativa entre o ponto mais alto (550m) e o mais baixo do relevo (250m) de aproximadamente 300 metros. Baseado nesses dados o relevo do município em questão é classificado como declivoso.

Figura 13 - Mapa de topográfico plotado com interpolador Inverso do Quadrado da Distância



A superfície do terreno é mais bem representada pelas curvas de nível expressas na Figura 13, sendo o espaçamento entre as curvas com intervalo de 20 metros entre uma e outra.

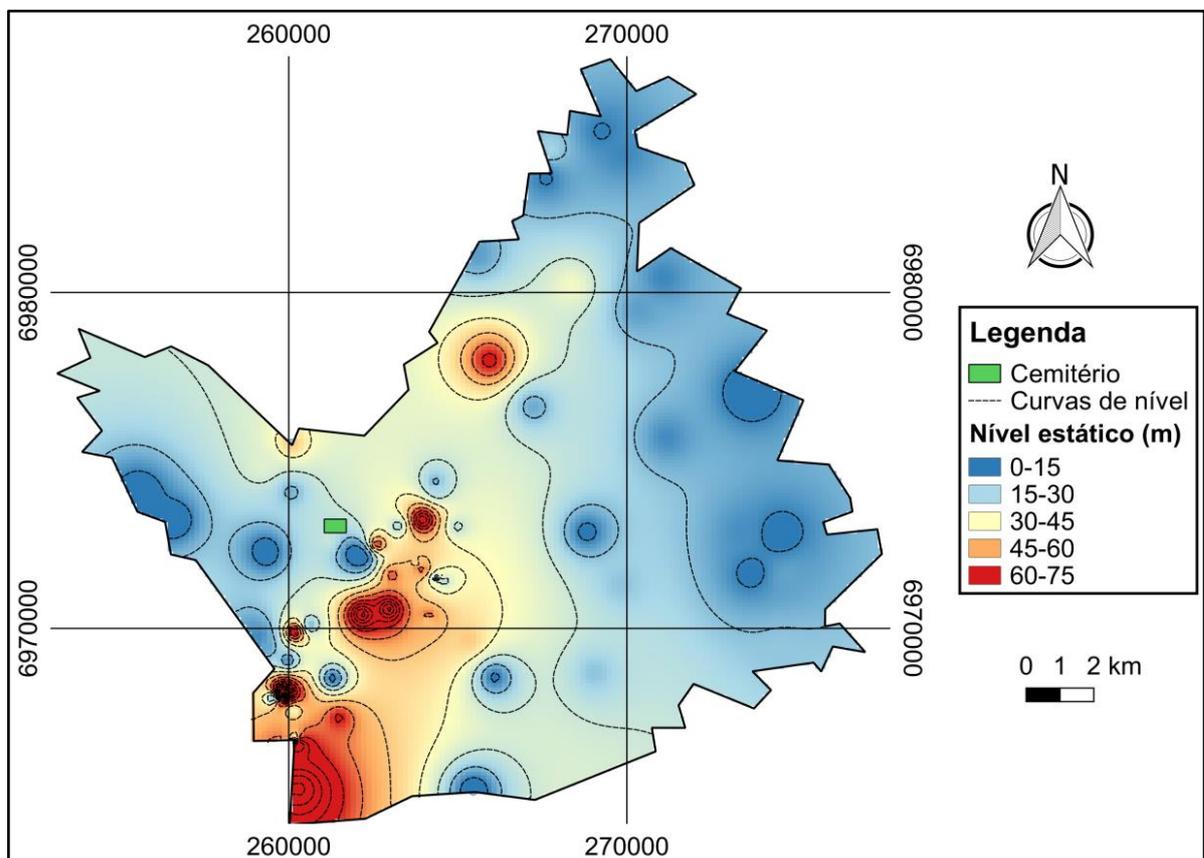
A declividade é uma propriedade que implica na forma de uso e ocupação do solo, pois expressa o risco de erosão, movimentação do solo e define se determinado local é capaz de comportar grandes obras de engenharia (edificações prediais e rodovias).

Ainda, esta propriedade influi na capacidade de retenção de contaminantes, ao passo que declives mais acentuados possuem maior taxa de escoamento superficial e menor taxa de recarga do aquífero.

Quanto menor for a taxa de recarga do aquífero, menor será a dissolução dos contaminantes e menor será sua capacidade de dispersão em subsuperfície, dificultando ou retardando que fontes de potenciais de contaminação possa atingir os reservatórios subterrâneos. Por outro, áreas com baixa declividade, praticamente planas, tendem a ter baixo escoamento e a maior taxa de água das chuvas, infiltra e percola pelo subsolo, levando consigo as cargas poluentes presentes em níveis mais próximos à superfície do terreno (Veríssimo, 2010).

### 6.1.3 Mapeamento e análise do nível estático

Figura 14 - Mapeamento do nível estático do aquífero presente na região estudada



O nível estático é determinado pelo nível de equilíbrio da água dos poços quando não estão sob influência de bombeamento. Dessa forma, a coleta e o tratamento dos dados disponíveis no SIAGAS permitiu traçar a posição do nível estático referente ao Sistema Aquífero Serra Geral na região de Frederico Westphalen.

Na Figura 14, é possível identificar uma maior concentração de níveis estáticos mais profundos na região sudoeste e centro-oeste do município. Estas regiões são caracterizadas por altos topográficos, em que as cotas variam entre 400 e 550 metros, conforme foi mostrado na Figura 12 e 13.

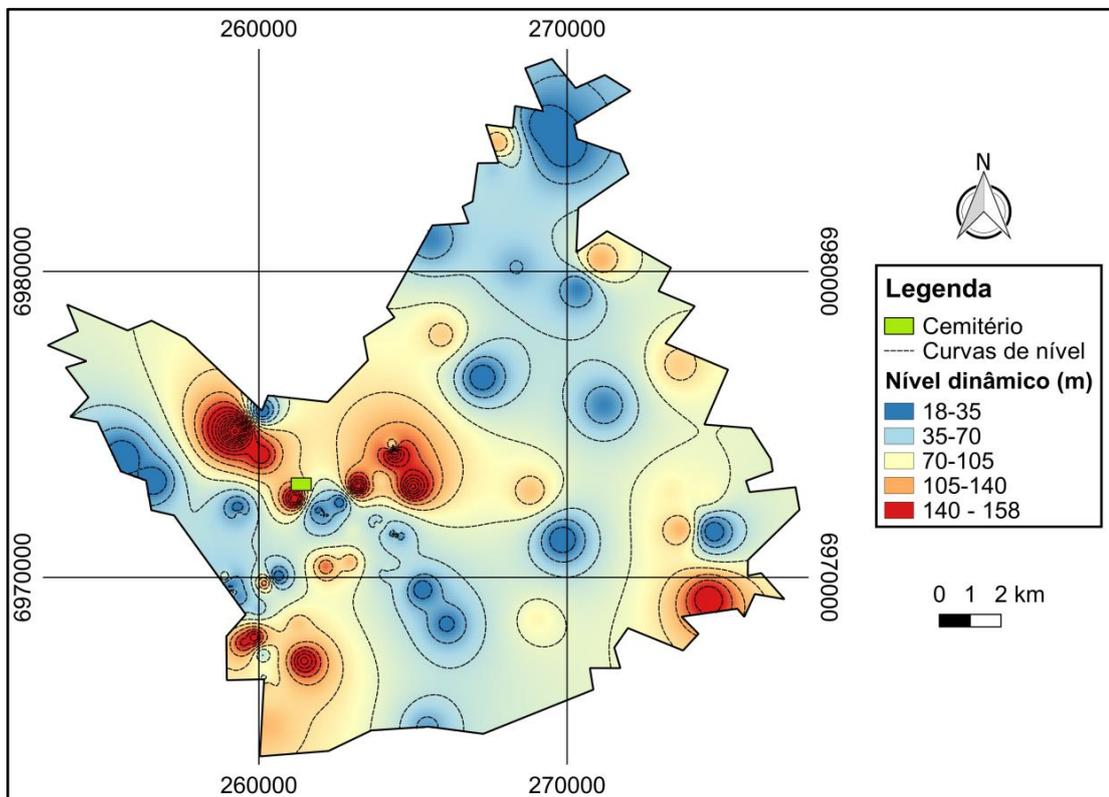
É evidente a relação de que nas cotas de nível estático menores, representadas principalmente nos limites leste e nordeste de Frederico Westphalen, a profundidade do nível estático decaiu bastante atingindo um mínimo entre 0 e 15 metros, salientando uma maior proximidade do aquífero com a superfície do terreno e maior susceptibilidade à contaminação, uma vez que os contaminantes tendem a atingir mais facilmente o nível freático. Tal fato é comprovado nos trabalhos de Rodrigues & Pacheco (2010), o qual salienta que a contaminação das águas subterrâneas é mais evidente em locais que apresentam nível raso e aflorante. Porém, outra possibilidade deve ser considerada, que somente o monitoramento na boca dos poços pode afirmar se esses poços de cotas mais baixas são susceptíveis à contaminação ou apresentam surgência de águas subterrâneas, e dessa forma, descartando a vulnerabilidade desses poços.

Próximo ao Cemitério Municipal foi encontrado pontos em que o nível estático do aquífero se localiza muito próximo à superfície. Nesse caso, se não foram consideradas as medidas de proteção durante a instalação do cemitério, estabelecidas pelo licenciamento ambiental, este empreendimento pode liberar resíduos/necrochorume para o solo. Sendo que este contaminante pode facilmente alcançar o nível estático do Sistema Aquífero Serra Geral, uma vez que seus constituintes possuem elevada mobilidade em contato com água e as plumas de contaminação podem percorrer distâncias quilométricas (FINEZA, 2008). Ainda, Rodrigues & Pacheco (2010) ressaltam que os cemitérios instalados em ambientes com rochas fraturadas, como é o caso desse empreendimento, apresentam maiores potenciais de contaminação ao meio físico.

### 6.1.4 Mapeamento e análise do nível dinâmico

O nível dinâmico é caracterizado pela diferença de altura entre o nível da água do poço, e o nível estático, quando o poço estiver sendo bombeado. Este parâmetro é relacionado com a vazão de água subterrânea captada e do tempo decorrido desde o início do bombeamento.

Figura 15 – Mapeamento de nível dinâmico do Sistema Aquífero Serra Geral em Frederico Westphalen



Na Figura 15, é destacado o mapeamento do nível dinâmico do Sistema Aquífero Serra Geral, na área de estudo. Onde o índice de variação do nível dinâmico compreende valores de 18 a 158 metros de profundidade. Nesta figura é possível identificar que os pontos que apresentam níveis dinâmicos mais elevados são localizados na região centro-oeste, noroeste, sudoeste e sudeste do município de Frederico Westphalen.

Especificamente na parte sudoeste há um ponto que apresenta alto valor do nível dinâmico, provavelmente relacionado às atividades de agricultura, suinocultura e pecuária, que apresentam relevante importância econômica para o município (IBGE, 2010).

A maioria das regiões do município que apresenta alto índice de nível dinâmico é caracterizada com alto topográfico e são situadas em locais próximo à área urbana. Nesse sentido, a concentração de pontos ao redor da zona urbana retrata que devido à aglomeração populacional na área, uma maior vazão das águas subterrâneas é captada para abastecimento doméstico, urbano, industrial e para usos múltiplos. Esta hipótese é comprovada pelas informações do IBGE (2010), que aponta que 80,9% da população residem zona urbana, e apenas, 19,1%, na zona rural.

Outra questão levantada é a presença de pontos com elevado índice de nível dinâmico próximo à área do Cemitério Municipal, salientando a captação e uso de água subterrânea nesses locais. Caso a água entre em contato com os resíduos do cemitério, bem como outras atividades potenciais de poluição, pode causar danos ao meio ambiente e a saúde pública. Silva & Malagutti Filho (2008) ainda ressaltam que as más condições das sepulturas podem facilitar este contato, ao passo que a água infiltrada pelas rachaduras causa o abatimento do solo e lixivia o necrochorume para o aquífero.

Dessa forma é possível analisar a zona de influência da superfície abrangida pela exploração de um poço, ao ponto que quanto maior for a vazão de captação maior será o nível dinâmico.

### **6.1.5 Mapeamento e análise da profundidade do solo**

O mapeamento da profundidade do solo é um fator importante a ser considerado para avaliação de vulnerabilidade de um aquífero, pois expressa suas propriedades hidráulicas, bem como sua capacidade de atenuação dos contaminantes.

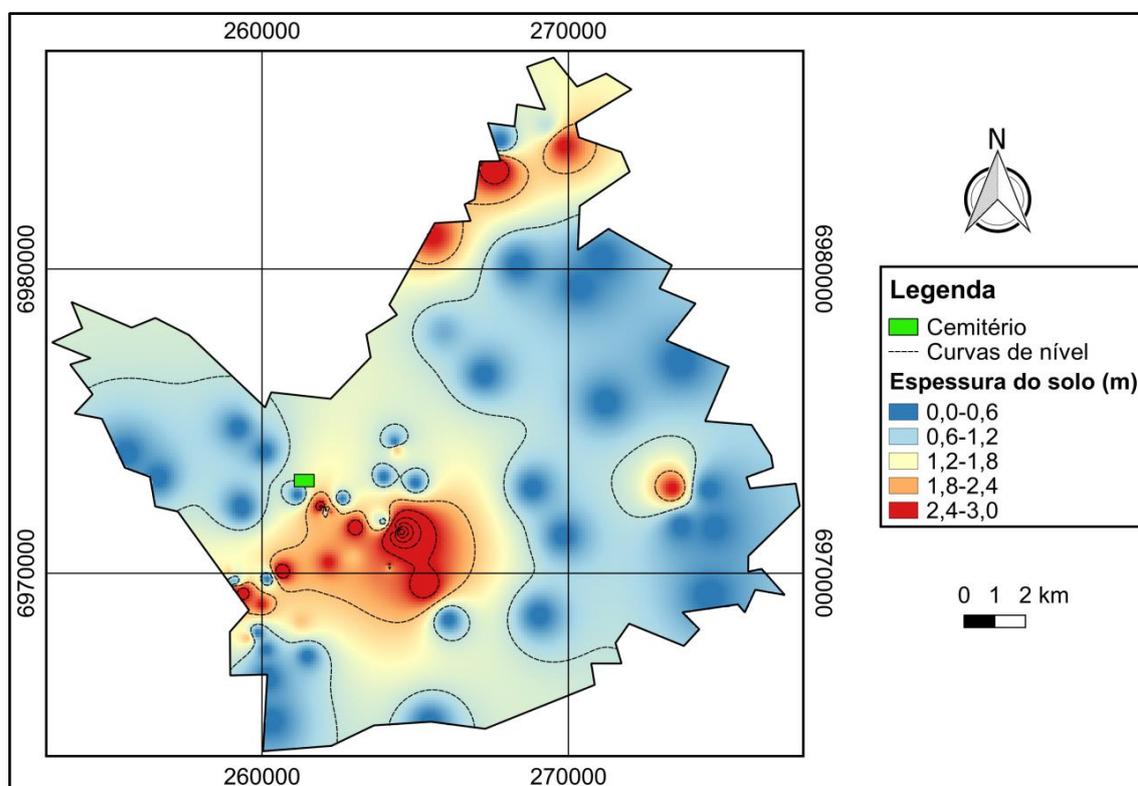
Segundo a FEPAM (2003) e Santos *et al.* (2006), as condições de armazenamento e circulação das águas subterrâneas no Sistema Aquífero Serra Geral se dá de duas formas, através do nível horizontal no solo alterado e nas discontinuidades das rochas basálticas, que formam o embasamento geológico da região.

Proveniente do intemperismo e erosão das rochas vulcânicas basálticas, o solo é formado por um meio poroso, relativamente homogêneo, com camadas de baixa espessura. Baseado nessas condições, geralmente, a recarga do aquífero

ocorre diretamente pelas águas pluviais, que se infiltram e percolam o meio, resultando em um ambiente que apresenta maior susceptibilidade à contaminação do corpos hídricos subsuperficiais (CELLIGOI & VIANNA, 2002).

Conforme apresentado na Figura 16, a profundidade do solo varia de poucos centímetros a 3 metros na região. Essas características são definidas pelo relevo acentuado, onde nas zonas mais planas, como o planalto em que está situado o Cemitério Municipal e a zona urbana da cidade de Frederico Westphalen, são encontrados solos com espessura de aproximadamente 3 metros.

Figura 16 – Mapeamento da profundidade do solo



Em outros pontos situados a nordeste e a sudeste, o terreno também apresenta solo com profundidade aproximada de 3 metros, provavelmente relacionada às bacias de deposição de materiais consolidados e não consolidados transportados das zonas mais altas, para as zonas mais baixas.

Principalmente a leste do Cemitério Municipal, é encontrado um solo relativamente raso, categorizado pela EMBRAPA (1999) como NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico. Esta classe pedológica apresenta dificuldade de penetração das raízes de espécies vegetais de grande porte. É um solo que pode se apresentar

com baixa ou elevada fertilidade e se localizado em regiões com baixa declividade favorece o acesso de contaminantes no aquífero, pelo solo e pelas fraturas das rochas.

Especificamente nas partes com maior contraste de declividade topográfica, há maior escoamento das águas pluviais e menor recarga do aquífero, diminuindo a possibilidade de um contaminante chegar até o aquífero. Porém, em áreas mais planas, como o planalto em que se localiza o Cemitério Municipal e área urbana, (local que apresenta outras fontes potenciais de contaminação, como por exemplo, os postos de combustíveis e lagoas de tratamento de efluentes) apesar de o solo apresentar maior espessura em comparação com outros pontos, são as regiões que se encontram mais suscetíveis à contaminação.

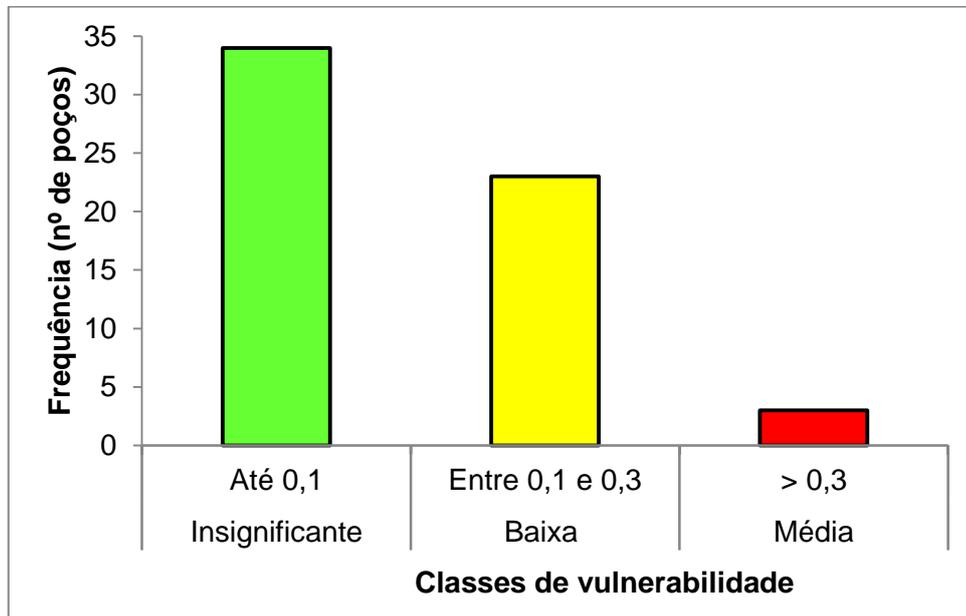
De acordo com Kemerich *et al.* (2010), determinados tipos de solo, devido às suas características intrínsecas conseguem reduzir compostos complexos em simples e assim amenizar o potencial da carga poluidora. Porém, na região de forma geral, o solo é pouco espesso e possui baixa capacidade de redução de compostos, permitindo a percolação de contaminantes para as águas subterrâneas, que segundo Manuel Filho *et al.* (2008), apresentam baixa velocidade de circulação e retardam a percepção clara de uma contaminação.

## **6.2 Classificação de vulnerabilidade à contaminação: Método GOD**

Para estimativa do índice de vulnerabilidade pela aplicação do método *GOD* do total de poços tubulares cadastrados (72) no banco de dados do SIAGAS foram descartados 12 poços, que não continham informações que possibilitassem a sua classificação com este método, sendo estes, os poços fechados e abandonados. Portanto, nesse estudo foram considerados 60 poços.

A partir da definição dos valores de cada atributo foi calculado o produto entre os mesmos, gerando um índice final que correspondeu a uma classe de vulnerabilidade. A distribuição de frequência dos poços considerados e sua referente classe de susceptibilidade à contaminação são apresentadas na Figura 17, onde as cores das barras do gráfico fazem correspondência às cores selecionadas na confecção do mapa de vulnerabilidade final.

Figura 17 - Gráfico de frequência dos poços considerados para aplicação do método GOD e sua classificação de vulnerabilidade



Conforme apresentado na Figura 17, a maioria dos poços (34) cadastrados no SIAGAS se enquadra na classe de vulnerabilidade insignificante, correspondendo a um percentual de 55,6%. Enquanto a classe baixa vulnerabilidade (23 poços) apresentou índice de 38,3% e a classe de média vulnerabilidade, com 3 poços, correspondeu a 6,1% da amostra total do número de poços.

Os 60 poços georreferenciados foram espacializados no programa *QGis* interpolados com o método *IDW*. Foi aplicado um fator de valor 6 ao coeficiente para distância entre pontos para interpolação, que era o mais indicado por Mano (2011). O *Raster* de saída é mostrado na Figura 18, em escala de cinza. E na Figura 19 é mostrado a renderização de cores, através do artifício chamado de Banda Simples Falsa-Cor.

Figura 18 - Interpolação dos dados referentes à vulnerabilidade atribuída aos poços investigados

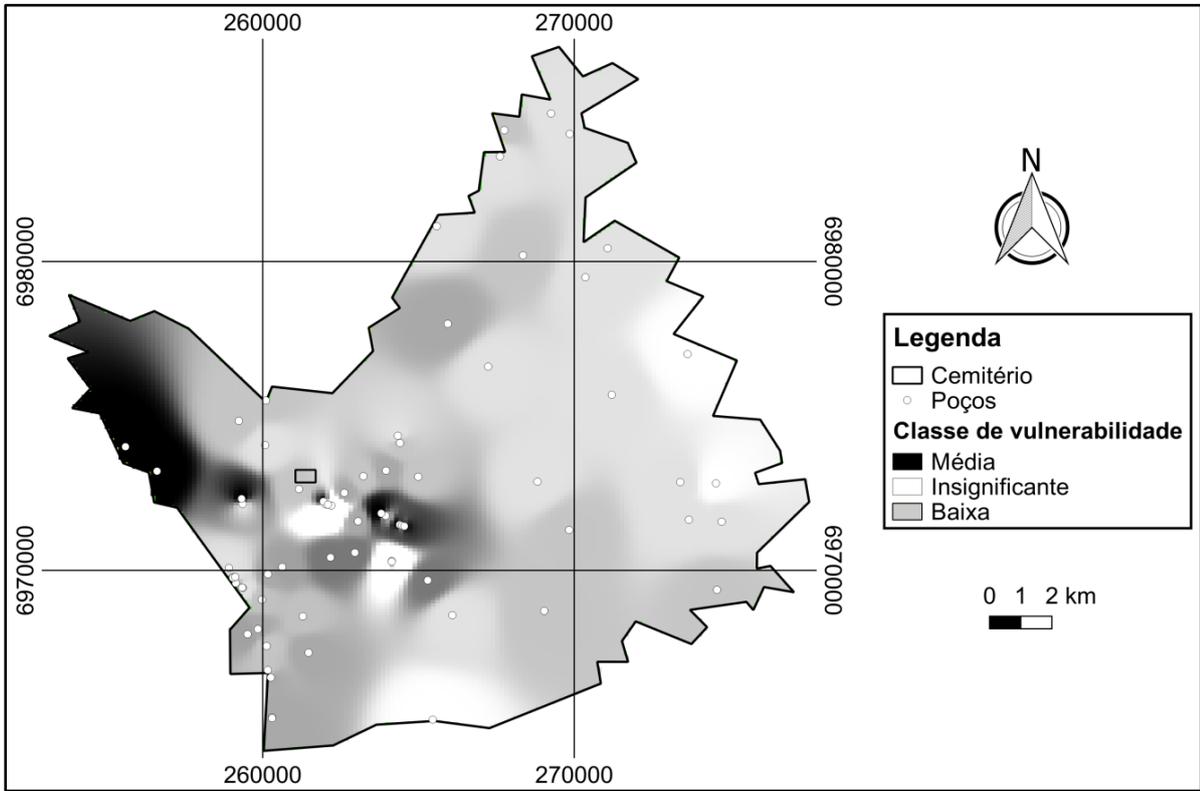
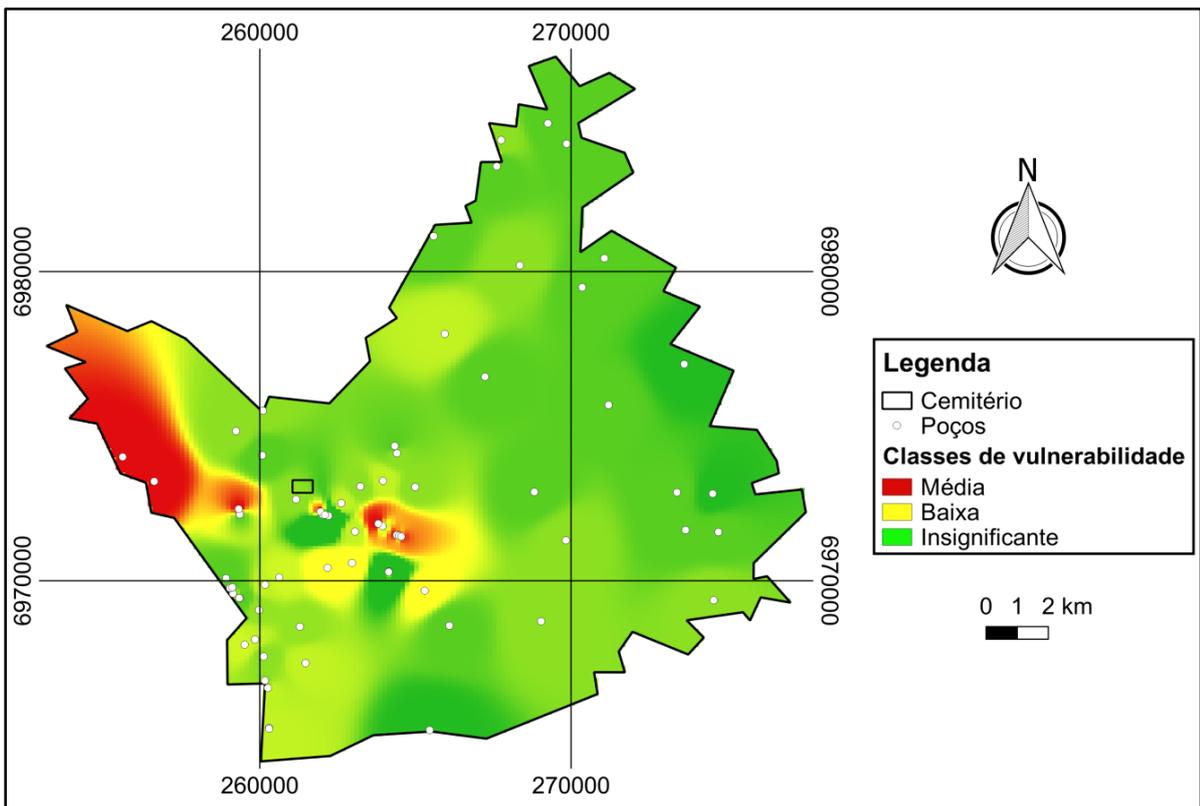
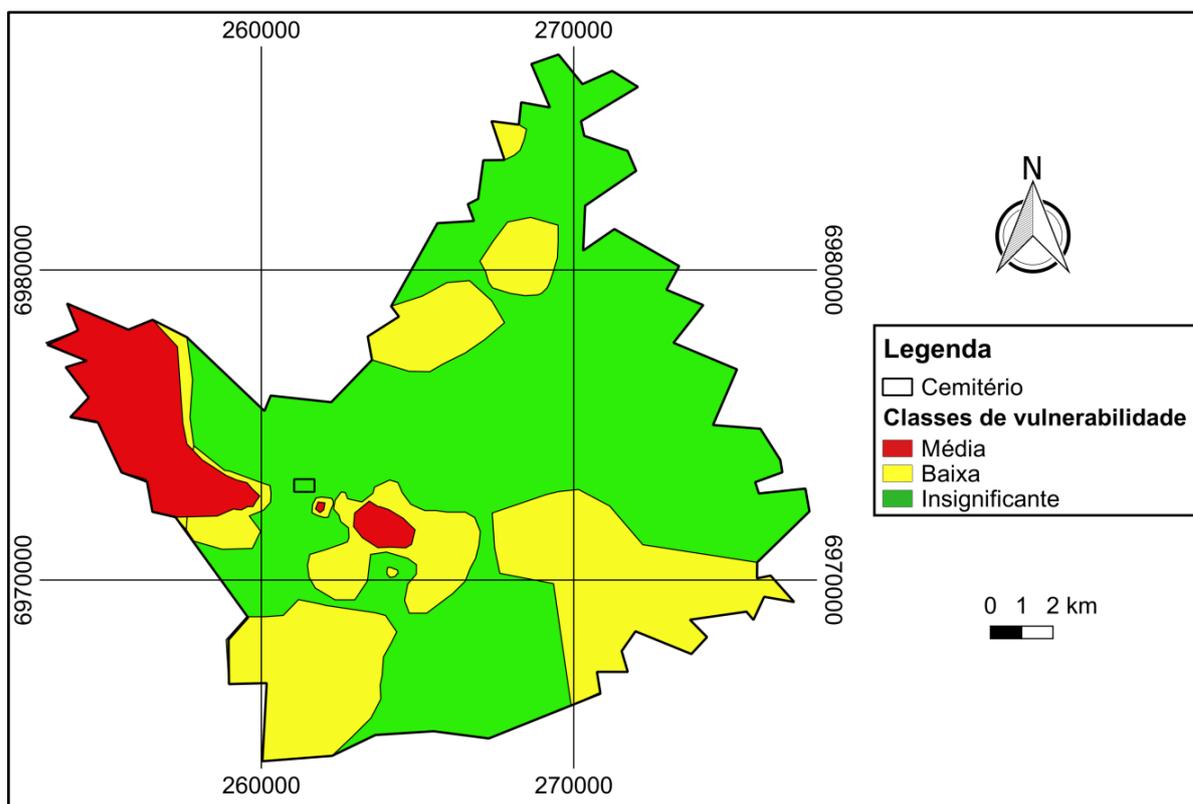


Figura 19 – Renderização de cores do Raster com Banda Simples Falsa-Cor



A partir da renderização de cores (Figura 19) foi gerado um modelo inicial (Figura 20) que representa a vulnerabilidade da região de acordo com a aplicação do método *GOD*.

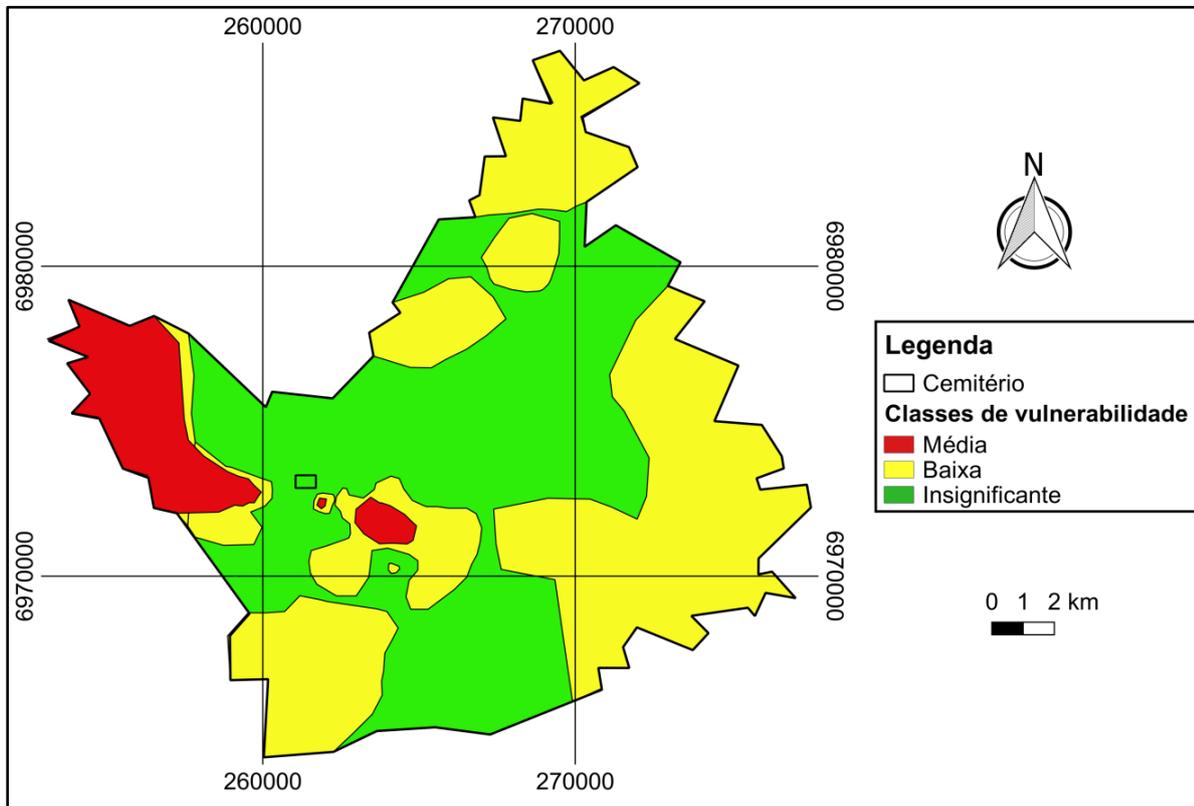
Figura 20 - Modelo inicial de vulnerabilidade à contaminação no município de Frederico Westphalen



Este modelo destaca que a vulnerabilidade média é encontrada em áreas próximas ao Cemitério Municipal e principalmente na área urbana e na porção noroeste do município. Porém, este modelo inicial não contempla o estudo detalhado de outras variáveis interpretadas anteriormente, sendo necessária a incorporação de outros parâmetros.

Baseado na análise e discussão das características dos poços, sua localização, topografia, nível estático e nível dinâmico do aquífero, espessura do solo e atividades antrópicas desenvolvidas na região, foi desenvolvido um modelo final (Figura 21) de vulnerabilidade natural à contaminação no município de Frederico Westphalen, que abrange todas as características destacadas nesse estudo.

Figura 21 - Modelo final de vulnerabilidade à contaminação do município de Frederico Westphalen, proposto por este trabalho

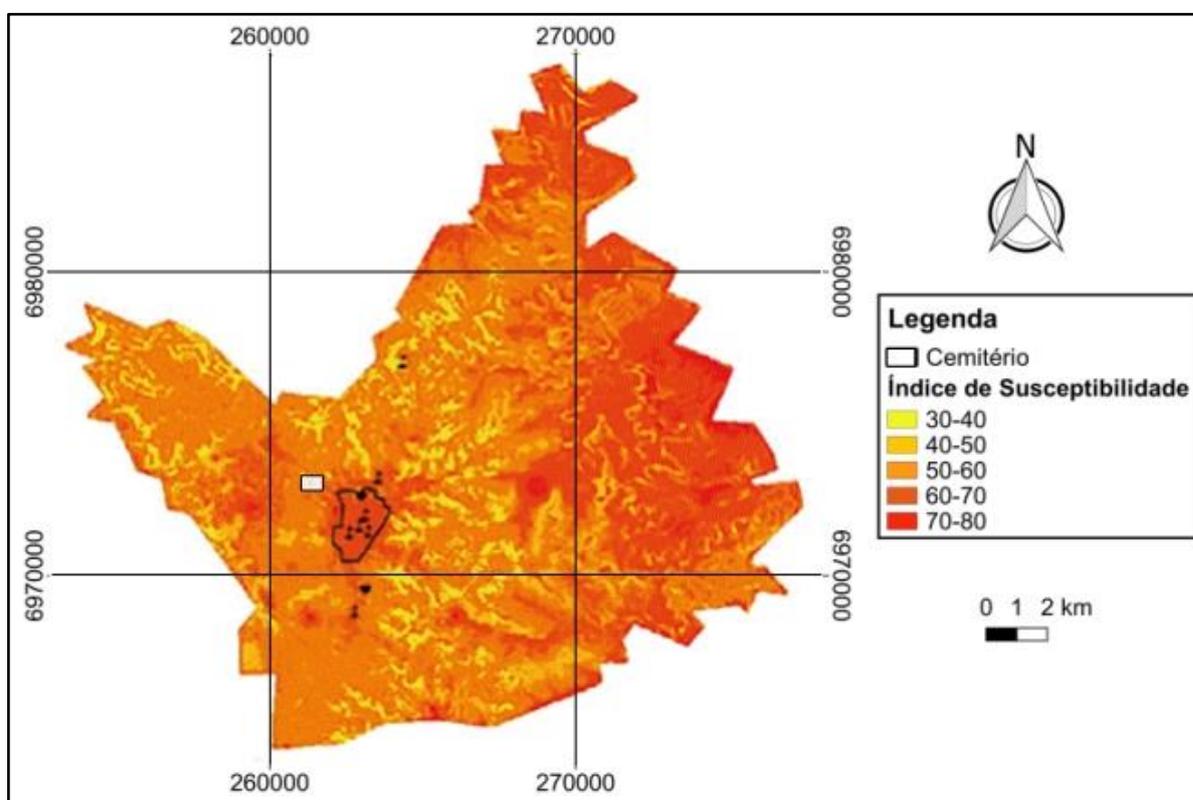


No modelo final foram acrescentadas duas áreas, uma na região leste e outra na região nordeste, considerando que nessas partes do território municipal se concentram as cotas mais baixas da topografia, sendo um local propício para receber as cargas contaminantes, transportadas pelas águas pluviais, das superfícies mais elevadas.

As porções adicionadas apresentam nível estático pouco profundo (entre 0 e 15 metros) e solo, predominantemente raso (com espessura de poucos centímetros e em alguns locais podendo chegar a até 3 metros) configurando assim, um local que apresenta no mínimo baixa susceptibilidade natural à contaminação. Ainda, o nível dinâmico nesses locais varia de raso a profundo, evidenciando grande exploração de água, salientando a necessidade de implantação de medidas de proteção, controle e monitoramento das águas subterrâneas nessas regiões.

A ampliação das duas regiões expressas na Figura 21 é totalmente justificável através do Índice de Susceptibilidade desenvolvido por Borba *et al.* (2016), conforme ilustrado na Figura 22.

Figura 22 - Índice de Susceptibilidade de Frederico Westphalen, segundo Borba *et al.* (2016).



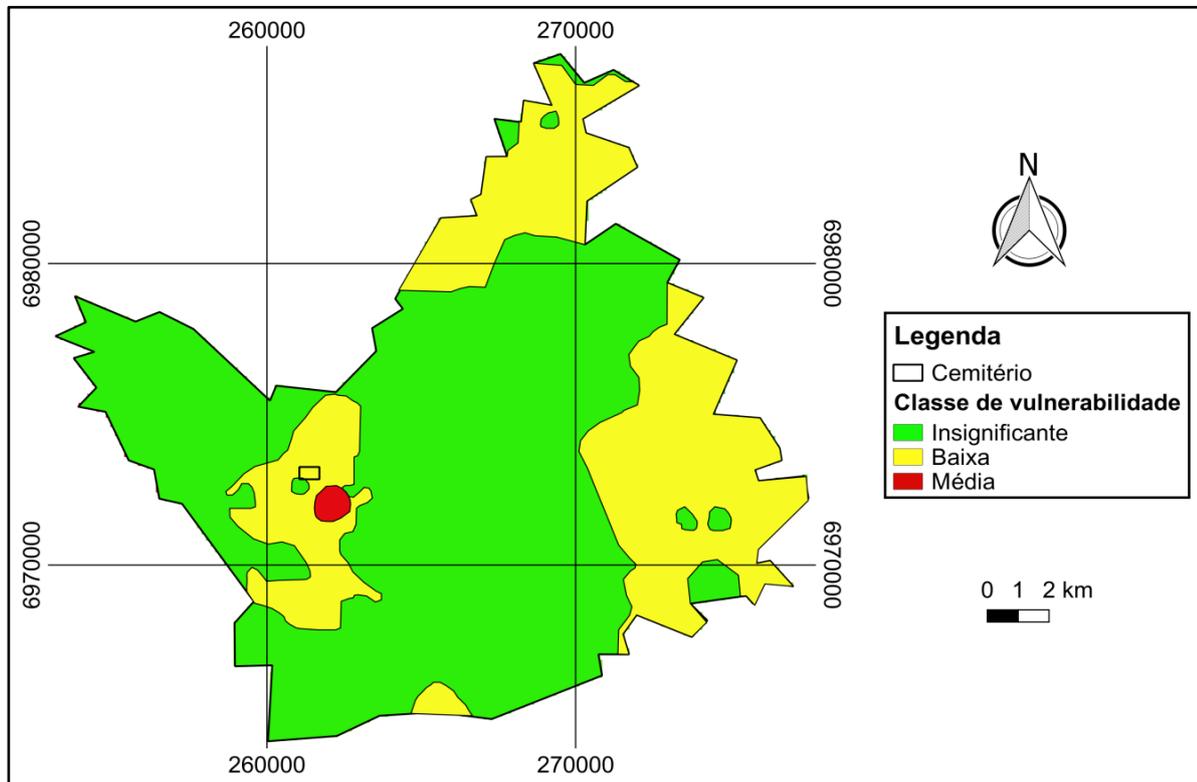
Fonte: Adaptado de Borba *et al.* (2016)

As áreas adicionadas no modelo final apresentam índice de susceptibilidade entre 60 a 80, sendo consideradas com alta susceptibilidade à contaminação e são alusivas a áreas de intensa atividade agrícola, segundo o mesmo autor. A Figura 21 ainda destaca (em preto) as principais fontes potenciais de contaminação presentes na área urbana municipal, com destaque para os cemitérios, postos de combustíveis e lagoas de tratamento de efluentes que estão distribuídos em classes de susceptibilidade à contaminação de moderada a alta.

### 6.3 Comparação entre o mapa de vulnerabilidade proposto por este trabalho e a pesquisa de Borba *et al.* (2015)

Para comparação entre o modelo proposto por este trabalho e o modelo desenvolvido por Borba *et al.* (2015) foi reprojeto o mapa de vulnerabilidade do autor (Figura 23), do *Datum SAD 69* para o *Datum SIRGAS 2000* com a mesma rampa de cores, para melhor visualização e posteriores interpretações.

Figura 23 - Mapa de vulnerabilidade de Frederico Westphalen, segundo Borba *et al.* (2015)



Fonte: Adaptado de Borba *et al.* (2015).

Entre os modelos foram notadas algumas semelhanças, entre as quais:

- Foi utilizado o mesmo interpolador geoespacial (*IDW*);
- A maior parte da área do município se enquadra na classificação de vulnerabilidade insignificante e baixa;
- Há uma região de vulnerabilidade média na área urbana do município;
- Foi destacada vulnerabilidade baixa no extremo leste e extremo nordeste;
- Os dois modelos não classificam a área do cemitério e seu entorno com uma classe de vulnerabilidade significativa (média, alta ou extrema).

Porém, entre os dois trabalhos há discordâncias de interpretação em alguns pontos, tais como:

- De acordo com a Tabela 3, a área total com classificação de vulnerabilidade baixa proposta por este trabalho representa 40,42% (106,7 km<sup>2</sup>) da área total (264 km<sup>2</sup>), em contrapartida, o trabalho adotado como referência considerou uma área menor, com 34,56% (85,95 km<sup>2</sup>) da área total;
- A área destacada com classe vulnerabilidade média por este estudo corresponde a 6,91% (18,24 km<sup>2</sup>) da área total, enquanto o outro trabalho destacou 0,37% (0,99 km<sup>2</sup>) (Tabela 3);
- A região demarcada com classificação insignificante foi de 52,67% (139,06 km<sup>2</sup>) relativamente menor quando comparado com o outro trabalho, que destacou nessa classe, 65,07% (177,06 km<sup>2</sup>) da área total (Tabela 3);
- À sudoeste, resultados destacaram uma região com vulnerabilidade baixa, enquanto o outro estudo classificou como insignificante;
- À noroeste, o modelo de Borba *et al.* (2015) classificou a região com vulnerabilidade insignificante e este trabalho como baixa e média.

Tabela 1 - Comparação do tamanho da área e o grau de significância à vulnerabilidade encontrado pelo modelo proposto e pela pesquisa de Borba *et al.* (2015)

<b>Vulnerabilidade</b>	<b>Borba et al. (2015)</b>		<b>Trabalho atual</b>	
	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Insignificante	177,06	65,07	139,06	52,67
Baixa	85,95	34,56	106,7	40,42
Média	0,99	0,37	18,24	6,91
<b>Total</b>	<b>264</b>	<b>100</b>	<b>264</b>	<b>100</b>

Vários são os fatores que explicam essa disparidade de interpretação entre os trabalhos, tais como:

- Apesar de ter sido utilizado o mesmo interpolador geoespacial (*IDW*) o trabalho de Borba *et al.* (2015) não definiu qual a configuração de interpolação utilizada, enquanto este estudo utilizou um coeficiente de

valor 6 para distância entre pontos para interpolação, que era o mais indicado por Mano (2011);

- Devido à falta de informação de alguns poços cadastrados pelo SIAGAS, este trabalho utilizou apenas 60 poços, que se localizam dentro da área municipal e que apresentam informações sobre suas características. Em contrapartida, Borba *et al.* (2015) utilizou 54 pontos localizados na área de estudo e dados de mais 21 poços dos municípios vizinhos. A diferença de localização dos pontos e do tamanho da amostra interfere no processo de interpolação dos dados e gera modelos com resultados distintos;
- Para espacialização e interpolação dos dados, este trabalho utilizou o programa *Quantum GIS 2.14 Essen* e o *Datum SIRGAS 2000*, enquanto o outro trabalho fez uso do *ArcGis 10.0* e do *Datum SAD 69*. Os programas utilizados possuem variações de configurações, que provavelmente não foram as mesmas utilizadas pelos trabalhos;
- Os dados disponíveis na Plataforma SIAGAS foram atualizados recentemente, o que provavelmente resultou no uso de diferentes informações pelas pesquisas;
- O banco de dados do SIAGAS apresenta algumas informações que são possíveis de ambiguidade na interpretação;

Na escolha por um modelo final a ser utilizado para tomada de medidas preventivas à proteção ambiental, especificamente em relação aos recursos hídricos subterrâneos, o modelo desenvolvido pode ser utilizado em referência a complementar o outro trabalho desenvolvido, pois destacou classes de vulnerabilidade mais preocupantes e quando se tem um controle da pior situação, as demais situações são asseguradas.

É necessário um estudo mais detalhado para corroborar os dados encontrados neste trabalho e com a comprovação dos resultados, é possível direcionar a aplicação de outros métodos para investigação de fontes potenciais de contaminação, principalmente na área urbana e no cemitério que apresentam características potenciais para evolução de plumas de contaminação também destacados pelo Índice de Susceptibilidade, segundo Borba *et al.* (2016) na Figura 21.

Sendo assim, se faz necessária a realização de outros estudos locais e regionais para corroborar os resultados encontrados e dessa forma possibilitar a definição entre os modelos existentes, sobre qual retrata melhor a situação do município de Frederico Westphalen, fornecendo subsídios que auxiliam os órgãos gestores municipais no gerenciamento do uso e ocupação do solo, bem como da preservação dos recursos hídricos. Vale lembrar que estudos de caráter ambiental, por se tratar de um meio de interação dinâmica, devem ser realizados periodicamente para acompanhar a evolução temporal da região e dessa forma buscar ações que visem à proteção das áreas que apresentam maior susceptibilidade à contaminação.

A aplicação da técnica de geoprocessamento, representada pelo método de interpolação *IDW* do programa *Qgis* integrado à metodologia *GOD*, se mostrou uma eficiente ferramenta a ser aplicada para delimitação de áreas em que se quer verificar a susceptibilidade de contaminação e dessa forma, permite gerar informações para o desenvolvimento de planos de ambientais com intuito de minimizar os impactos causados pelas atividades antrópicas.

Este trabalho propôs um modelo de vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas do Cemitério Municipal e da região de Frederico Westphalen, que incluiu outros parâmetros, como a topografia e o uso e ocupação solo, além das variáveis destacados pela aplicação do método *GOD* (grau de confinamento, ocorrência de substratos e profundidade do nível freático). Dessa forma, o modelo final ficou bem embasado nos atributos citados e levanta a ideia de que por mais simples que seja a aplicação desta metodologia, se fizer correlação com as condições e situações presentes, apresentará resultados consistentes.

Em relação ao método *GOD*, por se utilizar poucos parâmetros de avaliação à vulnerabilidade, não abrange todas as características dos aquíferos. Por exemplo, aquífero livre recebe pontuação igual a 1.0, independente da classe de solo. No entanto, aquíferos livres cobertos por solos argilosos possuem alta capacidade de reter compostos, enquanto os que são capeados por solos arenosos não possuem essa propriedade, e esses fatores não são diferenciados nesta metodologia. Outro ponto é que não há distinção específica para o tipo de formação, pois solos argilosos recebem a mesma pontuação que solos Areno argilosos, apesar de apresentarem propriedades distintas.

O município apresenta meio geológico com boas condições naturais de suportar os impactos causados pelas atividades antrópicas na região. Porém, é necessário realizar atividades de controle e monitoramento, principalmente na região central de Frederico Westphalen, área em que concentra além do Cemitério Municipal, outras fontes com elevado potencial de poluição do meio físico.

No geral, os resultados são destacados com otimismo, ao passo que foram atendidos todos os objetivos propostos com pleno embasamento teórico e com correlações destacadas em outros trabalhos.

## **7 CONCLUSÕES**

Diante do que foi exposto este trabalho conclui que a plataforma do SIAGAS fornece uma importante base de dados que podem e devem ser utilizados para o desenvolvimento de trabalhos que tenham relevância na gestão dos recursos hídricos.

O diagnóstico regional das águas subterrâneas revelou que, especificamente, o Cemitério Municipal se localiza em um ambiente classificado como zona de vulnerabilidade de insignificante à baixa, próximo de áreas com vulnerabilidade média. Ainda foram destacadas outras fontes potenciais de contaminação na região, tais como postos de combustíveis, pecuária, suinocultura, agricultura e lagoas de tratamento de efluentes.

A comparação entre os modelos retratou a existência de poucas áreas com susceptibilidade à contaminação classificada com significância média. Sendo maior porcentagem atribuída às áreas de classe de significância baixa a insignificante.

O substrato geológico regional apresenta boas características naturais para suportar as pressões impostas pelas atividades humanas, tendo em vista que a formação basáltica cria condições de confinamento do aquífero.

Em âmbito geral, esse estudo atendeu aos objetivos propostos e apresenta significativa contribuição como diagnóstico preliminar da condição das águas subterrâneas, fornecendo subsídios para outros estudos a serem realizados no município de Frederico Westphalen. Porém, para maior aproximação entre os dados coletados nesse estudo e os dados reais, deve-se realizar o monitoramento na boca dos poços, que permite dados mais completos e mais precisos.

## REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas. Águas Brasil. **Informativo da Agência Nacional de Águas número 5.** 2008. Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AguasBrasil/AguasBrasil05\\_07042008.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AguasBrasil/AguasBrasil05_07042008.pdf)> Acesso em: 30 Nov. de 2016.

ANA - Agência Nacional De Águas; CEBDS - Conselho Empresarial Brasileiro Para o Desenvolvimento Sustentável; WBCSD - World Business Council for Sustainable Development. **Fatos e Tendências.** 2ª edição. Brasília, Set. 2009.

AUGE, M. **Vulnerabilidade de aquíferos.** Revista Latino -Americana de Hidrogeologia, v. 4, p. 85-103, 2004.

BACARO, F. **Vulnerabilidade natural e risco à contaminação do aquífero livre da área urbana de Rio Claro-SP.** 2015.

BELLIENI, G.; BROTZU, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; MELFI, A. J.; PACCA, I. G.; STOLFA, D. **Petrological and paleomagnetic data on the plateau basalt to rhyolite sequences of the Southern Paraná Basin (Brazil).** Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 55, n. 4, p. 355-383, 1983.

BERTACHI, M. H. **Estudos preliminares de contaminação de água por cemitérios: estudo de caso de entorno do cemitério São Pedro-Londrina-PR.** 2014.

BORBA, A. W.; SOUZA, L. F.; MIZUSAKI, A. M. P.; ALMEIDA, D. P. M.; STUMPF, P. P. **Inventário e avaliação quantitativa de geossítios: exemplo de aplicação ao patrimônio geológico do Município de Caçapava do Sul (RS, Brasil).** Pesquisas em Geociências, aceito para publicação (no prelo), 2013.

BORBA, W. F.; KEMERICH, P. D. C.; PRETTO, P. R. P.; VICATO FILHO, L. L. D.; GRIEBELER, J. S.; FLORES, C. E. B.; FERNANDES, G. D. A. **Utilização de água subterrânea em Frederico Westphalen-RS: condições sócioambientais dos usuários.** Revista Monografias Ambientais, v. 13, n. 1, p. 2928-2935, 2014.

BORBA, W. F.; TERRA, L. G.; FERNANDES, D. G.; FRANÇA, J.R.; GANZER, E. P.; DA SILVA, J. L. S.; LASTA, L. **Determinação da vulnerabilidade natural à contaminação do Aquífero Serra Geral em Frederico Westphalen–RS.** In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015.

BORBA, W. F.; DA SILVA, J. L. S.; ALLASIA, D. G.; DA ROSA, C. N.; FAVARETTO, J. R.; RIBEIRO, L. F. T. **Determinação do Índice de Susceptibilidade das Captações por Poços Tubulares do Sistema Aquífero Serra Geral em Frederico Westphalen–Rio Grande do Sul.** Anuário do Instituto de Geociências, v. 39, n. 3, p. 79-88, 2016.

BRASIL - Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011.** Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, 2011.

BRITO, V. S. **Vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos no município de Campo Formoso – Bahia**, 2013. Disponível em: [http://www.twiki.ufba.br/twiki/pub/IGeo/GeolMono20122/TFG\\_VeronicaBrito.pdf](http://www.twiki.ufba.br/twiki/pub/IGeo/GeolMono20122/TFG_VeronicaBrito.pdf).

Acesso em: 01 Dez. de 2016.

CARVALHO JUNIOR, M. A. F.; COSTA E SILVA, L. M. **SP e eletroresistividade aplicados ao estudo hidrogeológico de um cemitério**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geofísica, v.1, p. 471-474. 1997.

CELLIGOI, A; VIANNA, T. R. **Análise das reservas de água subterrânea do aquífero Serra Geral em Londrina: Recarga e Consumo**. In: Congresso Brasileiro De Águas Subterrâneas, Florianópolis, 2002.

CHEN, F. W.; LIU, C. W. **Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan**. Paddy and Water Environment, v. 10, n. 3, p. 209-222, 2012.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Água Subterrânea e Poços Tubulares**; Revista JOHNSON Division, UOP, Inc., Saint Paul, Minnesota. 3ed. rev. São Paulo, CETESB, 1978.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Métodos Geofísicos 6200**. Projeto CETESB – GTZ, São Paulo, 1999.

CONAMA - Conselho nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 335, de 03 de abril de 2003**. Dispõe sobre o licenciamento ambiental em cemitérios. Disponível em: <<http://www.areaseg.com/conama/2003/335-2003.pdf>>. Acesso em: 13 de Nov. de 2016.

CONAMA - Conselho nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 368, de 28 de março de 2006**. Altera dispositivos da Resolução 335, de 3 de abril de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental em cemitérios. Disponível em: <<http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Res-CONAMA-368-06.pdf>>. Acesso em: 13 de Nov. de 2016.

CONAMA - Conselho nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 402, de 17 de novembro de 2008**. Altera dispositivos da Resolução 335, de 3 de abril de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental em cemitérios. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA\\_RES\\_CONS\\_2008\\_402.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2008_402.pdf)>. Acesso em: 13 de Nov. de 2016.

CPRM - Companhia De Pesquisa De Recursos Minerais. **Noções básicas sobre poços tubulares – Cartilha informativa**, 1998. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/mapas\\_publicacoes/Nocoas\\_Basicas\\_Pocos\\_Tubulares.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/mapas_publicacoes/Nocoas_Basicas_Pocos_Tubulares.pdf)>. Acesso em: 01 Nov. de 2016.

CPRM - Companhia De Pesquisa De Recursos Minerais. **Modificado do Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000. Produto derivado do Projeto Mapa Hidrogeológico do Brasil – Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial**, 2005.

CPRM - Companhia De Pesquisa De Recursos Minerais. **Modificado do Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000. Produto derivado do Projeto Geologia do Brasil ao Milionésimo – Programa Geologia do Brasil.** Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2007.

CPRM - Companhia De Pesquisa De Recursos Minerais. **SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas.** Disponível em: <[http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa\\_complexa.php](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php)>. Acesso em: 29 Nov. de 2016.

CUNHA, N. G.; SILVEIRA, R. J. C.; KOESTER, E.; OLIVEIRA, L. D.; ALBA, J. M. F.; TERRES, V. C.; LOPES, R. T. **Estudos de Solos do Município de Frederico Westphalen, RS.** Circular Técnica, v. 116, 2011.

EIRAS, M. M. **Risco de contaminação de mananciais superficiais e do sistema aquífero serra geral por aterros na região metropolitana de Londrina-PR.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2015.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p.1979.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 1999.

FEITOSA, F. A. C; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** 2ª Ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID – UFPE, 391 p. 2000.

FELICIONI, F. ANDRADE, F. F. A. BORTOLOZZO, N. **A Ameaça dos Mortos.** 1ª ed. Editora Maxprint. Jundiaí, SP. 2007;

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. **Relatório Anual sobre a situação dos recursos hídricos no Estado do Rio Grande do Sul,** 2003. Disponível em: <[http://www.sema.rs.gov.br/upload/Relatorio\\_RH\\_Final\\_2006.pdf](http://www.sema.rs.gov.br/upload/Relatorio_RH_Final_2006.pdf)>. Acesso em: 01 Dez. de 2016.

FGV - Fundação Getúlio Vargas. **Plano Nacional de Recursos Hídricos.** Proposta elaborada para o Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, de acordo com o Contrato Administrativo Nº 003/96. 1998.

FIEDLER, S.; BREUER, J.; PUSCH, C.M.; HOLLEY, S.; WAHL, J.; INGWERSEN, J.; GRAW, M. **Graveyards — Special landfills.** Volume 419, pag. 90-97, Março de 2012.

FINEZA, A. G. **Avaliação da contaminação de águas subterrâneas por cemitérios: estudo de caso de Tabuleiro – MG.** 2008, 54 p. Dissertação

(Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2008.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; DÉLIA, M.; PARIS, M. **Protección de la calidad del agua subterránea. Guia para empresas de água, autoridades municipales y agencias ambientales.** Edición en español, 115p. 2003.

FOSTER, S. HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELISA, M. (2006). **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais.** Servemar São Paulo, 114 p. 2006.

HAUSMAN, A. **Esboço Hidrogeológico do Rio Grande do Sul.** Acta Geologica Leopoldensia, p. 37-71. 1995.

GOMES, M. E. B. **Mecanismos de resfriamento, estruturação e processos pós-magmáticos em basaltos da Bacia do Paraná : região de Frederico Westphalen (RS) – Brasil.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Curso de Pós-Graduação em Geociências, 1996.

Google, **Google Earth Pro Maps.** Programa Gratuito.

Google, **Quantum GIS 2.14 Essen.** Programa gratuito.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A. V. **A proteção dos recursos hídricos subterrâneos no Estado de São Paulo.** In: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Cuiabá, 2004.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2008.** Rio de Janeiro, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo populacional de 2010: Frederico Westphalen.** Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=430850&search=|infogr%E1ficos:-dados-gerais-do-munic%EDpio>>. Acesso em: 28 Nov. de 2016.

JUNG, A. P.; BASSO, L. J.; BREUNIG; F. M. **Mapeamento multitemporal do uso e ocupação do solo na microbacia do Lajeado Chiquinha – Frederico Westphalen – RS.** Anais do 11º Congresso Floresta Estadual do RS e 2º Seminário Mercosul da Cadeia Madeira, 2012.

JÚNIOR, L. C. P.; SOARES, H. L. T.; DE 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.

KLEIN, R. M. **Aspectos fitofisionômicos da floresta estacional na fralda da Serra Geral (RS).** In: XXXIV CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 1983, Porto Alegre. , p. 73-110, 1983.

KEMERICH, P. D. C.; DESCOVI FILHO, L. L. V.; UCKER, F. E.; CORREIO, C. V. F. **Influência dos cemitérios na contaminação da água subterrânea em Santa Maria-RS**. Águas Subterrâneas, v. 24, n. 1, p. 129-141, 2010.

KEMERICH, P. D. C.; CANTO, L. S.; DESCOVI FILHO, L. L. V.; UCKER, F. E., TEIXEIRA, L. C.; TEIXEIRA, M. C. **Variação espacial da qualidade da água subterrânea em área ocupada por cemitério tipo parque jardim**. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, v. 9, n. 3, 2012.

KEMERICH, P.D.C.; BORBA, W. F. **Cemitérios e os problemas ambientais: a dura realidade brasileira**. Revista Conselho em Revista - CREA RS, v. 10, p.36-37, 2013.

KLEIN, H. F. **Monumentos à memória dos que morreram: as necrópoles e seu impacto ambiental**. 2012.

LARINI, Mariana M. **Avaliação do uso das águas subterrâneas na Região Metropolitana de Londrina – PR e comparativo da utilização dos mananciais superficiais para o abastecimento público**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, p. 129, 2013.

MACHADO, J. L. F. **Compartimentação Espacial e Arcabouço Hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul**. São Leopoldo. 237 p., 2005.

MANCUSO, M. A.; SCHROEDER, J. K., SILVÉRIO DA SILVA, J. L. **Análise dos teores de Flúor nas águas de abastecimento público nos municípios localizados sobre o Aquífero Serra Geral**. 2013.

MANO, A. **Interpoladores II - QGIS Interpolation Plugin (IDW)**, 2011. Disponível em: <<http://opussig.blogspot.com.br/2011/12/interpoladores-ii-qgis-interpolation.html?m=1>>. Acesso em: 04 de Dez. de 2016.

MANOEL FILHO, J. FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C. DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia conceitos e aplicações**. CPRM/LABHIDRO, Rio de Janeiro, pp 381 – 402, 2008.

MATOS, B. A. **Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, município de São Paulo**. São Paulo, 115p. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2001.

MILANI, E.J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. **Cartas Estratigráficas – Bacia do Paraná**. Boletim de Geociências da Petrobras (2): pp. 265–287. Rio de Janeiro, 2007.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 27 Nov. 2016

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da Região Hidrográfica do Uruguai**. Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) 2006. Disponível em: <[http://mma.gov.br/estruturas/161/\\_publicacao/161\\_publicacao03032011023025.pdf](http://mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao03032011023025.pdf)>. Acesso em: 01 Dez. de 2016.

MONDELLI, G. **Integração de diferentes técnicas de investigação para avaliação da poluição e contaminação de uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2008.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul, n. 11, p. 49-83, 2014.

NASCIMENTO, F. M.; CARVALHO, J. E.; PEIXINHO, F. C; **Sistema de Informações de Água Subterrânea – SIAGAS Histórico, Desafios e Perspectivas**. In: XV Congresso De Águas Subterrâneas. 2008.

NASCIMENTO, T.S.; PEREIRA, R.O.L.; MELLO, H.L.D.; COSTA, J. **Methemoglobinemia: from diagnosis to treatment**. Rev. Bras. Anestesiologia, vol.58, n.6, pp. 651-664. ISSN 0034-7094, 2008.

NASCIMENTO, W.G. **Investigação geofísica ambiental e forense nos cemitérios do Bengui e do Tapanã (Belém – PA)**. Dissertação (Mestrado em Geofísica), Instituto de Geociências, UFPA. Belém 153 f, 2009.

RODRIGUES, L.; PACHECO, A. **Groundwater contamination from cemeteries cases of study**. In: International Symposium Environment. 2010.

PACHECO, A. **Meio Ambiente e Cemitérios**. Editora Senac. São Paula, 190 f., 2012.

ROMERO, J.C. **The movement of bacteria and viruses through porous media**. **Ground Water**, v. 8, n. 2, p. 37- 48. 1970.

SANTOS, M.; CAETANO-CHANG, M. R.; KIANG, C.; CELLIGOI, A. **Avaliação da Vulnerabilidade Natural à Poluição utilizando o Índice DRASTIC em área selecionada na cidade de Londrina (PR)**. Águas Subterrâneas. Revista da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2006.

SANTOS, A. A. **Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas de fragilidade ambiental no parque estadual da Serra do Rola Moça**. Amanda Alves dos Santos - Belo Horizonte, 2010.

SAJID, A. H.; RUDRA, R. P.; PARKIN, G. **Systematic Evaluation of Kriging and Inverse Distance Weighting Methods for Spatial Analysis of Soil Bulk Density**. Canadian Biosystems Engineering, v. 5, p. 1.1-1.13, 2013.

SILVA, L. M. **Cemitérios: Fonte Potencial de Contaminação dos Aquíferos Livres**. 4º Congresso Latino-Americano de Hidrologia Subterrânea. Montevideo, Uruguai – ALHSUD -1998.

SILVA, R.W.C. **Aplicação do método da eletrorresistividade na investigação e mapeamento da contaminação por cemitérios – o exemplo do cemitério de Vila Rezende, Piracicaba/SP.** (Dissertação de Mestrado). UNESP/IGCE/Rio Claro: 156 f. 2008.

SILVA, R. W. C.; MALAGUTTI FILHO, W. **Cemitérios como áreas potencialmente contaminadas.** Revista Brasileira de Ciências Ambientais, Cubatão, v. 9, p. 26-35, 2008.

SILVEIRA, A. D. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. Hidrologia: ciência e aplicação.** São Paulo: EDUSP, p. 35-51, 2001.

TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TEIXEIRA, W. **Decifrando a Terra.** São Paulo: IBEP, v. 98, 2009.

TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação- Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica.** Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 4ª Ed, 2000.

VERÍSSIMO, A.C.F. **Hidroquímica, vulnerabilidade e proteção do aquífero de Torres Vedras.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Geológica, Universidade de Lisboa, Dissertação de Mestrado, 140p. 2010.

VRBA, J. & ZAPOROZEC, A. – **Guidebook on mapping groundwater vulnerability.** International Association of Hydrogeologist. Verlag Heinz Heise, v 16.131 pp; 1994.

XAVIER, F. V. **Métodos geoeletricos aplicados ao diagnóstico ambiental subsuperficial do Cemitério Municipal de Rio Claro, SP.** Tese de doutorado, Departamento de Geociências e Ciências Exatas, Universidade do Estado de São Paulo (UNESP), p.158, 2015.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. D. J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; ZANOTTO, O. A. **Bacia do Paraná.** Origem e evolução das bacias sedimentares. p. 135-168, 1990.

ŻYCHOWSKI, J. **Impact of cemeteries on groundwater chemistry: A review.** Catena, v. 93, p. 29-37, 2012.