



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA  
CAMPUS JI-PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**



**CALINA GRAZIELLI DIAS BARROS**

**ESTIMATIVA DA VULNERABILIDADE NATURAL DO AQUÍFERO PARECIS  
UTILIZANDO O MÉTODO GOD: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE  
VILHENA – RO**

Ji-Paraná

2014

**CALINA GRAZIELLI DIAS BARROS**

**ESTIMATIVA DA VULNERABILIDADE NATURAL DO AQUÍFERO PARECIS  
UTILIZANDO O MÉTODO GOD: ESTUDO DE CASO DO MUNICÍPIO DE  
VILHENA – RO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental, Fundação Universidade Federal de Rondônia, *Campus* de Ji-Paraná, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Ana Lúcia Denardin da Rosa

Ji-Paraná

2014

Barros, Calina Grazielli Dias

B2776e      Estimativa da vulnerabilidade natural do aquífero Parecis  
2014      utilizando o método God: estudo de caso do município de Vilhena -  
RO / Calina Grazielli Dias Barros; orientadora, Ana Lúcia Denardin  
da Rosa. -- Ji-Paraná, 2014

57 f. : 30cm

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Ambiental. –  
Universidade Federal de Rondônia, 2014

Inclui referências

1. Água – Controle de qualidade - Rondônia. 2. Poluição da  
água - Prevenção. 3. Águas subterrâneas - Contaminação.  
I. Rosa, Ana Lúcia Denardin da. II. Universidade Federal de  
Rondônia. III. Título

CDU 628.19 (811.1)

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus em primeiro lugar, por estar ao meu lado, me amparando e dando forças para que eu pudesse seguir meus estudos, agradeço a Nossa Senhora que sempre intercedeu por mim e me amparou nas horas difíceis.

Aos meus pais Rosalina de Lurdes Dias Barros e Carlos Antonio Barros pelo esforço, dedicação e apoio durante todos os períodos da minha vida, sempre estando ao meu lado mesmo com toda a distância enfrentada nesses últimos cinco anos.

As minhas irmãs Carla G. Dias Barros e Camila G. Dias Barros, que sempre “torraram” minha paciência, mas nunca deixaram de me apoiar, estando presente nos momentos mais felizes e também nos difíceis.

À minha sobrinha linda Náthalye Mariany que sempre alegrou meus dias com seu carinho, brincadeiras.

Ao meu “pretinho” Adenis de Oliveira Silva, que sempre chamou minha atenção para os estudos, pela paciência, cuidado, dedicação e amor.

À Gilmara, Silva, Victor e Geovana que sempre me apoiaram e alegraram meus dias longe de casa.

Ao Sr. “Gigi” meu sogro Gilberto que sempre me ajudou, me acolheu e foi muito importante na minha formação.

À Marina minha sogra que contribuiu muito com meus estudos, me deu forças e incentivo principalmente nas horas do aperto.

À “neguis” Gislayne Alves Oliveira, que como grande amiga esteve todos os momentos ao meu lado, passando por altos e baixos, dando muitas gargalhadas das situações que a vida nos colocava.

À Emeline C. Garcia de Moura, Pollyanna P. Martins de Almeida e Larissa A. S. Benassi, por fazerem parte da minha vida, sempre alegrando e me apoiando, fazendo dos meus dias longe de casa melhores.

À “Dona Azia” minha orientadora Ana L. D. da Rosa, que me apoiou desde o início deste trabalho, agüentando meu humor com muita paciência, me ensinando a ser melhor, tornando-se uma grande amiga.

À todos os colegas que, de forma direta ou indiretamente fizeram parte desse processo de aprendizado, contribuindo para meu crescimento profissional.

Ao prof. José Luiz Silvério da Silva, pelo ensinamento passado, contribuindo significativamente neste trabalho.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), pela disponibilização da licença dos programas *Surfer 8.0* e *Arcgis 9.3*.

Ao Serviço de Abastecimento de Águas e Esgoto (SAAE), Sr. Diretor Josafá Lopes Bezerra, pela contribuição, disponibilidade e a liberação dos dados para o estudo.

Ao Sr. Carlos Gava, por estar sempre solícito a responder os questionamentos, contribuindo com o presente trabalho.

Ao “Chico” Sr. Tanismar Grosbelli trabalhador da SAAE, que nos acompanhou nas coletas de dados, sempre alegre contribuindo com o estudo.

Ao Sr. Cláudio Cajazeiras (CPRM), que colaborou com informações de suma importância para o presente trabalho.

À Sra. Ana Neri N. A. Marques coordenadora do Projeto Águas Escola e Ambiente, da Escola Zilda da Frota Uchôa, que me recebeu e contribuiu com meu aprendizado.

À Universidade Federal de Rondônia (UNIR), que me deu base e ensinamento colaborando com meu aprendizado.

De maneira geral a todos os professores do Departamento de Engenharia Ambiental, que contribuíram com meu ensino.

## RESUMO

O controle e a preservação da qualidade das águas subterrâneas são as principais tarefas a serem realizadas, quando se trata de planejamento ambiental das águas subterrânea. Com o intuito de colaborar com os órgãos responsáveis pelo manejo destas, o presente estudo tem como objetivo determinar da vulnerabilidade natural do aquífero Parecis no município de Vilhena, que tem todo o seu abastecimento de água proveniente deste aquífero. Isto foi possível através de dados disponibilizados gratuitamente pelo órgão governamental Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), dados cedidos por uma empresa privada de perfuração de poços, além de dados coletados em campo, utilizando ferramentas geotecnológicas e computacionais. Bem como foi realizado o mapa de direção do fluxo das águas subterrâneas e identificado as possíveis fontes de contaminação da área de estudo (postos de combustíveis, cemitério municipal, poços contaminados e lixões desativados). Para a estimativa da vulnerabilidade foi utilizado à metodologia **GOD**, que leva em consideração três parâmetros: o **G**rau de confinamento hidráulico do aquífero, a **O**corrência dos tipos litológicos penetrados pelo poço e a "*Depht*" profundidade da água subterrânea. Os valores encontrados no primeiro parâmetro do método determinou, que na área de estudo existem dois tipos de confinamento hidráulico: o confinado e o livre, essa determinação foi possível após análises do tipo de solo e litologia. O segundo parâmetro teve sua classificação realizada através do perfil dos poços, já a classificação do terceiro parâmetro, foi obtido a partir do nível estático dos poços. Dos 36 poços tubulares selecionados para o estudo, 47,22% apresentaram vulnerabilidade natural insignificante, 38,89% foram classificados com vulnerabilidade média e 13,89% com alta vulnerabilidade. Merecem maior atenção 2 poços de responsabilidade do Serviço Autônomo de Águas e Esgoto (SAAE), sendo eles o de nº 2 e 27 que estão dispostos da seguinte maneira: o poço de nº 2 apesar de encontrar-se em área de vulnerabilidade insignificante, localiza-se em uma região de convergência de fluxo das águas subterrâneas, podendo assim receber carga contaminante proveniente de postos de combustíveis, poços contaminados e uma vez contaminado sua recuperação é difícil e onerosa. O poço de nº 27 está classificado com alta vulnerabilidade e também está em uma área de convergência de fluxo, podendo assim receber cargas contaminantes oriundas do cemitério municipal e de 2 lixões desativados. Neste contexto, a estimativa da vulnerabilidade natural do aquífero Parecis apresentou-se como uma ferramenta útil e importante para tomada de decisões referentes aos recursos subterrâneos do município de Vilhena.

## ABSTRACT

The control and preservation of groundwater quality are the main tasks to be performed, when it comes to environmental planning of underground waters. In order to cooperate with the agencies responsible for the management of these groundwater, this study aims to determine the natural aquifer vulnerability Parecis in the municipality of Vilhena, who has all their water from this aquifer. This was possible through data freely available by the government agency Company Mineral Resources Research (CPRM), data provided by a private well drilling, and data collected in the field using geotechnology and computational tools. As well as the map of direction of groundwater flow was performed and identified possible sources of contamination of the study area (gas stations, municipal cemetery, contaminated wells and inactive dumps). Grade hydraulic containment of the aquifer, the Occurrence of rock types penetrated by the well and Depth of groundwater: To estimate the vulnerability to **GOD** methodology that takes into account three parameters was used. The values found in the first parameter of the method determined that the study area there are two types of hydraulic containment: the confined and free, this determination was possible after analysis of soil type and lithology. The second parameter classification was performed using the profile of the wells, since the classification of the third parameter was obtained from the static level of the wells. Of the 36 wells selected for the study, 47.22% had negligible natural vulnerability, so classified with 38.89% and 13.89% average vulnerability with high vulnerability. Deserve further 2 wells responsibility of the Autonomous Service for Water and Sewage (AMSA), namely that of No. 2, and 27 are arranged as follows: the Well No. 2 despite lying in an area of vulnerability insignificant, is located in a region of convergence of groundwater flow, contaminant load may thus receive from gas stations, contaminated wells and since contaminated their recovery is difficult and costly. The pit is ranked No. 27 with high vulnerability and also lies in an area of flow convergence, and thus contaminant loads originating receive the municipal cemetery and 2 inactive dumps. In this context, the estimated natural aquifer vulnerability Parecis presented itself as a useful and important tool for decision making regarding the groundwater resources of the municipality of Vilhena.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Perfil do solo ilustrando as zonas não saturada e saturada do solo.....	13
<b>Figura 2.</b> Classificação dos aquíferos conforme sua porosidade.....	13
<b>Figura 3.</b> Ciclo Hidrológico.....	15
<b>Figura 4.</b> Distribuição dos principais sistemas aquíferos do país.....	18
<b>Figura 5.</b> Comparação da vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação.....	25
<b>Figura 6.</b> Mapa de localização do município de Vilhena – RO .....	27
<b>Figura 7.</b> Mapa geológico da Bacia dos Parecis.....	31
<b>Figura 8.</b> Mapa Solos do município de Vilhena - RO.....	30
<b>Figura 9.</b> Metodologia GOD (Foster et al., 2003) para avaliação da vulnerabilidade de aquíferos....	32
<b>Figura 10.</b> Poços particulares: Poço visitado e não utilizado no estudo (A) Poço nº 4 (B).....	34
<b>Figura 11.</b> Mapa de localização dos poços selecionados para o estudo.....	35
<b>Figura 12.</b> Mapa da altitude dos poços do estudo.....	36
<b>Figura 13.</b> Direção do fluxo do aquífero Parecis no município de Vilhena.....	37
<b>Figura 14.</b> Perfil construtivo dois poços de abastecimento.....	39
<b>Figura 15.</b> Mapa Litológico do município de Vilhena – RO.....	40
<b>Figura 16.</b> Nível Estático dos poços.....	41
<b>Figura 17.</b> Mapa da vulnerabilidade natural da área de estudo.....	42
<b>Figura 18.</b> Mapa de localização das possíveis fontes de contaminação.....	44
<b>Figura 19.</b> Fontes de possíveis contaminações, sobrepostas na superfície ponteciométrica.....	45

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>1- OBJETIVO.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>11</b>
<b>2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 CICLO HIDROLÓGICO E A ÁGUA SUBTERRÂNEA.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....</b>	<b>16</b>
<b>2.4 SISTEMA PARECIS.....</b>	<b>17</b>
<b>2.5 VULNERABILIDADE.....</b>	<b>19</b>
<b>2.6 POLUIÇÃO E CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....</b>	<b>23</b>
<b>2.7 ASPECTOS LEGAIS.....</b>	<b>26</b>
<b>3- MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3 COLETA DE DADOS.....</b>	<b>31</b>
<b>3.4 MÉTODO GOD.....</b>	<b>32</b>
<b>3.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS.....</b>	<b>33</b>
<b>4- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>4.1 ALTITUDE.....</b>	<b>35</b>
<b>4.2 SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA.....</b>	<b>36</b>
<b>4.3 GRAU DE CONFINAMENTO HIDRÁULICO (G).....</b>	<b>37</b>
<b>4.4 OCORRÊNCIA DE ESTRATOS DE COBERTURA (O).....</b>	<b>39</b>
<b>4.5 DISTÂNCIA AO NÍVEL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA (D).....</b>	<b>40</b>
<b>4.6 ESTIMATIVA DA VULNERABILIDADE NATURAL.....</b>	<b>42</b>
<b>4.7 IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES DE POSSÍVEL CONTAMINAÇÃO.....</b>	<b>44</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>48</b>
<b>APÊNDICE A – Dados dos poços utilizados.....</b>	<b>55</b>
<b>APÊNDICE B - Pontos de possíveis contaminações.....</b>	<b>56</b>
<b>APÊNDICE C – Vulnerabilidade Natural do Aquífero Parecis, município de Vilhena/RO.....</b>	<b>57</b>

## INTRODUÇÃO

A água é a substância mais abundante sobre a Terra, com aproximadamente 1,4 bilhões de Km<sup>3</sup> sobre 71 % da superfície terrestre (GRASSI, 2001). Dividindo-se da seguinte maneira: 97,5% de água salgada e 2,5% de água doce, a qual se divide em: geleiras 84,95%; águas de superfície+atmosfera 0,89% e águas subterrâneas 14,16% (OLIVEIRA, 2012). O Brasil é um país privilegiado em termos de disponibilidade hídrica total, com aproximadamente 12% das reservas mundiais de água doce (ZUFFO *et al.*, 2009).

No país a expansão territorial aconteceu levando em consideração as águas superficiais, principalmente na região Amazônica, na qual as margens dos rios eram ocupadas pelos ribeirinhos, onde as cidades foram sendo desenvolvidas (AZEVEDO, 2006). Porém, pouco se preocupou em preservar esse recurso, observando a degradação quali-quantitativa do mesmo.

Nesse contexto, a procura por águas subterrâneas, com fins de abastecimento, tem aumentado (IRITANI *et al.*, 2011). Porém faz-se necessária a preservação da mesma, não somente porque representa uma das maiores porcentagens das águas doces de fácil acesso, mas também porque sua descontaminação é tecnicamente difícil (ABERTI e SILVA, 2005).

Com o intuito de evitar a contaminação e controlar o uso das águas subterrâneas, para atender a qualidade exigida em lei, é necessário que sejam realizadas pesquisas que visam um maior conhecimento desses recursos hídricos. Tais pesquisas podem tornar-se base de planos de gestão das águas subterrâneas, prevenindo uma contaminação futura e usos excessivos e exagerados (MENESES, 2007).

Desta forma, são de grande importância os estudos que investigam os recursos hídricos subterrâneos, uma vez que segundo o Art. 29. da Resolução CONAMA nº. 396, de 3 de abril de 2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências, para a realização do enquadramento das águas subterrâneas, deve ser considerada no mínimo a caracterização da vulnerabilidade e dos riscos de poluição dos aquíferos.

## 1- OBJETIVO

Determinação da vulnerabilidade natural do aquífero Parecis no município de Vilhena, através de dados disponibilizados gratuitamente pelo órgão governamental Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), dados cedidos por uma empresa privada de perfuração de poços, além de dados coletados em campo, utilizando ferramentas geotecnológicas e computacionais.

### 1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantamento em campo da cota do terreno dos poços selecionados para a criação do mapa da direção do fluxo da água subterrânea;
- Identificar os pontos com potencial de contaminação (postos de combustíveis, cemitério, “lixões”);
- Aplicação do método GOD (Grau de confinamento hidráulico do aquífero, Ocorrência dos tipos litológicos penetrados pelo poço, “*Depht*” profundidade da água subterrânea).

## 2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Terra *et al.* (2013) defini água subterrânea:

Como sendo toda água que ocorre abaixo da superfície da terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, e que sendo submetida a duas forças (de adesão e de gravidade) desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos.

“A água subterrânea pode ocorrer tanto em rochas duras como em depósitos sedimentares não consolidados, bem como em sedimentos de maior ou menor consistência.

Na realidade, qualquer tipo de rocha, ígnea, sedimentar ou metamórfica, desde que seja suficientemente porosa e permeável, pode constituir um aquífero” (CETESBE, 1978).

A Resolução Nº 15 (de 11 de Janeiro de 2001 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH) define água subterrânea como sendo “as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo”. As águas subterrâneas estão dispostas no solo e nos vários tipos de formações geológicas, armazenadas em aquíferos.

Segundo Oliveira e Brito, (1998), “aquíferos são materiais ou rochas que armazenam água e permitem a sua circulação”. A Resolução Nº 15 (de 11 de Janeiro de 2001 - CNRH) diz que: aquífero é um “corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos”.

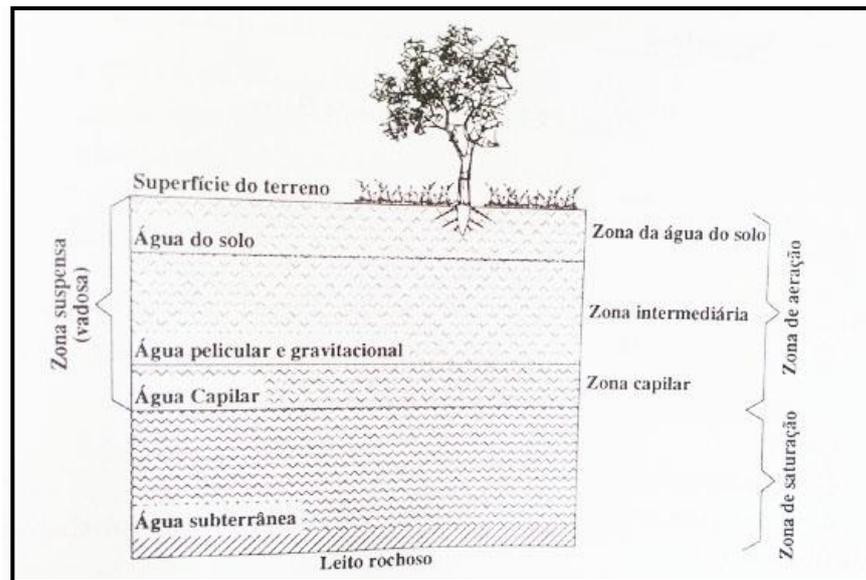
Os aquíferos possuem zonas de umidade do solo classificadas em zona não saturada e saturada, conforme Figura 1. Na zona não saturada (zona de aeração) ocorre o processo de infiltração e o fluxo é descendente, os poros são preenchidos por ar e uma pequena parcela de água e segundo CIRILO *et al.*, (2011) a zona não saturada pode ser dividida em: zona capilar, zona intermediária e zona de água no solo ou zona de evapotranspiração.

A zona capilar estende-se como distância da superfície freática até o limite da ascensão capilar da água. A sua espessura depende principalmente da distribuição de tamanho dos poros e da homogeneidade do terreno (FEITOSA & MANOEL FILHO, 2000).

Entende-se por zona intermediária aquela que esta situada entre a zona capilar e a zona de água no solo, porém com menor umidade em relação a primeira e maior que a segunda. Pode apresentar um nível freático próximo a superfície e em muitos casos pode até não existir zona intermediária, devida a franja capilar alcançar o solo (ABAS, 2014).

Zona de água no solo ou zona de evapotranspiração está situada na extremidade das raízes das plantas, com espessura variando de poucos centímetros a muitos metros dependendo da cobertura vegetal do solo, essa zona tem grande importância nos estudos, pois é onde ocorre o transporte de substâncias (FEITOSA & MANOEL FILHO, 2000; CIRILO *et al.*, 2011).

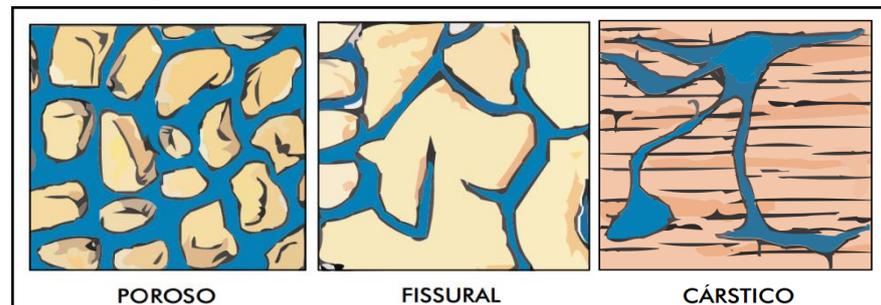
Quando os espaços entre os poros estão totalmente preenchidos por água, então é conhecido como zona satura. O lençol freático é a divisão entre as zonas de umidade (OLIVEIRA e BRITO, 1998).



**Figura 1.** Perfil do solo ilustrando as zonas não saturada e saturada do solo.

**Fonte:** TODD, 1959 apud CIRILO *et al.*, 2011.

Os aquíferos podem ser classificados conforme sua porosidade em: poroso, fissural e cárstico (DRM-RJ, 2013) Figura 2.



**Figura 2.** Classificação dos aquíferos conforme sua porosidade.

**Fonte:** MMA, 2007.

- a) Aquíferos porosos apresentam características de armazenamento de água entre os poros ocupando os vazios ali existentes e são típicos de rochas sedimentares, funcionando como uma esponja, como por exemplo, o Aquífero Parecis (MMA,2007).
- b) Aquíferos fissurais são “meios rochosos, onde os espaços ocupados pela água são representados por discontinuidades planares, ou seja, planos de fraturas, microfraturas, diáclases, juntas, zonas de cisalhamento e falhas” (CAMPOS, 2004).

- c) Aqüíferos cársticos conhecidos como rios subterrâneos, a movimentação das águas se dá nas fraturas e descontinuidades resultantes da dissolução do carbonato pela água (ABAS, 2014).

Os aqüíferos também podem ser classificados em relação as suas características hidráulicas, em livres, confinados e semi-confinados:

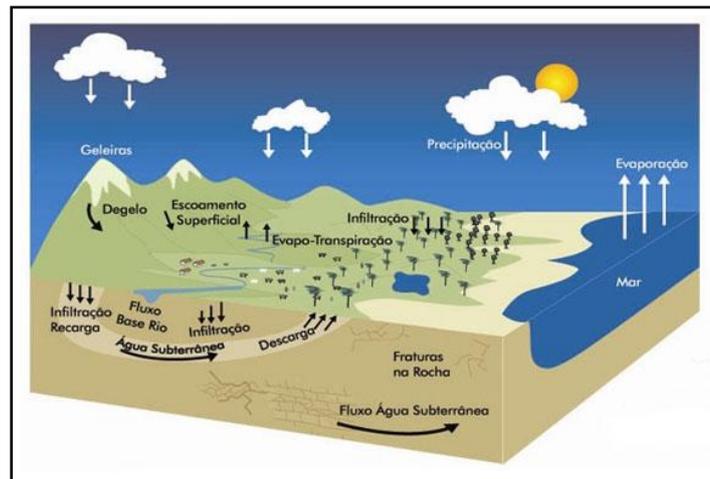
- a) Aqüíferos livres, geralmente são os utilizados para exploração de água, por ser uma formação permeável e estarem localizados logo abaixo da zona não saturada, vão depender da área de recarga e descarga, bombeamento de poços e permeabilidade (TODD, 1980).
- b) Aqüíferos confinados encontram-se em uma cama confinante pouco permeável e são de difícil acesso para exploração, em que a água subterrânea está confinada sob pressão superior à atmosférica, sobrepondo-se os estratos relativamente impermeáveis (TODD, 1980).
- c) Aqüífero semi-confinado, é aquele em que a camada confinante superior é formada por uma camada de baixa permeabilidade pertencendo a uma ordem estratigráfica com camadas mais permeáveis (DINIZ E MICHALUATE, 2001).

## 2.2 CICLO HIDROLÓGICO E A ÁGUA SUBTERRÂNEA

Batalha (1986, apud Aberti e Silva, 2005) define ciclo hidrológico como sendo a “Sucessão de transformações de estado físico e de movimento da água, através da terra e da atmosfera”. O fato da água estar sempre em movimento, faz com que ocorra a chuva, a neve, os rios, lagos, oceanos, as nuvens e as águas subterrâneas (MMA, 2013).

Segundo CETESB, (1978), nem toda água que se infiltra no solo torna-se subterrânea, podendo ter os seguintes destinos, conforme Figura 3.

Primeiro, a água pode voltar à superfície por capilaridade e evaporar-se na atmosfera, desviando-se bastante da seqüência do ciclo hidrológico. Segundo, pode ser absorvida pelas raízes das plantas e retornar à atmosfera pela transpiração vegetal. Terceiro, a água que penetrou bastante desce por gravidade até atingir o nível da zona de saturação, que constitui o reservatório da água subterrânea que abastece os poços.



**Figura 3.** Ciclo Hidrológico.

**Fonte:** MMA (2007).

O ciclo hidrológico tem grande importância quando se trata de águas no aspecto geral. As influências de temperatura, regime de chuva, cobertura vegetal, uso do solo, vão interferir diretamente nas recargas e manutenção dos aquíferos e segundo Foster e Hirata (1993) “a atividade humana em superfície pode alterar e induzir novos mecanismos de recarga ao aquífero, modificando a taxa, a frequência e a qualidade da recarga de águas subterrâneas”.

As moléculas de água quando evaporadas dos rios, lagos e oceanos, retornam para atmosfera por processos físicos até serem precipitadas novamente na forma de chuva ou neve. A água precipitada pode sofrer três tipos de variações, podem escoar, infiltrar ou evaporar-se por completo, dessa maneira gerando novos ciclos hidrológicos (ARAÚJO, 2003).

O fenômeno da infiltração é a parte mais importante do ciclo hidrológico quando se trata de água subterrânea, pois a água que percola no subsolo tem grande importância na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos. Suprindo os cursos das águas superficiais para que possam estar estáveis, colaborando para que não ocorram transbordamentos, absorvendo os excessos das águas de chuvas intensas. Esse serviço hidrológico é de suma importância para o equilíbrio do ciclo hidrológico (ABAS, 2014).

Segundo ABAS (2014) as águas que atingem o interior do subsolo derivam de vários fatores, tais como: porosidade do subsolo, cobertura vegetal, inclinação do terreno e tempo de chuva.

- a) Porosidade do subsolo: Solos argilosos são de difícil permeabilidade o que dificulta a infiltração das águas;
- b) Cobertura vegetal: quando não se tem solos desmatados a permeabilidade é facilitada pela vegetação presente;

c) Inclinação do terreno: quando se tem altas declividades à água tende a ter um maior escoamento superficial o que diminui a possibilidade de infiltração;

d) Tipos de chuva: quanto mais intensas forem as chuvas, mais rápido se tem a saturação do solo.

A água subterrânea tem participação e papel fundamental no ciclo hidrológico, quando precipitada infiltra no solo permite que possa ocorrer seu acúmulo, contribuindo com a recarga de grande parte dos cursos d'água superficiais e podem ser explorados para uso em diversas modalidades (ARAÚJO, 2003).

A temperatura e a precipitação são os aspectos mais importantes no ciclo hidrológico e conseqüentemente na formação dos aquíferos, pois o clima tem papel fundamental na formação e tipo de ocorrência de solos existentes, influenciando diretamente na recarga dos aquíferos. Segundo Oliveira e Brito, (1998), “o fator climático atua diretamente na formação do solo, por meio da alteração dos minerais do substrato, ou indiretamente, por meio da vegetação”.

Assim os solos de regiões de clima tropical irão apresentar características diferentes do localizados em regiões com clima temperado. Nas áreas de clima tropical os solos são mais profundos, enquanto que de clima temperado apresentam solos menos profundos (OLIVEIRA e BRITO, 1998).

### **2.3 QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA**

“A qualidade exigida de um suprimento de água subterrânea depende da sua finalidade, podendo ser para abastecimento público, industrial, irrigação, entre outros, dessa forma a qualidade necessária varia amplamente” (TODD, 1980).

Quando se trata de qualidade de água subterrânea deve-se tomar como base a Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008, que dispõe sobre a classificação e as diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Classificando as águas subterrâneas em:

a) Classe especial: destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial;

- b) Classe 1: são águas que não foram alteradas pelas atividades antrópicas, e não exigem tratamento para qualquer uso preponderante devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
- c) Classe 2: águas sem alteração antrópica que podem exigir tratamento, por conta das características hidrogeoquímicas naturais;
- d) Classe 3: águas com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
- e) Classe 4: apresentam alteração na qualidade por atividades antrópicas, e que só podem ser usadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo;
- f) Classe 5: águas que podem estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

As águas subterrâneas podem sofrer contaminações oriundas de várias fontes, como por exemplo, fossas negras e sépticas, atividades agrícolas, disposição inadequada de resíduos sólidos, contaminação hidrocarbonetos, oriundos de postos de combustíveis e etc. O cuidado com o consumo de água com má qualidade esta relacionado diretamente com as doenças que este consumo pode trazer para saúde humana, como por exemplo, doenças gastrointestinais e infecções.

Todas as águas subterrâneas contém sais em solução que são derivados a partir da localização e movimento da água no solo. (TODD, 1980). Nesse contexto as condições geológicas, geomorfológicas, cobertura vegetal podem contribuir na qualidade das águas, podendo ser encontrado alguns constituintes como: Sódio, Magnésio, Bicarbonato, Sulfato, Nitrato, Ferro, Fluoreto e muitos outros, que se apresentando em grandes concentrações alteram a qualidade da água (TUCCI, *et al.* 2001; TODD, 1980).

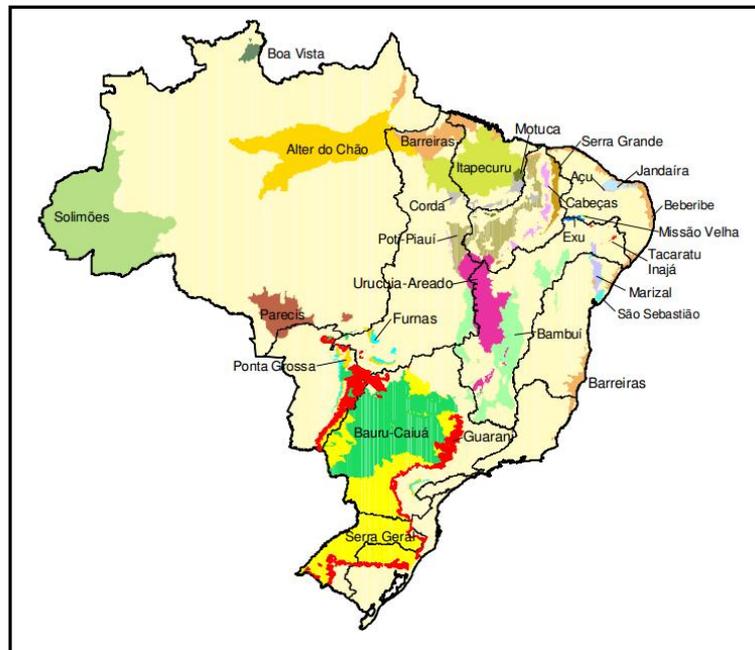
## **2.4 SISTEMA PARECIS**

Os principais sistemas aquíferos do Brasil estão localizados nas bacias sedimentares como pode ser visto na Figura 4. Apresentando ampla distribuição no território nacional e

devido a sua qualidade permitem diversos aproveitamentos, sendo que muitos desses aquíferos estão localizados em regiões limítrofes dos estados (ANA, 2005).

A bacia dos Parecis abrange o estado de Rondônia e Mato Grosso, sendo uma das maiores bacias intracratônicas brasileiras. Possui dimensão maior de 1.250 km ocupando área de 500.000 km<sup>2</sup> (CAJAZEIRAS, 2012). Ainda conforme a Agência Nacional de Águas - ANA (2005) o aquífero Parecis pertence à região hidrográfica dominante Amazônica, com uma área de recarga de 88.157 Km<sup>2</sup>, caracterizado como um aquífero poroso livre.

No estado de Rondônia, a bacia dos Parecis está localizada no seu extremo sul ocupando área de 32.000 km<sup>2</sup> e está inserida nas Bacias hidrográficas dos rios Machado e Roosevelt. Sua altitude oscila de 200 a 400 m (planalto dissecado dos Parecis) até cerca de 650 m na cidade de Vilhena (chapada dos Parecis) (CAJAZEIRAS, 2012).



**Figura 4.** Distribuição dos principais sistemas aquíferos do país.

**Fonte:** ANA, 2005.

O Sistema Aquífero Parecis no estado de Rondônia possui uma área de aproximadamente 20.000 km<sup>2</sup>, consistindo nas Formações Utiariti, Fazenda da Casa Branca, Rio Ávila. Representa as maiores vazões e profundidades do estado de Rondônia, podendo chegar a 264 m<sup>3</sup>/h e 144 m, respectivamente (CAJAZEIRAS, 2012).

Na área de afloramento do Sistema Aquífero Parecis estão inseridos sete municípios: Vilhena, Chupinguaia, Pimeteiras D'Oeste, Corumbiara, Alto Alegre dos Parecis, Parecis e Colorado D'Oeste.

## 2.5 VULNERABILIDADE

O conceito de vulnerabilidade natural de aquíferos é entendido como a maior ou menor suscetibilidade à contaminação do material de sub-superfície a um evento contaminador que está ligado a atividades antrópicas. (FOSTER & HIRATA, 1993 e BÓS, 2012)

O estudo da vulnerabilidade natural surge como uma ferramenta de monitoramento e apoio técnico nas tomadas de decisão e proteção das águas subterrâneas. Porém é uma técnica que requer cuidados na sua interpretação, pois existem algumas limitações que podem comprometer os resultados dos estudos, como por exemplo, a falta de dados para a realização do método.

Vulnerabilidade é diferente de risco a poluição, pois se podem encontrar áreas com risco de poluição, com baixa vulnerabilidade, isso devido à região possuir cargas poluentes significativas. É possível encontrar a situação inversa, onde não existe o risco de poluição, com altos índices de vulnerabilidade. Essa característica se deve pelo fato do risco de poluição não depender da vulnerabilidade (BÓS, 2012).

Existem vários métodos de se estimar a vulnerabilidade natural de aquíferos, como por exemplo, o índice **DRASTIC** (**D**= Profundidade da zona não saturada, **R**= Recarga do aquífero, **A**= Material do aquífero, **S**= Tipo de solo, **T**= Topografia, **I**= Influencia da zona vadosa e **C**= Condutividade hidráulica do aquífero); o índice **AVI** (*Aquifer Vulnerability Index*) ; o método **GOD** (**G** = grau de confinamento hidráulico da água subterrânea; **O** = ocorrência de estratos litológicos; **D** = profundidade do nível d'água subterrânea); entre outros.

O **DRASTIC** é um método qualitativo baseado nas características hidrogeológicas, foi desenvolvido para avaliar áreas maiores que 0,4 Km<sup>2</sup>. Os parâmetros do método recebem valores com variação de 1 e 10, que posteriormente é multiplicado por um peso relativo com valores variando em 1 e 5. Para se ter o índice final do método, é necessário que se realize a soma dos produtos de cada índice com seu respectivo peso, o resultado terá valores com variação entre 23 a 226. Apresentará maior vulnerabilidade aqueles que obtiverem maiores valores, como pode ser visto na Tabela 1. (BÓS, 2012).

**Tabela 1 - Classes de vulnerabilidade do índice DRASTIC**

<b>Índice DRASTIC</b>	<b>Vulnerabilidade</b>
> 199	Muito Alta
160 – 199	Alta
120 – 159	Intermediária
< 120	Baixa

**Fonte:** ALLER et al. 1987 apud BÓS, 2012.

Alguns estudos da vulnerabilidade natural de aquíferos vêm sendo realizados com a metodologia DRASTIC, como por exemplo, Camponogara (2006) em sua dissertação de mestrado aplica o método DRASTIC para determinar a vulnerabilidade natural no sistema aquífero Guarani e analisa os parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas em Quaraí/BR e Artigas/UY. No Estudo de Impacto Ambiental (EIA)/ Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) realizado para a Barragem do Marnel em Alentejo/Portugal no ano de 2013, utilizou o método DRASTIC para caracterizar a vulnerabilidade natural do aquífero no qual estava inserido o projeto da Barragem. Dessa forma demonstra-se que o método DRASTIC é bastante utilizado.

Já o índice AVI, é baseado em duas características físicas:  $d_i$  - a espessura de cada camada sedimentar acima da zona saturada e a  $k_i$  - condutividade hidráulica estimada em cada uma dessas camadas sedimentares. Para se obter o mapa da vulnerabilidade é preciso se basear nos dois parâmetros utilizando, sendo a resistência hidráulica (C) obtida por meio da seguinte equação (SANTOS & PEREIRA, 2011):

$$C = \sum d_i/k_i$$

A partir dos valores de resistência hidráulica ou seu logaritmo é realizada a classificação da vulnerabilidade em extremamente alta, alta, moderada, baixa e extremamente baixa, como representado na tabela 2 (QUELUZ & STURARO, 2011). Este método considerado limitado por não possuir em suas características de análise as variáveis hidrogeológicas (BÓS, 2012).

**Tabela 2 - Classe de vulnerabilidade do índice AVI**

<b>Resistência hidráulica (anos)</b>	<b>log C</b>	<b>Vulnerabilidade</b>
<b>0 – 10</b>	< 1	Extremamente alta
<b>10 – 100</b>	1 e 2	Alta
<b>100 – 1000</b>	2 a 3	Moderada
<b>1000 – 10.000</b>	3 a 4	Baixa
<b>&gt; 10.000</b>	> 4	Extremamente baixa

**Fonte:** QUELUZ & STURARO, 2011.

O método AVI vem sendo usado para se estimar a vulnerabilidade natural de aquíferos em muitas regiões do Brasil, em estudo realizado por Santos & Pereira (2011) foi utilizado este método para classificar a vulnerabilidade das águas subterrâneas na região de Campos dos Goytacazes, no estado do Rio de Janeiro. Queluz & Sturaro (2011) estimaram a vulnerabilidade do aquífero Guarani no município de Ribeirão Bonito no estado de São Paulo, a partir do índice AVI.

O método GOD foi desenvolvido, em 1987 por Foster, é um método simples de se aplicar, pois se utiliza de apenas três parâmetros. É uma metodologia que visa medir o quanto um determinado aquífero está suscetível a contaminação (ROMEIRO, 2012).

Os três parâmetros analisados pelo método estão interligados em três fases, cada uma delas recebe um peso, cujo produto dos parâmetros gera o índice de vulnerabilidade. As fases e os seus respectivos pesos seguem a ordem de: G – grau de confinamento com intervalo de 0 – 1,0; O – ocorrência litológica em uma escala de 0,4 – 1,0 e D – distância do lençol freático com variação de 0,6 – 1,0 (FOSTER & Hirata 1993).

Como resultado final da multiplicação dos parâmetros, tem-se a classificação da vulnerabilidade, com sua escala variando de insignificante à extrema, conforme mostra a tabela.

**Tabela 3 - Vulnerabilidade natural à poluição do aquífero**

<b>Índice GOD</b>	<b>Vulnerabilidade</b>
<b>0 – 0,1</b>	Insignificante
<b>0,1 – 0,3</b>	Baixa
<b>0,3 – 0,5</b>	Média
<b>0,5 – 0,7</b>	Alta
<b>0,7 – 1,0</b>	Extrema

**Fonte:** FOSTER *et al.*, 2003.

O método GOD apresenta vantagens em sua aplicação tais como:

- a) Facilidade na geração dos mapas de vulnerabilidade à poluição de aquíferos;
- b) Número de classes de análises reduzidas;
- c) Simplicidade no manejo do produto final;
- d) Baixo custo para a realização do estudo.

Por ser um método de aplicação simples, o uso do índice GOD vem sendo amplamente utilizado nos estudos que estimam a vulnerabilidade natural em aquíferos. Nascimento (2013) utilizou o índice GOD para mapear a vulnerabilidade do aquífero à contaminação no município de Boa Vista do Cadeado no estado do Rio Grande do Sul. Brito

(2013), utiliza o método GOD para determinar a vulnerabilidade natural à contaminação de aquíferos no município de Campo Formoso no estado da Bahia. Monteiro (2003) realizou estudo da vulnerabilidade e distribuição espacial dos nitratos no aquífero Barreiras nos bairros de Ibura e Jordão em Recife/PE. No estado do Amapá, no município de Macapá Oliveira *et al.*(2004) aplicou a metodologia GOD com o intuito de avaliar a vulnerabilidade natural e a sazonalidade do aquífero livre no loteamento Marabaixo III.

Além dessas metodologias de determinação da vulnerabilidade natural de aquíferos, existem muitas outras, que servem para caracterizar a vulnerabilidade geral, pois dependendo das condições de estudo pode-se utilizar outros métodos, que mais se enquadra nas situações encontradas, bem como a partir dos dados disponíveis. A Tabela 4 apresenta alguns métodos, seus parâmetros e sua origem.

**Tabela 4.** Principais métodos de avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos.

MÉTODO	AValiação DE	PARÂMETROS DA ANÁLISE	REFERÊNCIAS
DRASTIC	Vulnerabilidade Geral	<b>D</b> - Profundidade do topo do aquífero <b>R</b> – Recarga <b>A</b> - Material do aquífero <b>S</b> - Tipo de solo <b>T</b> – Topografia <b>I</b> - Impacto no aquífero da zona não saturada <b>C</b> - Condutividade hidráulica	ALLER <i>et al.</i> (1985)
IS	Vulnerabilidade Geral	<b>D</b> - Profundidade do topo do aquífero <b>R</b> – Recarga <b>A</b> - Topo de aquífero <b>T</b> – Topografia <b>LU</b> - Ocupação do solo	FRANCÊS <i>et al.</i> (2001) PARALTA <i>et al.</i> (2001) RIBEIRO (2005)
GOD	Vulnerabilidade Geral	<b>G</b> - Ocorrência de água subterrânea <b>O</b> - Litologia da zona não satura <b>D</b> - Profundidade da água subterrânea	FOSTER & HIRATA (1988)
SINTACS	Vulnerabilidade Geral	<b>S</b> - Profundidade do topo do aquífero <b>I</b> – Recarga <b>N</b> - Impacto no aquífero da zona saturada <b>T</b> - Tipo de solo <b>T</b> - Material do aquífero <b>C</b> - Condutividade hidráulica <b>S</b> – Topografia	CIVITA <i>et al.</i> (1990)
EPPNA	Vulnerabilidade Geral	Características litológicas e Hidrogeologia do sistema aquíferos	PLANO NACIONAL DE ÁGUA (1998) ARTUSO <i>et al.</i> (2004)
AVI	Vulnerabilidade Geral	<b>Ej</b> - espessura de cada camada acima do aquífero superior <b>Kj</b> - Condutividade hidráulica	VAN STEMPPVOORT (1993)

## 2.6 POLUIÇÃO E CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Quando se trata de água subterrânea é preciso observar que a contaminação dos aquíferos está diretamente ligada ao tipo de atividade exercida na superfície. Costuma-se mapear a vulnerabilidade natural, como um ponto inicial para a avaliação do perigo que sofre determinado aquífero.

Segundo Todd (1980), a poluição das águas subterrâneas pode ser definida como uma degradação conduzida artificialmente na qualidade da água natural, prejudicando o uso da água e criando riscos à saúde pública, propagando doenças por meio da toxicidade. Uma das origens da poluição é o despejo de águas residuárias de maneira inadequada no ambiente, águas essas, oriundas de uma grande variedade de utilização.

Existem várias fontes e causas de poluição das águas subterrâneas, podendo ser classificadas municipais (águas residuais domésticas e pluviais; cemitério; lixão; fossa negra e séptica e vazamento de esgotos); industriais (águas oriundas de refrigeração, fabricação e processamento de produtos; atividades de mineração), agrícolas (retorno de fluxo de irrigação; resíduos de animais; aplicação de fertilizantes no solo), além das poluições dispostas diretamente no interior do solo. Outra classificação das fontes poluidoras é devido à forma como está ocorrendo a poluição, podendo ser: uma fonte pontual, fonte linear e fonte difusa (TODD, 1980).

A fonte de contaminação pontual, segundo Feitosa e Manoel Filho (2000), ocorre quando a fonte está concentrada numa pequena superfície, como por exemplo, um poço tubular, ou escavado, efluentes de atividades industriais, de fossas sépticas ou negras, vazamento de tanque que armazenam combustíveis em postos de combustíveis, entre outros. (FOSTER e HIRATA, 1993).

O tipo de instalação sanitária (fossas negras ou sépticas) irá determinar o risco de contaminação por essas fontes, bem como: a carga hidráulica e a profundidade de descarga abaixo da superfície (FOSTER & HIRATA, 1993). Mesmo quando são bem construídas as fossas sépticas geram cargas de nitrogênio com capacidade de contaminar as águas subterrâneas. Já quando se trata de fossas negras, o problema se torna mais grave, pois além do nitrato, tem baixa remoção de organismos patogênicos, sendo bastante grave em áreas densamente ocupadas, onde o abastecimento de água é feito por poços escavados, como também por poços tubulares dependendo da direção do fluxo das águas subterrâneas (HIRATA & FERREIRA, 2001).

É possível encontrar compostos tóxicos sintéticos em efluentes de áreas residências, devido à instalação de postos de combustíveis e outros, isso porque o armazenamento dos tanques de combustíveis é feitos no subsolo, podendo assim contaminar de águas subterrâneas. É possível constatar muitos postos de combustíveis nas cidades e sua quantidade tende a aumentar, com isso a dificuldade de se achar uma contaminação torna-se mais difícil. (FOSTER & HIRATA, 1993).

Para empreendimentos como postos de combustíveis que possuem potencial poluidor, podendo gerar acidentes ambientais, tem-se a Resolução n° 273/2000 do CONAMA que dá diretrizes para o licenciamento ambiental de posto de abastecimento e outros. Como exigência do licenciamento ambiental tem-se a: caracterização hidrogeológica com definição do sentido de fluxo das águas subterrâneas; identificação das áreas de recarga; localização de poços de captação destinados ao abastecimento público ou privado registrados; considerando as possíveis interferências das atividades com corpos d'água superficiais e subterrâneos.

Quando se trata de fontes de contaminação linear a poluição tem comportamento alinhado (TODD, 1980), como por exemplo, águas superficiais contaminadas que possam a vir entrar em contato com as águas subterrâneas (FEITOSA e MANOEL FILHO, 2000).

No momento que se trata de fonte de contaminação difusa, diz-se uma poluição que ocupa uma grande área, que pode ou não ser claramente definida (TODD, 1980), podendo destacar os lixões, cemitérios e áreas agrícolas (FEITOSA e MANOEL FILHO, 2000).

Os cemitérios apresentam um grave problema nos centros urbanos com sérias conseqüências ambientais, em especial, para as águas subterrâneas. Através do processo de lixiviação a água proveniente de chuvas infiltra nos túmulos, levando para a zona não saturada o necro - chorume (líquido que possui compostos orgânicos com odor desagradável, tonalidade castanho - acinzentada e organismos patogênicos), dessa forma atingindo a zona saturada podendo poluir o aquífero (KEMERICH *et al.*, 2010).

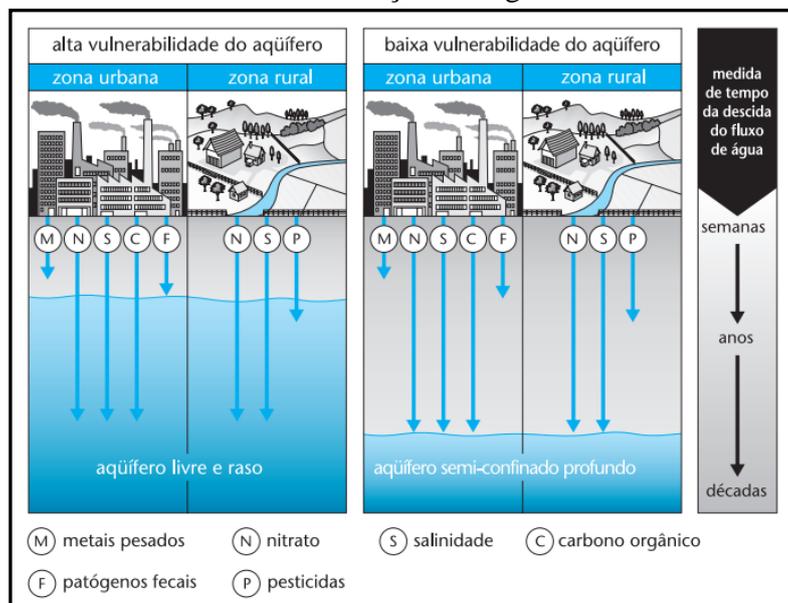
A Resolução n° 355/2003 e n° 368/2006 do CONAMA que dispõe sobre licenciamento de cemitérios, proíbe a instalação de cemitérios em áreas de mananciais de abastecimento urbano, terrenos cársticos onde se predomina rios subterrâneos. Essas resoluções evidenciam a importância da construção de cemitérios a uma distancia adequada das águas subterrâneas, medidos em época de cheia, conforme orienta o órgão responsável,

Os resíduos sólidos descartados de forma inadequada, como é caso dos “lixões”, possui uma carga contaminante que dependendo da origem, composição e da umidade em que foram dispostos no ambiente, são considerados fontes importantes de contaminação

(FOSTER & HIRATA, 1993). Ainda segundo Foster & Hirata (1993), muitas dessas instalações são autorizadas pelo órgão ambiental sem recomendações sanitárias, além de existir disposições clandestinas. Esse tipo de situação gera uma grande dificuldade quando se quer determinar a carga contaminante, pois não é possível conhecer a origem e composição dos resíduos e com a falta desse tipo de informação o problema de contaminação das águas subterrâneas torna-se mais grave e preocupante.

Vale destacar que uma determinada carga poluidora pode levar, dias, meses, anos e décadas para contaminar um aquífero, conforme Figura 5 (FOSTER *et al.*, 2006). Um aquífero livre (raso) está mais susceptível a contaminação quando comparado com um aquífero confinado, portanto a vulnerabilidade natural dos aquíferos livres tende a ser maior.

A zona não-saturada merece especial atenção, uma vez que representa a primeira e mais importante defesa natural contra a contaminação das águas subterrâneas



**Figura 5.** Comparação da vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação

Fonte: FOSTER *et al.*, 2006.

O estudo do tipo de ocorrência litológica em que está situada o aquífero é importante, pois o aquífero pode estar mais protegido ou mais susceptível a uma determinada contaminação. O estrato litológico serve como uma camada filtrante e esta relacionada ao tipo de solo e formação da região que se encontra o aquífero. Alguns minerais, como por exemplo, o ferro, sódio, cloreto, fluoreto, podem estar presente em altas taxas nas águas subterrâneas, devido às características do solo, dessa forma nem sempre se apresentam como sinônimos de contaminação por ação antrópica.

Outro estudo de grande importância para a proteção das águas subterrâneas é a estimativa da superfície potenciométrica que é o lugar geométrico dos pontos que determinam a altura do nível d'água de um aquífero, determinado em relação ao *Datum* estabelecido, o que representa a direção do fluxo das águas subterrâneas. (DINIZ E MICHALUATE, 2001).

## 2.7 ASPECTOS LEGAIS

O Brasil é um país que possui vários sistemas (leis, decretos, resoluções) para a regulamentação das águas, em que o conceito de recurso hídrico passou a ser utilizado a partir da Constituição de 1988. A Lei nº 9.433, de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, definindo-o como sendo um bem de domínio público, é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico (ANA, 2007). Porém desde o Código das Águas de 1934, já se tinha uma preocupação com a maneira de uso das águas, incentivando o aproveitamento e o tratamento como sendo princípios de desenvolvimento (OLIVEIRA, 2012).

O que ocorre atualmente é uma polêmica a cerca da gestão dos mananciais de águas subterrâneas, no Art. 20 da Constituição Federal tem-se que quando um rio banha mais de um estado a unidade de gestão é a bacia hidrográfica, sendo de responsabilidade da União a gestão dessas águas. Já no Art. 26 da Constituição Federal diz que as águas subterrâneas são de domínio estadual, porém não dispõe sobre casos de águas subterrâneas em situação interestadual. Dessa forma a gestão dos aquíferos que se apresentam em mais de um estado, como no caso do aquífero Parecis, fica sendo de responsabilidade da União.

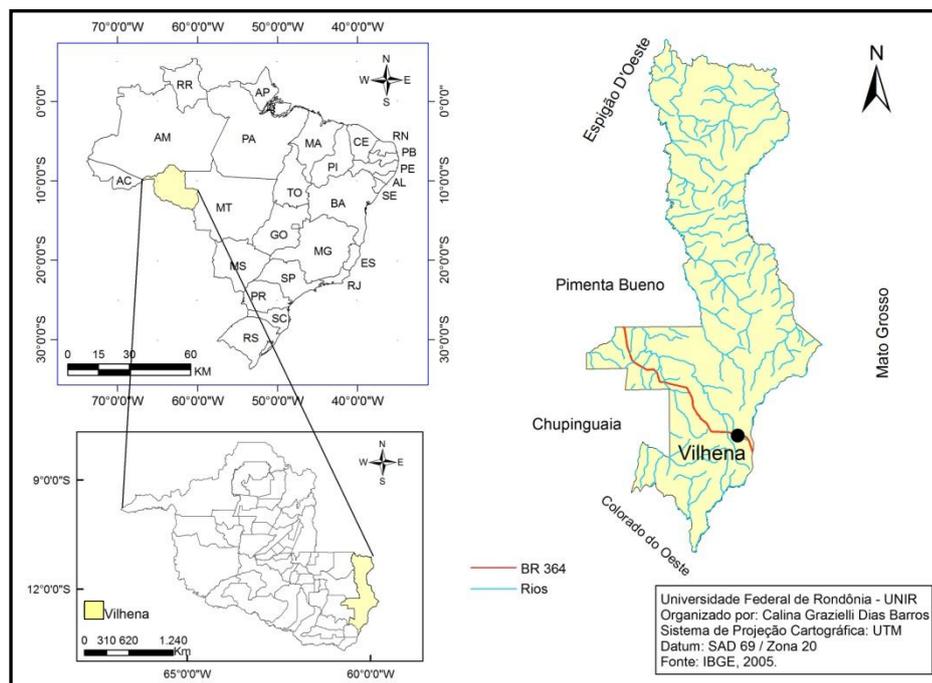
A Portaria Federal n.º 231 (de 31 de julho de 1998) considera, que para o conhecimento do potencial hídrico subterrâneo de uma área, o seu dimensionamento, a sua preservação, conservação e a racionalização do seu uso é necessário o desenvolvimento de estudos geológicos e hidrogeológicos de detalhe. Tendo como finalidade conhecer e definir as condições de ocorrência do recurso subterrâneo; identificar a situação atual e o potencial quanto aos riscos de contaminação; o grau de vulnerabilidade frente aos diversos fatores ambientais e fontes de poluição, e estabelecer as medidas corretivas ou preventivas necessárias para sua proteção e conservação frente a estes condicionantes.

### 3- MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Vilhena está localizado no sudoeste da Amazônia Legal Brasileira, encontra-se entre os paralelos 12° 20,46' e 12° 26,82' de latitude Sul e os meridianos 59° 46,44' e 60° 48,60' de longitude Oeste de Greenwich. Situa-se na parte sul do estado de Rondônia (Figura 6). Segundo IBGE (2010) o município de Vilhena possui uma área de aproximadamente 11.518,941Km<sup>2</sup> e uma população de 76. 202 habitantes. A área urbana apresenta uma população de 72. 218 habitantes e a área rural 3. 984 habitantes. A economia do município é baseada na produção de grãos e pecuária, e tem sido palco de intensa ocupação e diversas implantações de indústrias.

Segundo dados do IBGE (2014) o município de Vilhena possui clima equatorial e é considerada uma zona úmida, apresentando apenas 3 meses de seca, com temperatura média maior que 18°C, classificada como uma região quente.



**Figura 6.** Mapa de localização do município de Vilhena – RO

Segundo Gava o abastecimento público de água tratada no município é realizado pelo Serviço de Autônomo de Água e Esgoto (SAAE). A rede de distribuição de água apresenta cerca de 24.850 ligações ativas, existindo apenas 9.000 hidrômetros que registram o

consumo, o que acaba por estimular o desperdício desse recurso, uma vez que não se tem o controle do uso da água (Informação verbal<sup>1</sup>)

A fonte de abastecimento de água para uso doméstico, industrial, irrigação, além do desenvolvimento das atividades agrícolas provém integralmente do Aquífero Parecis (CAJAZEIRAS,2012). “Vilhena está localizada na parte leste do aquífero Parecis, pertencendo a Bacia do Parecis, na região limítrofe entre os estados do Mato Grosso e Rondônia” (OLIVEIRA e BRITO, 1998). Quando comparada com as demais cidades do estado de Rondônia, apresenta um diferencial em relação a sua altitude, por fazer parte da Serra dos Parecis, (localizando-se no “pé” da Serra), justificando seus altos valores de altitude, conforme apresenta a tabela 5.

**Tabela 5.** Valores de altitude dos municípios do estado de Rondônia.

ID	Municípios	Altitude (m)	ID	Municípios	Altitude (m)
1	Alta Floresta D'Oeste	338	27	Mirante da Serra	212
2	Alto Alegre dos Parecis	397	28	Monte Negro	155
3	Alto Paraíso	128	29	Nova Brasilândia D'Oeste	259
4	Alvorada D'Oeste	182	30	Nova Mamoré	151
5	Ariquemes	139	31	Nova União	241
6	Buritis	153	32	Novo Horizonte do Oeste	229
7	Cabixi	236	33	Ouro Preto do Oeste	252
8	Cacaulândia	161	34	Parecis	296
9	Cacoal	177	35	Pimenta Bueno	186
10	Campo Novo de Rondônia	206	36	Pimenteiras do Oeste	170
11	Candeias do Jamari	85	37	Porto Velho	87
12	Castanheiras	214	38	Presidente Médice	178
13	Cerejeiras	263	39	Primavera de Rondônia	245
14	Chupinguaia	340	40	Rio Crespo	124
15	Colorado D'Oeste	419	41	Rolim de Moura	227
16	Corumbiara	269	42	Santa Luzia D'Oeste	265
17	Costa Marques	145	43	São Felipe D'Oeste	270
18	Cujubim	111	44	São Francisco do Guaporé	166
19	Espigão D'Oeste	262	45	São Miguel do Guaporé	191
20	Governado Jorge Teixeira	202	46	Seringueiras	186
21	Guajará Mirim	133	47	Teixeirópolis	191
22	Itapuã do Oeste	99	48	Theobroma	192
23	Jaru	162	49	Urupá	197
24	Ji-Paraná	157	50	Vale do Anari	158
25	Machadinho D'Oeste	144	51	Vale do Paraíso	154
26	Ministro Andreaza	266	52	Vilhena	595

Fonte: IBGE, 2010.

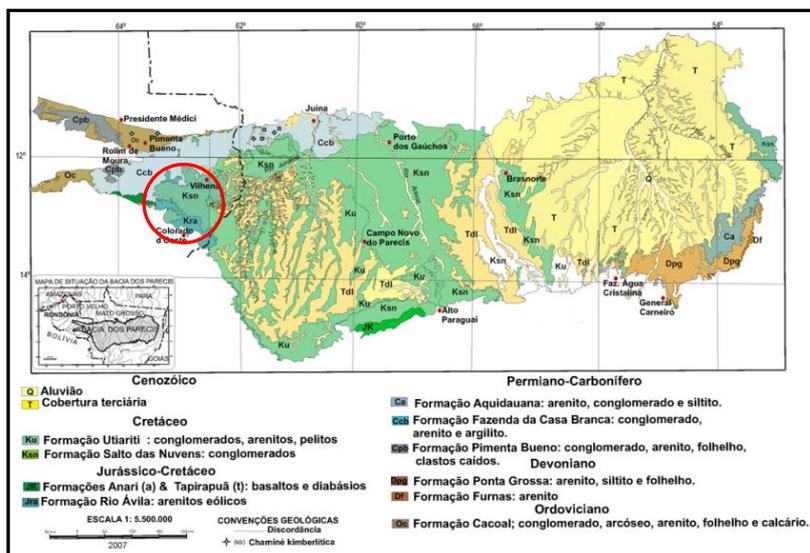
Segundo Gava, o município não apresenta estação de tratamento de esgoto, sendo lançados os efluentes em fossas negras e sépticas, bem como uma parcela é lançada diretamente em rios e igarapés sem tratamento algum (Informação verbal<sup>1</sup>).

Na área urbana do município é encontrado apenas um cemitério municipal com área de aproximadamente 7,34 Km<sup>2</sup>. Apresenta ainda 3 lixões desativados, sendo que o terceiro ficou inoperante no ano de 2013, conforme Gava (Informação verbal<sup>1</sup>). Em julho de 2013 foi inaugurado no município um Aterro Sanitário, para onde são destinadas aproximadamente 60 toneladas diárias de resíduos sólidos, podendo alcançar 130 ton/dia com possibilidade de atender os municípios do Cone Sul do estado. (MARILZA, 2014).

### 3.2 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

A Bacia do Parecis está subdividida em: Formação Pimenta Bueno, Formação Pedra Redonda, Formação Casa Branca e Grupo Parecis. Porém, para o estudo do projeto de monitoramento de água subterrânea – RIMAS, é levado em consideração o Grupo Parecis (CAJAZEIRAS, 2012). Segundo Oliveira e Leonardos (1943 apud QUADROS, 2007), o Grupo Parecis possui “camadas interestratificadas de arenito vermelho ou amarelado, contendo concreções silicosas, entre as quais predominam pederneiras, e escassa camada de argila arenosa”.

O Grupo Parecis está subdividido em Formação Corumbiara, Formação Rio Ávila, Formação Anari e Formação Utiariti. Na região urbana de Vilhena predomina a Formação Utiariti (Figura 7).



**Figura 7.** Mapa geológico da Bacia dos Parecis.

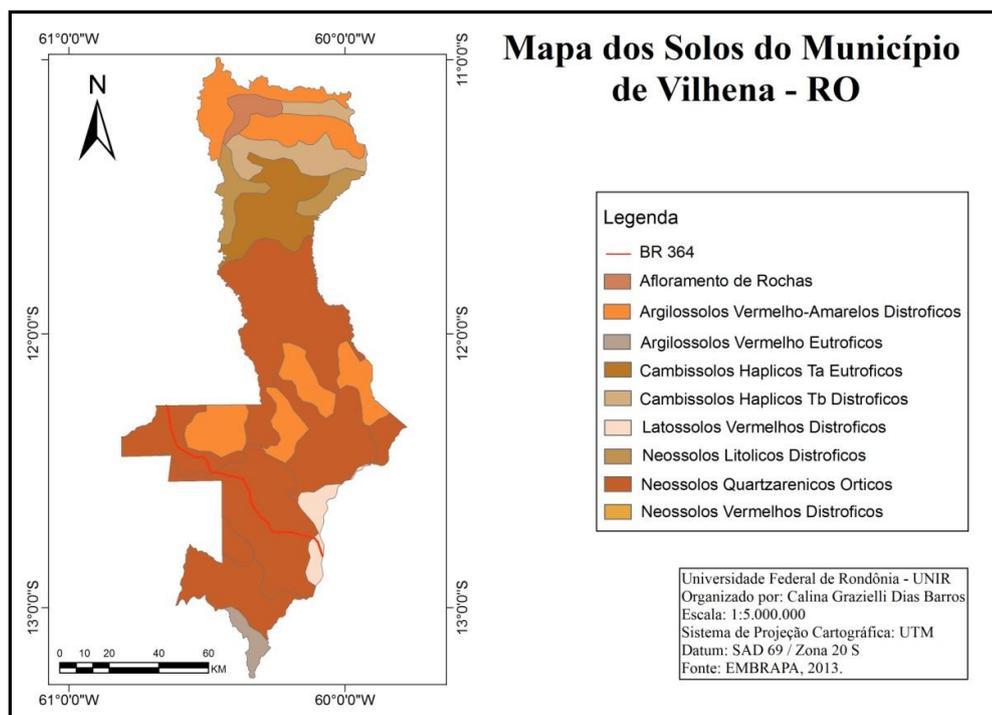
**Fonte:** BAHIA *et al.*, 2007.

<sup>1</sup> Em Entrevista realizada com o responsável técnico (químico) da SAAE em Vilhena dia 08 de Agosto de 2013.

Os litotipos encontrados na Formação Utiariti são: Arenito, argilito, conglomerados e siltitos e segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)/NBR 6502/1995, descreve cada litotipo da seguinte maneira:

- a) **Arenito:** Rocha sedimentar com granulometria de areia, cujos grãos são ligados entre si por um cimento. O tipo de cimento é que determina as propriedades de resistência, podendo ser silicoso, argiloso, calcífero, ferruginoso, etc.
- b) **Argilito:** Rocha sedimentar constituída essencialmente por partículas argilosas, sem estratificação e de aspecto maciço e homogêneo.
- c) **Conglomerado:** Rocha sedimentar formada por fragmentos arredondados de outras rochas (normalmente seixos), aglutinados por cimento.
- d) **Silito:** Rocha sedimentar proveniente de litificação de sedimentos com granulometria silte.

Segundo Embrapa (2013), em uma escala de 1:5.000.000 o município de Vilhena possui as seguintes tipos de solos: Afloramento de Rochas, Argilossolos Vermelho-Amarelos Distróficos, Argilossolos Vermelho Eutróficos, Cambissolos Haplicos Ta Eutróficos, Cambissolos Haplicos Tb Distróficos, Latossolos Vermelhos Distróficos, Neossolos Litólicos Distróficos, Neossolos Quartzarênicos Órticos, Neossolos Vermelhos Distróficos, conforme a Figura 8.



**Figura 8.** Mapa Solos do município de Vilhena - RO.

Como pode ser observado na Figura 8 o tipo de solo predominante no município de Vilhena são Neossolos Quatzarênicos Órticos, que apresentam textura arenosa em todos os horizontes, tendo nas frações areia grossa e areia fina, são essencialmente quartzosos e apresentam ausência de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo) (EMBRAPA, 2009).

### 3.3 COLETA DE DADOS

Para aplicação do método *GOD* é necessário obter informações referentes aos poços localizados na área de estudo, perfil rochoso do poço, seu grau de confinamento, nível estático ou nível da água subterrânea. Dessa forma foi realizada uma pesquisa no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) e na empresa responsável pelas perfurações de alguns poços do município de Vilhena.

Segundo o SIAGAS em Vilhena existem 167 poços cadastrados, entretanto somente 32 foram utilizados, pois apresentaram informações completas dos poços, como: as coordenadas geográficas; estrato litológico; o nível estático; bem como autorização para realização dessa pesquisa por parte dos proprietários dos poços. Foram obtidas as mesmas informações de mais 4 poços com uma empresa privada, totalizando, assim 36 poços para a estimativa da vulnerabilidade natural.

Foram coletados dados em campo, através de visitas aos proprietários dos poços, sendo obtidas através do GPS Garmin Etrex Vista H 2.8", a cota do terreno onde estão localizados os poços e confirmada as coordenadas geográficas dos mesmos (Apêndice A). As leituras das informações do GPS foram coletadas no sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator/UTM, adotando-se o fuso 20S, o datum horizontal SAD69. Todas esses dados foram tabelados, sistematizados, e então usados nas avaliações espaciais.

Foram obtidas imagens do *Google Earth* e imagens registradas em campo, coordenadas geográficas e cota do terreno dos pontos com possíveis potenciais de contaminação, sendo eles: antigos lixões do município, cemitério municipal e postos de combustíveis, localizados no meio urbano (ver apêndice B).

### 3.4 MÉTODO GOD

O método de Foster e Hirata (1993) diz respeito ao Grau de confinamento, Ocorrência de estratos de cobertura e Distância até o lençol freático – GOD (Figura 9), é uma adaptação da versão original do modelo para as condições brasileiras, a partir das características Caribenhas, que na década de 90 foi amplamente testado no Brasil. (FOSTER *et al.*, 2006).

O índice de vulnerabilidade natural obtido pelo método GOD é uma multiplicação dos valores encontrados em cada um dos três parâmetros avaliados pelo método. O primeiro parâmetro do modelo, G - Grau de confinamento, leva em consideração o tipo de aquífero, sendo atribuídos valores que variam de 0 a 1,0. O segundo parâmetro, O - Ocorrência de estratos de cobertura, classifica os estratos acima da zona saturada do aquífero em termos do grau de consolidação e caráter litológico, e são atribuídos valores que variam em uma escala de 0,4 a 1,0; já o último parâmetro, D - Distância até o lençol freático, tem sua escala variando entre 0,6 a 1,0.

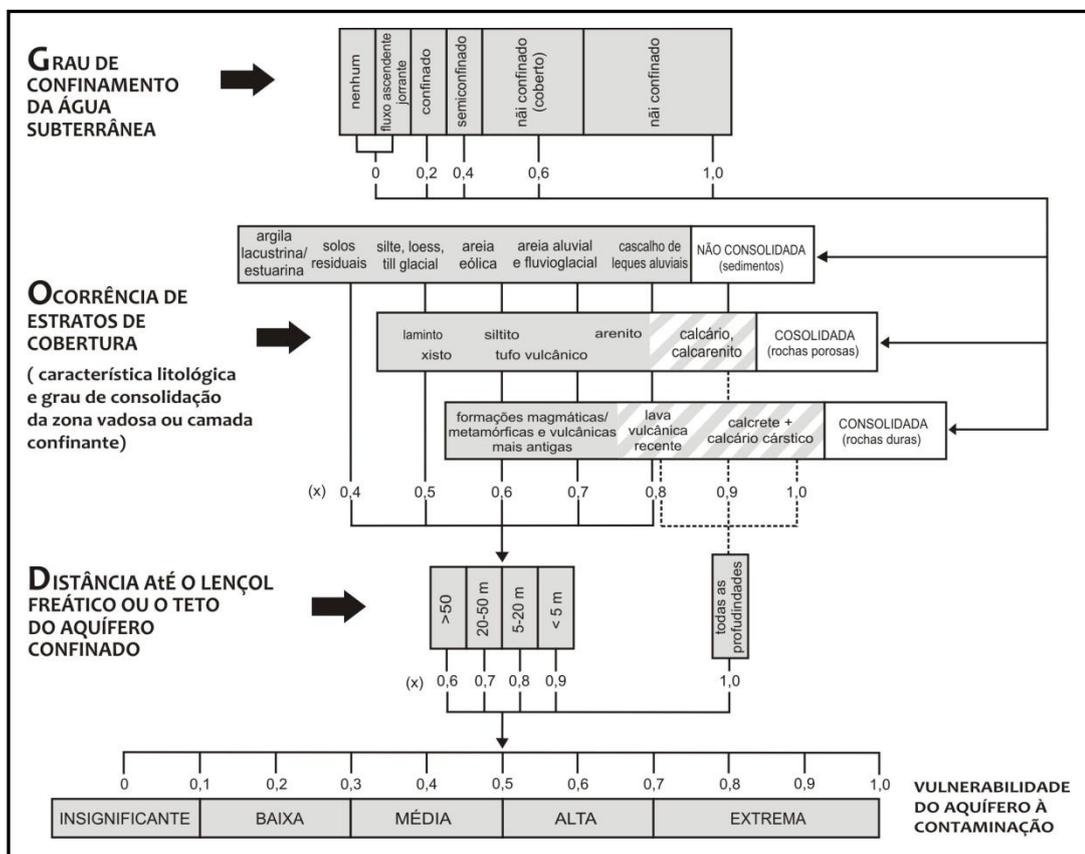


Figura 9. Metodologia GOD (Foster et al., 2003) para avaliação da vulnerabilidade de aquíferos.

O valor da vulnerabilidade encontrado pode ser classificado em uma das cinco faixas, sendo que quando o valor estiver entre 0 a 0,1 pode-se dizer que a vulnerabilidade natural do aquífero é desprezível; baixa para valores entre 0,1 a 0,3; média para 0,3 a 0,5; alta para 0,5 a 0,7 e extrema quando o valor ficar entre 0,7 a 1,0. Cabe destacar, que quando o valor do índice encontrado for o que limita as faixas adota-se a maior vulnerabilidade.

### 3.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Para a realização dos mapas confeccionados no programa *Surfer 8.0* utilizou-se o sistema de coordenadas UTM, fuso 20S, já os mapas realizados no programa *Arc Gis 9.2* foram realizados a partir de coordenadas geográficas, porém todos foram feitos com a base de referência o Datum SAD69.

A partir dos dados coletados nas diferentes fontes disponíveis gratuitamente na *Internet* (SIAGAS, EMBRAPA e IBGE), empresa privada e dos dados obtidos em campo, foram confeccionados mapas de localização da área de estudo, da litologia, da altitude, do nível estático dos poços, da superfície pontenciométrica, das fontes de possíveis contaminações e da vulnerabilidade natural do aquífero. A delimitação da área do estudo e o mapa litológico foram realizados com uso do *ArcGIS 9.2*, com base na malha digital do IBGE e da EMBRAPA os demais mapas foram todos feitos no programa *Surfer 8*.

Realizou-se a montagem do banco de dados no programa computacional *Microsoft Excel*, referente aos dados coletados dos poços cadastro no SIAGAS, empresa privada, bem como os dados obtidos em campo. Esse banco de dados foi utilizado para a interpolação no *Surfer 8* utilizou-se a metodologia de interpolação matemática krigagem, sendo o método geostatístico mais recomendado e considerado o melhor na minimização do erro (KITANIDIS, 1997 e KITANIDIS, 1999).

“Krigagem é um processo de estimação por médias móveis, de valores de variáveis distribuídas no espaço a partir de valores adjacentes, enquanto considerados como interdependentes por uma função denominada semivariograma” (LANDIM, 2000).

“Um semivariograma pode ser definido como a metade da variância das diferenças entre valores da variável de interesse em pontos separados por uma distância, considerando a média quadrática das diferenças entre os valores nos pontos, distribuídos no espaço” (DALTO, 2002). Com os dados organizados tem-se os mapas de isovalores.

Com o uso do programa *Surfer 8*, foi confeccionado o mapa da tendência de direção de fluxo das águas subterrâneas, a partir da superfície pontenciométrica, para gerar esses

mapas foram usados o nível estático retirado do SIAGAS e as cotas altimétricas dos poços, obtidas em campo.

De posse de todas as informações coletadas e após aplicada a metodologia GOD, os resultados da vulnerabilidade natural do aquífero foram espacializados através do *Surfer 8*, em seguida foi feito o *Overlay* (ferramenta do programa *Surfer* que permite cruzar mapas dentro de uma mesma projeção cartográfica) com pontos de possíveis contaminação, direção do fluxo e os poços.

#### 4- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi observado no município de Vilhena que o abastecimento doméstico, industrial e o desenvolvimento de atividades agrícolas acontecem através das águas subterrâneas, constatou-se nas visitas de campo que algumas indústrias, residências e áreas agrícolas, possuem seus próprios poços e caixas de águas, não utilizando a água fornecida pelo SAAE, isso pode ser explicado devido aos problemas enfrentados por intermitência no abastecimento e redução no custo com a utilização de água.

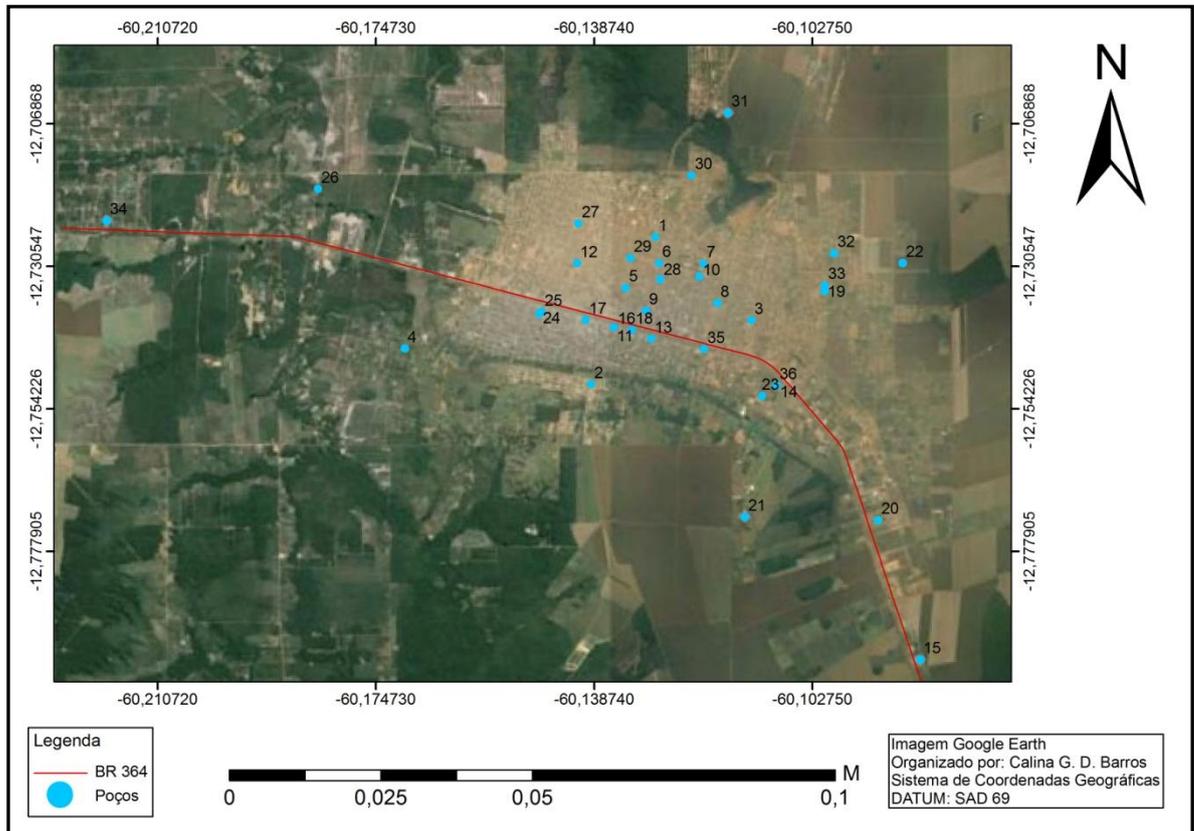
Essa prática pode apresentar riscos de contaminação ao aquífero, pois conforme é possível observar na Figura 10, muitas vezes não foram seguidos os padrões de construção e segurança de poços preconizados nas normas ABNT/NBR 12.212/2006 e ABNT/NBR 12.244/2006, (OSÓRIO, 2004).



**Figura 10.** Poços particulares: Poço visitado e não utilizado no estudo (A) Poço nº 4 (B).

A partir do levantamento dos dados realizados no SIAGAS, na empresa privada, e nas saídas de campo, constatou-se que dos 36 poços tubulares selecionados para o estudo, 15 pertencem ao SAAE, para a realização do abastecimento municipal; 10 poços tubulares de cunho particular (industrial, construtoras, distribuidores de grãos e petróleo e residencial); 2 poços particulares para abastecimento de conjuntos habitacionais; 2 poços particulares pertencentes a igrejas; 1 poço de abastecimento em escola; 4 poços da Rede Integrada de

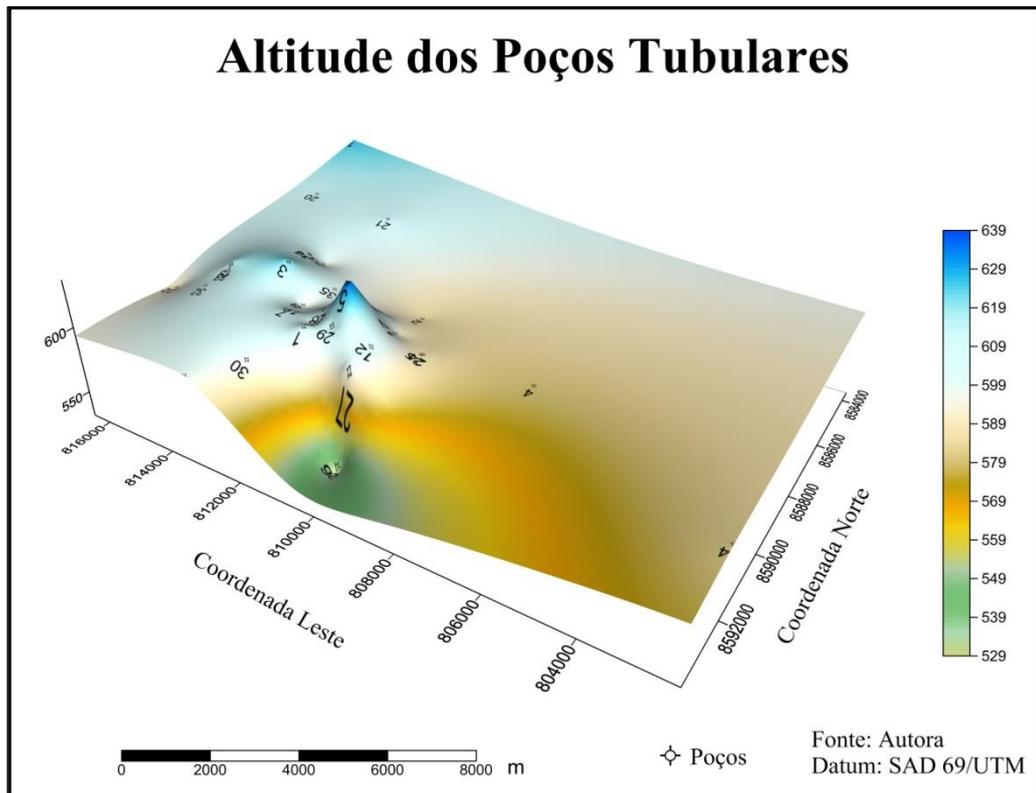
Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS); 1 poço de responsabilidade da CPRM e 1 de abastecimento da Associação Rural. É possível observar na Figura 11, que os poços utilizados para realização do estudo estão distribuídos em sua grande maioria na área urbana do município de Vilhena.



**Figura 11.** Mapa de localização dos poços selecionados para o estudo.

#### 4.1 ALTITUDE

A análise e visualização da Figura 12, que representa a superfície topográfica é muito importante, pois suas informações têm um grande valor para as interpretações do sentido e movimento da água subterrânea, contribuindo assim com compressão dos resultados obtidos através do método GOD.



**Figura 12.** Mapa da altitude dos poços do estudo.

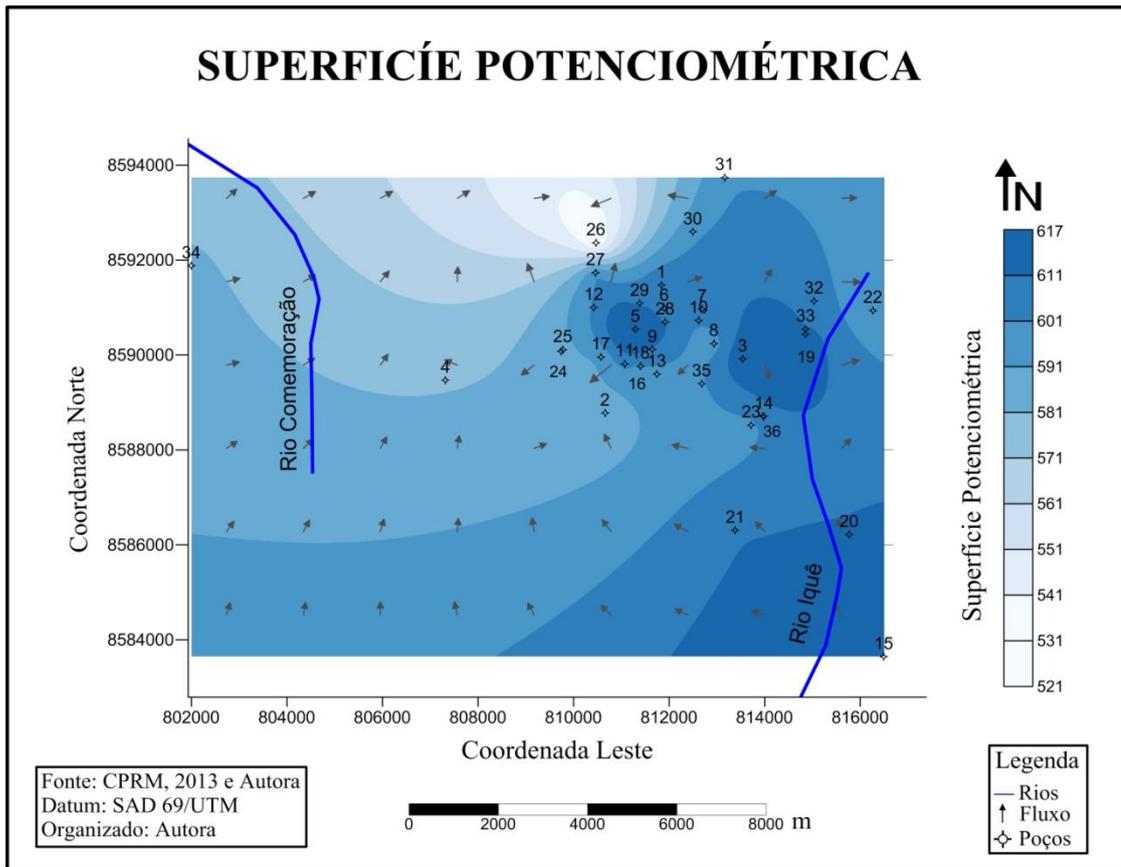
**Observação:** O mapa foi girado para uma melhor visualização.

É possível observar na Figura 12 que o poço nº 26 está localizado na região de menor altitude da área de estudo, 529m e o poço nº 5 na de maior altitude 639m, sendo que foi obtida uma altitude média de 601 m.

## 4.2 SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA

A variação topográfica encontrada na área de estudo, pode explicar as convergências e divergências de direção do fluxo apresentada no mapa da superfície potenciométrica, Figura 13. A estimativa da direção fluxo tem grande importância, pois através dela pode-se ter noção de uma possível pluma de contaminação gerada pelas possíveis fontes de contaminação, como por exemplo, postos de combustíveis, cemitérios, lixões, esgotamento sanitário *in situ* (TERRA, *et al.* 2013).

Observando a Figura 13 é possível visualizar uma mudança na direção do fluxo na região com maior altitude (poço nº 5), para regiões com menores altitudes (poço nº 26).



**Figura 13.** Direção do fluxo do aquífero Parecis no município de Vilhena.

Analisando-se o mapa de tendência de direção de fluxo subterrâneo (superfície potenciométrica) apresentado na Figura 13, observa-se que os vetores (setas no cartograma) indicam a direção da água subterrânea para o Rio Comemoração fazendo com que se deduza que tenha uma contribuição do aquífero para o rio participando da perenização em períodos de estiagem. Este tipo de contribuição chama-se curso efluente, ou seja, o curso de água recebe água do aquífero freático da área onde percorre, sendo assim o aquífero cede água para o rio.

Concluído assim que as captações de água subterrâneas localizadas próximas às calhas dos rios tenham menos chances de ficar sem água em períodos menos chuvosos devido à resposta aquífera ser suficiente para sua manutenção.

### 4.3 GRAU DE CONFINAMENTO HIDRÁULICO (G)

O Grau de confinamento hidráulico do aquífero é o primeiro parâmetro a ser analisado para aplicação do método GOD, assim a partir das informações de ocorrência litológica e profundidade da mesma, informações essas obtidas nas fichas técnicas completas

dos poços (SIAGAS e empresa privada) do município de Vilhena, foram encontrados dois tipos de ocorrência da água subterrânea, sendo elas confinada e não-confinada.

Porém segundo ANA (2005) em seu trabalho, sobre disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil, o aquífero Parecis é classificado como sendo um aquífero não confinado, isso pode estar ocorrendo devido à diferença da escala dos estudos, uma vez que o presente trabalho analisa apenas alguns poços inseridos no município de Vilhena e não o aquífero Parecis como um todo.

Nesse contexto, dos 36 poços tubulares estudados, 17 encontram-se em um aquífero confinado e 19 classificados em área de aquífero não-confinado, distribuídos da seguinte maneira:

Poços em aquíferos confinados.

- a) 8 poços pertencentes ao SAAE (1, 2, 14, 19, 24, 25, 33 e 36);
- b) 4 poços particulares (4, 11, 13, e 35);
- c) 1 poço de abastecimento escolar (8);
- d) 1 poço de monitoramento do RIMAS (18);
- e) 2 poços para abastecimento residencial (30 e 32);
- f) 1 poço da associação rural (34).

Poços em aquíferos não confinados.

- a) 7 poços de abastecimento do SAAE (5, 7, 12, 21, 27, 28 e 29);
- b) 6 poços particulares (6, 10, 15, 16, 17 e 20);
- c) 2 poços em igrejas (3 e 9);
- d) 3 poços de monitoramento do RIMAS (22, 23 e 31);
- e) 1 poço da CPRM (26).

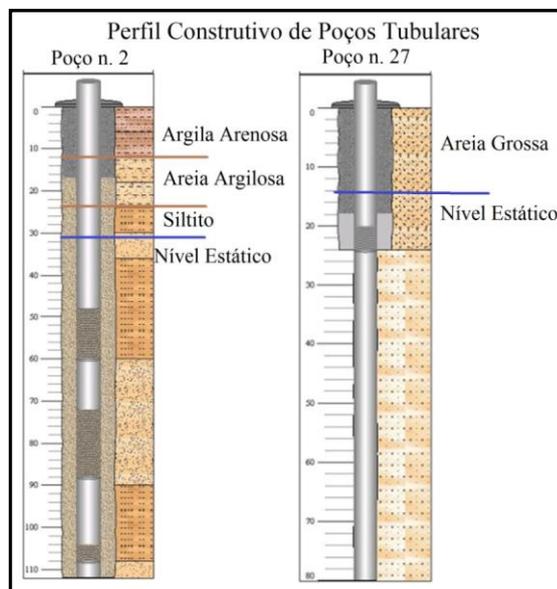
De acordo com os dados litológicos analisados, os poços considerados como pertencentes ao aquífero confinado apresentaram uma expressiva quantidade de argila em sua composição litológica. Já os poços que se enquadraram no aquífero não-confinado, apresentaram em sua composição grande quantidade de areia.

Os aquíferos não-confinados merecem uma atenção especial em relação à contaminação das águas subterrâneas, podendo se tornar uma fonte de possível contaminação, dependendo da atividade realizada no solo e a profundidade em que se encontra esse tipo de aquífero (OSÓRIO, 2004).

Porém aquíferos confinados possuem características que apresentam uma maior dificuldade de recuperação quando contaminado e ao longo do tempo todo o aquífero pode se tornar vulnerável a contaminação (FOSTER e HIRATA, 1993).

#### 4.4 OCORRÊNCIA DE ESTRATOS DE COBERTURA (O)

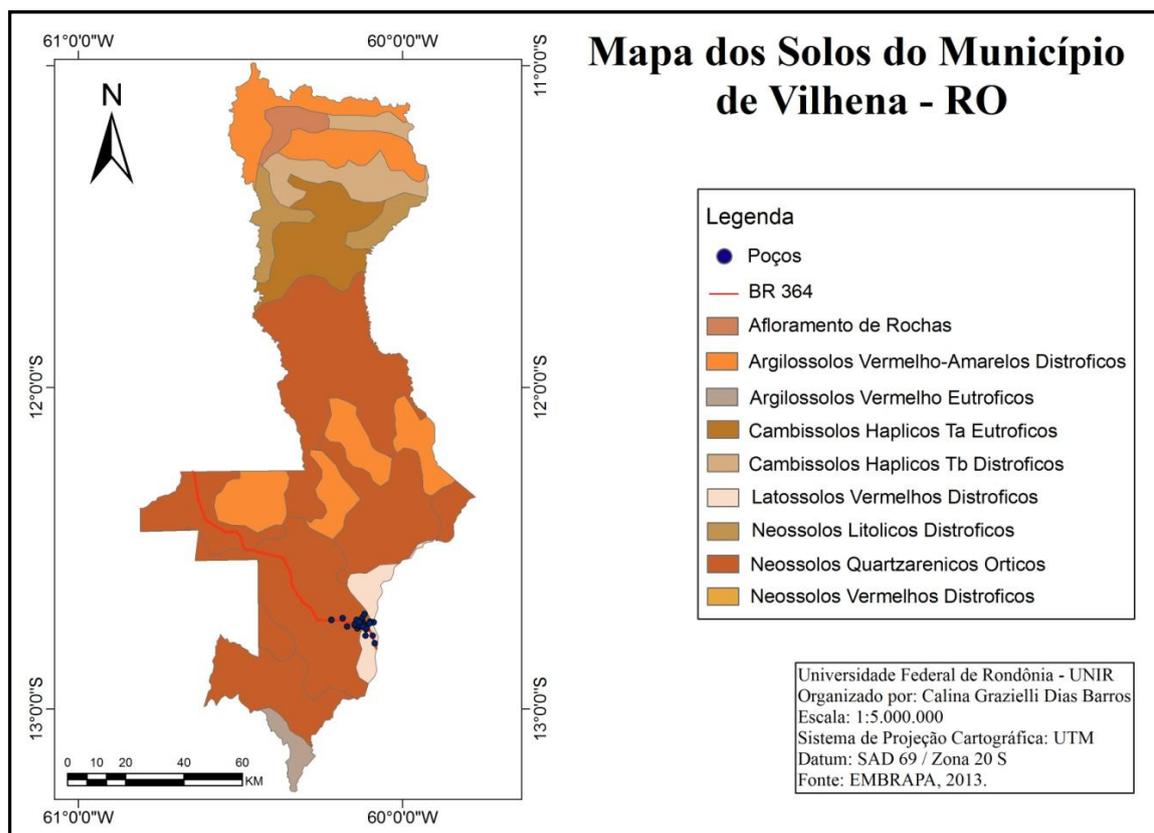
O segundo parâmetro do método GOD, diz respeito à ocorrência de estratos de cobertura, dessa forma, foram constatados diferentes tipos de solos e rochas que compõe os perfis construtivos dos poços do município de Vilhena, como pode ser observado na Figura 14. Isto confere diferentes graus de confinamentos e impõem diferentes graus infiltração de água e/ou poluentes.



**Figura 14.** Perfil construtivo dois poços de abastecimento.

Para complementar a caracterização litológica da área de estudo, foi realizado o cruzamento das informações dos solos do município de Vilhena com os poços escolhidos para a aplicação do método GOD, assim como pode ser observado na Figura 15, os poços estão concentrados, em sua maioria, nos Neossolos Quatzarênicos Órticos e outra parcela nos Latossolos Vermelhos Distróficos.

Nos Neossolos Quatzarênicos Órticos uma redução da macroporosidade em áreas antropizadas pode afetar a recarga do lençol freático e aumentar o processo erosivo, vale ressaltar que a manutenção da cobertura vegetal sobre o solo é condição fundamental para seu uso sustentável (SALES *et al.*, 2010).

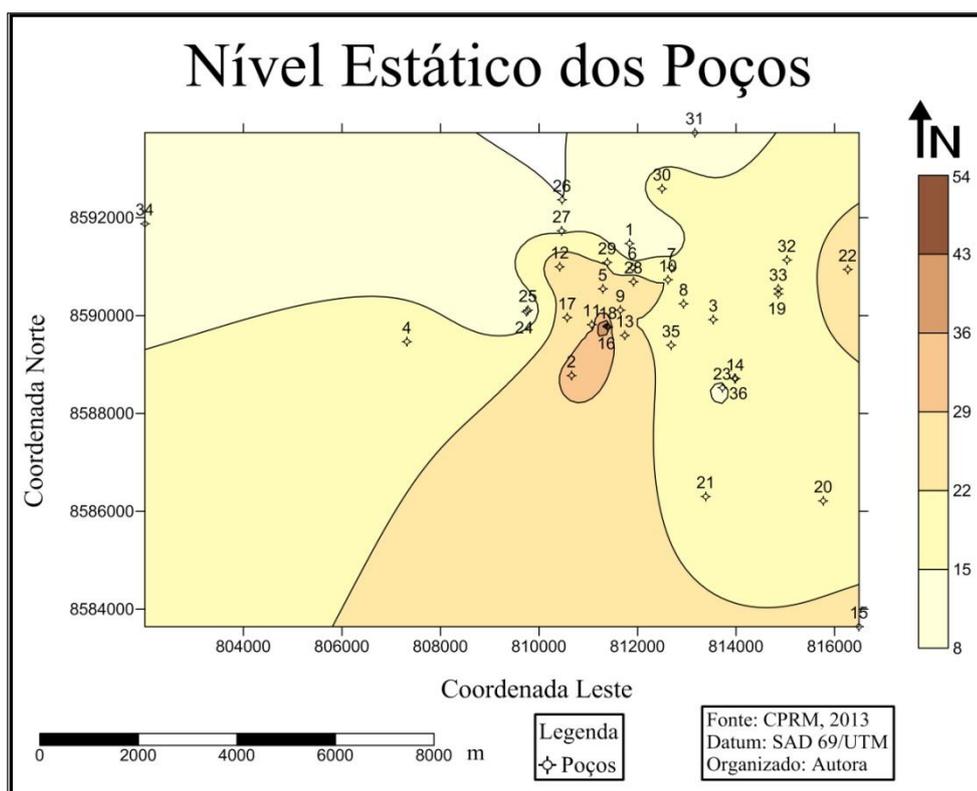


**Figura 15.** Mapa Litológico do município de Vilhena – RO.

Os Latossolos Vermelhos Distróficos são constituídos por material mineral argiloso ou muito argiloso. (EMBRAPA, 2009), possuem a cor vermelha devido à quantidade expressiva de óxidos de ferro e estão em ambientes bem drenados, além de apresentar uniformidade das características em toda a profundidade. Possuem ocorrências principalmente em áreas de relevo plano e suave ondulado, facilitando o uso do solo por agriculturas (SANTOS, 2014).

#### **4.5 DISTÂNCIA AO NÍVEL DA ÁGUA SUBTERRÂNEA (D)**

Conhecido como nível estático é o terceiro e último parâmetro de análise do método GOD, que indica o nível do lençol freático no interior do poço, quando este não está sob influência de bombeamento ou recarga (ALBERTI e SILVA, 2005). Os valores encontrados no presente estudo foram espacializados e podem ser visto no mapa da Figura 16, bem como estão dispostos na Apêndice A.



**Figura 16.** Nível Estático dos poços.

Observando a Figura 16 é possível verificar que o nível freático variou entre 8 e 54m, com uma média de 20m. Na região de maior altitude da área de estudo, onde estão localizados os poços 2, 12, 16, 17, 22 e 28 foram registrados os maiores valores de nível estático, este comportamento é atribuído a condição topográfica, a qual é refletida na superfície piezométrica.

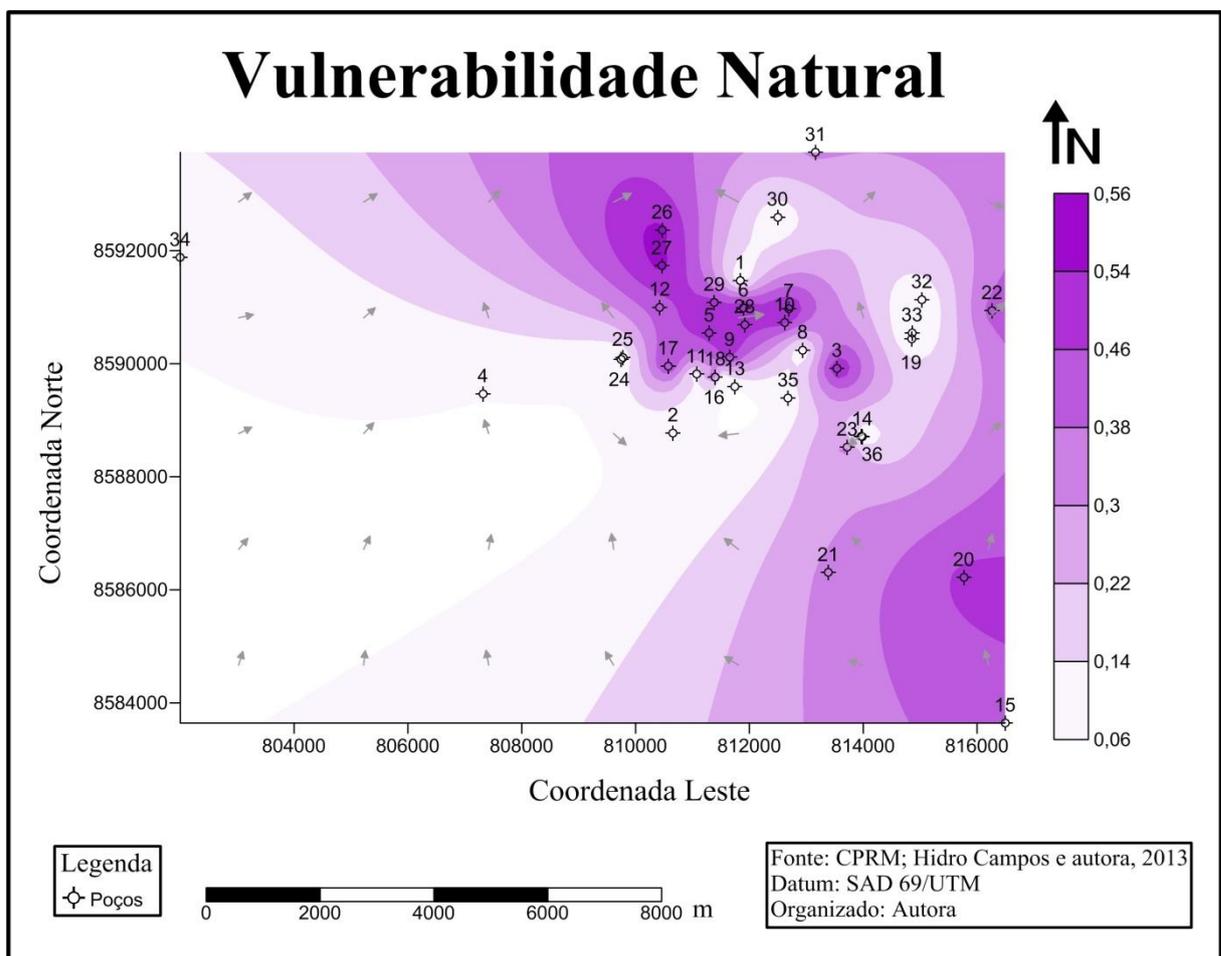
A análise do nível estático dos poços é de grande importância na determinação da vulnerabilidade natural do aquífero, pois indicam à profundidade que se encontra o lençol freático. Assim os poços 1; 3 à 11; 13 à 15; 18 à 21; 23 à 27 e 29 à 36, mais rasos, tendem a ser mais propícios à contaminação. (FOSTER e HIRATA, 1993).

Porém a capacidade de atenuação dos impactos causados pelas atividades exercidas no solo e a facilidade com que os possíveis contaminantes têm de chegar ao aquífero, irão determinar se a vulnerabilidade natural do aquífero é maior ou menor (KEMERICH *et al.* 2011), assim os poços que se encontram na porção de maior nível estático (2, 12, 16, 17, 22 e 28) não deixam de ser menos relevante no estudo.

#### 4.6 ESTIMATIVA DA VULNERABILIDADE NATURAL

De posse dos três parâmetros, G, O e D foi possível determinar a vulnerabilidade natural do aquífero, através da multiplicação dos valores encontrados nos mesmos. “Os mapas de vulnerabilidade constituem uma base técnica para o planejamento de ação de controle dos aquíferos, à medida que permitem a identificação e representação cartográfica de áreas potencialmente críticas” (FOSTER e HIRATA, 1993).

A Figura 17 representa o mapa produzido da vulnerabilidade natural, que foi espacializado a partir dos valores dispostos no Apêndice C.



**Figura 17.** Mapa da vulnerabilidade natural da área de estudo.

Observando o mapa é possível verificar que a vulnerabilidade apresentou apenas três categorias, sendo elas: insignificante, média e alta. Segundo o método de Foster e Hirata (1993) a classe insignificante tem valores variando de 0 a 0,1, a classe média variando de 0,3 a 0,5 e a classe alta com variação de 0,5 a 0,7. Nesse contexto constatou-se que 47,22% dos poços estão na classe insignificante, cerca de 38,89% estão na classe média e 13,89% apresentaram alta vulnerabilidade, assim as classes predominantes foram a insignificante e

média, porém isso não significa que os órgãos gestores não devem estar atentos em relação ao uso e a ocupação dos solos, bem como a possíveis pontos de contaminação do aquífero.

Verificando os pontos de vulnerabilidade insignificante podemos encontrar 17 poços tubulares, distribuídos da seguinte maneira:

- a) 8 poços pertencentes ao SAAE (1, 2, 14, 19, 24, 25, 33 e 36) ;
- b) 4 poços para uso particular (4, 11, 13 e 35);
- c) 1 poço de monitoramento do RIMAS (18);
- d) 1 poço para abastecimento escolar (8);
- e) 1 poço de responsabilidade de uma associação rural (34);
- f) 2 poços para uso em residencial (30 e 32).

Porém, desses o poço de nº 2 merece uma atenção especial, pois está localizado em uma região que recebe fluxo de praticamente toda área do estudo, e apesar de ter sido classificado com vulnerabilidade insignificante isso não descarta uma possível contaminação.

Os poços de média vulnerabilidade somam um total de 14, localizado no aquífero classificado como não confinado (livre). Estão distribuídos da seguinte maneira:

- a) 5 poços pertencentes ao SAAE (5, 12, 21, 28 e 29);
- b) 5 poços particulares (10, 15, 16, 17 e 20);
- c) 1 poço de responsabilidade da igreja (9);
- d) 3 poços de monitoramento do RIMAS (22, 23 e 31).

Vale destacar que os poços de nº 5, 12, 21, 28 e 29 que são de responsabilidade do SAAE, por estar em uma área de média vulnerabilidade natural, merecem atenção, pois podem estar sujeitos a uma possível contaminação.

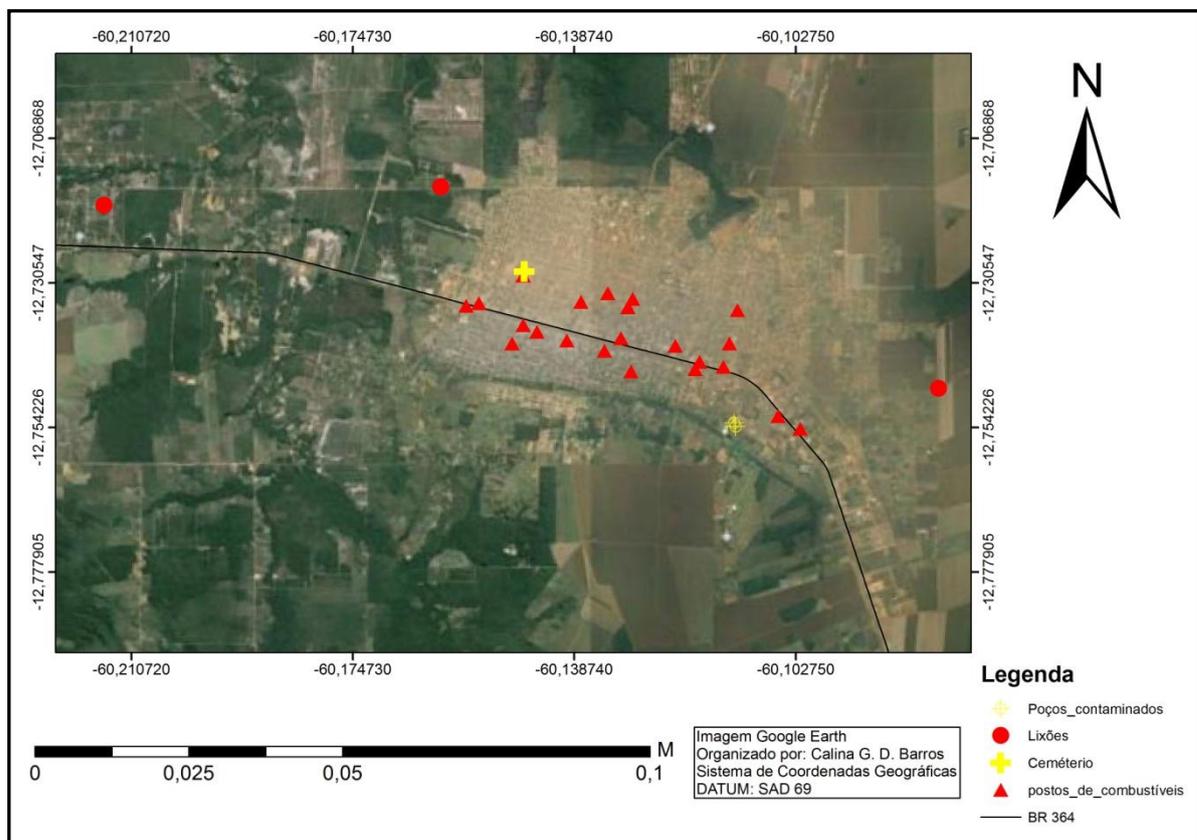
Já os poços de nº 3; 6; 7; 26 e 27 apresentaram um alto índice de vulnerabilidade, sugerindo-se assim a atenção dos órgãos gestores em relação ao uso e a ocupação dos solos no entorno desses poços, para evitar possíveis contaminações.

Merecem destaque os poços nº 26 e 27, pois fazem parte da região do aquífero considerada como livre, além de estarem localizados em uma área considerada de baixa altitude, com uma parcela do fluxo das águas subterrâneas voltado para a região desses poços, o que acaba por elevar a possibilidade de contaminação.

Vale ressaltar que a interpretação dos mapas de vulnerabilidade requer uma cautela, pois seus fatores devem ser analisados no contexto em que está inserida, sempre levando em consideração os possíveis pontos de contaminação, tipo da litologia e que profundidade está a ocorrência do aquífero.

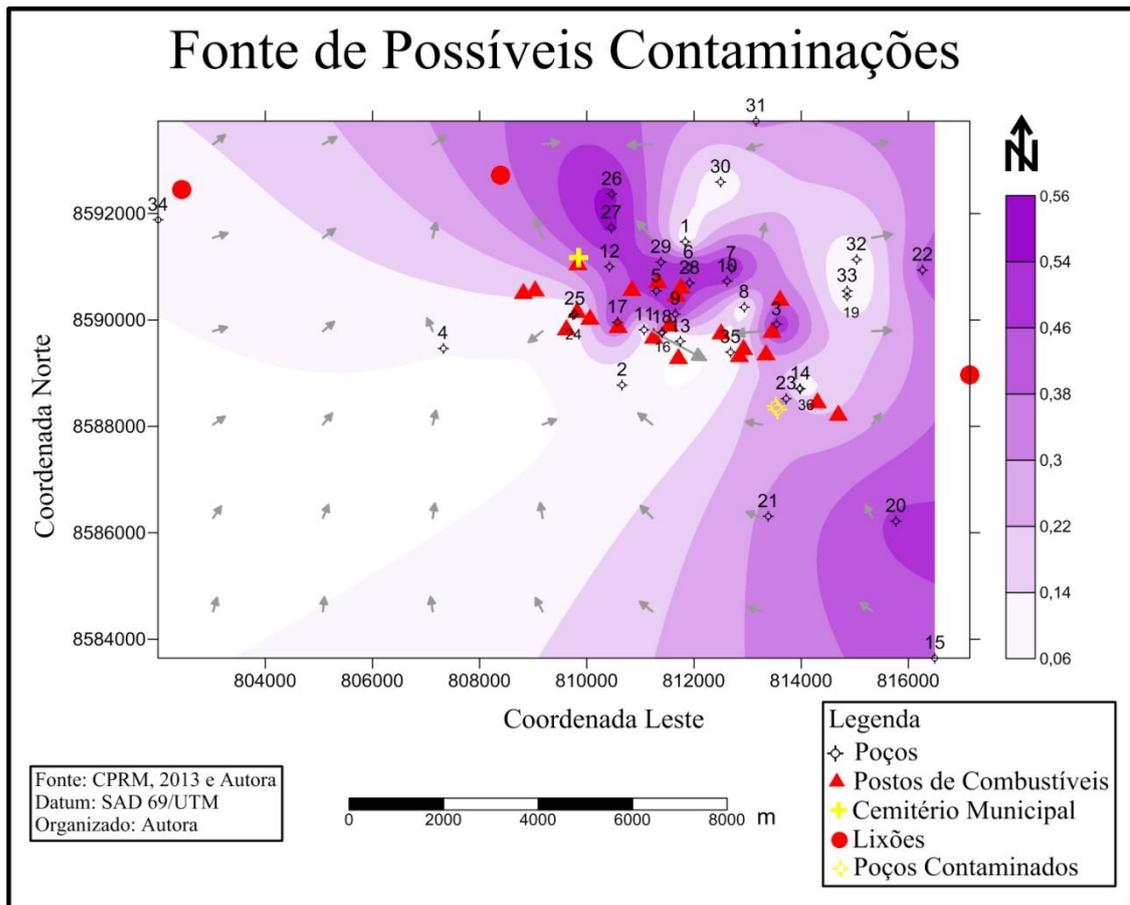
#### 4.7 IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES DE POSSÍVEL CONTAMINAÇÃO

A partir das visitas de campo foram caracterizados 28 possíveis pontos de contaminação localizados na área urbana de Vilhena, sendo eles: 22 postos de combustíveis, 1 cemitério municipal, 3 lixões desativados (sendo o último desativado no final do ano de 2013) e 2 poços, anteriormente utilizados para abastecimento doméstico, que estão desativados e lacrados, por apresentarem contaminação em épocas passadas. A identificação dessas possíveis fontes de contaminação foram mapeadas e estão representadas na Figura 18.



**Figura 18.** Mapa de localização das possíveis fontes de contaminação.

A espacialização das fontes de possível contaminação plotadas juntamente com a direção do fluxo da água subterrânea e a vulnerabilidade natural do aquífero Parecis, servem como base para identificar as áreas de maior susceptibilidade à contaminação frente a fontes potenciais de poluição, Figura 19.



**Figura 19.** Fontes de possíveis contaminações, sobrepostas na superfície potenciométrica.

Verifica-se que existem postos de combustíveis que se encontram na parte de maior vulnerabilidade e com seu fluxo direcionado para áreas de baixo valor potenciométrico. Dessa forma é necessário ter atenção, não somente nas áreas das possíveis fontes de contaminação, mas também naquelas onde estão direcionados os fluxos, uma vez que irão concentrar possíveis contaminações.

Analisando o fluxo da água subterrânea, o posicionamento dos poços contaminados, e a localização da maioria dos postos de combustíveis catalogados, Figura 19, percebe-se uma possível contribuição de contaminação desses para o poço n° 2 (abastecimento), que apesar de estar classificado com vulnerabilidade insignificante, merece atenção.

Atenção maior deve receber por parte dos gestores ambientais os poços de n° 26 e 27, pois quando analisados em relação às possíveis fontes de contaminação, os mesmos estão localizados em uma área que pode estar recebendo uma carga contaminante do cemitério (necro-chorume), dos dois “lixões” desativados e de alguns postos de combustíveis. Além disso, os dois poços estão localizados em uma área de alta vulnerabilidade natural. Vale destacar ainda que o poço n° 27 é destinado ao abastecimento público, devendo dispender do

órgão de abastecimento público do município (SAAE) atenção redobrada.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração do mapa da vulnerabilidade natural dos aquíferos é uma ferramenta importante nas atividades de gestão e proteção das águas subterrâneas, pois pode servir de base para direcionar instalações de possíveis fontes de contaminação (cemitérios, postos de combustíveis, industriais, etc), para áreas de baixa vulnerabilidade natural, bem como abertura de novos poços de abastecimento, que estejam localizados fora das possíveis plumas de contaminação, servindo, assim como fonte de planejamento ambiental, nesse contexto, o presente trabalho mostrou-se relevante.

Outro fator que demonstra a importância do estudo, é o fato do município de Vilhena ter o seu abastecimento de água totalmente realizado pelo aquífero Parecis, assim conhecer a vulnerabilidade natural do aquífero, bem como suas linhas de fluxo é importante para o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas.

Por meio das informações dos 36 poços, situados no município de Vilhena, obtidas na internet (SIAGAS, EMBRAPA, IBGE), das coletas de campo e das informações obtidas com uma empresa privada de perfuração de poços foi possível aplicar o método GOD para cálculo da vulnerabilidade natural, verificando que em Vilhena o Aquífero Parecis apresentou três faixa de vulnerabilidade, sendo elas: insignificante, média e alta.

Foi observado que cerca de 15 poços (38,89% do total ) foram classificados com média vulnerabilidade e 4 poços (13,89% do total) com alta vulnerabilidade, sendo que destes, 7 poços são de abastecimento público, mantidos pela SAAE. Esse fato gera uma preocupação com relação à possibilidade de contaminação das águas subterrâneas.

Sugere-se, que a partir desse trabalho novos estudos sejam realizados para melhor compreensão da dinâmica das águas subterrâneas no município de Vilhena, levando em

consideração outras fontes de possíveis contaminação, bem como a aplicação de outros métodos para caracterizar a vulnerabilidade do aquífero.

## REFERÊNCIAS

ABERTI, E. A.; SILVA, J. L. S. da. **Estudo da vulnerabilidade natural dos aquíferos no perímetro urbano de Tupanciretã/RS**. 1º Simpósio de Recursos Hídricos do Sul/1º Simpósio de Águas da AUGM. 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Disponibilidade e Demandas dos Recursos Hídricos no Brasil**. Cadernos de Recursos Hídricos. Brasília, DF, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Legislação básica**. 2. ed. 336 p. + anexos. Brasília, 2007.

ARAUJO, T. A. **Obras de Terra**. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Tecnologias. Departamento de Transportes. Santa Maria -RS, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – ABAS. Educação – Águas Subterrâneas o que são? – Aquíferos – Tipos de Aquíferos, 2013. Disponível em: <<http://www.abas.org/educacao.php>> . Acesso em: 05 fev. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12212**: Poço tubular - Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12244**: Poço tubular - Construção de poço tubular para captação de água subterrânea Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6502**: Rochas e Solos – Definições - Linha de fluxo. Rio de Janeiro, 1995.

AZEVEDO, R. P. de. **Uso de água subterrânea em sistema de abastecimento público de comunidades na várzea da Amazônia central.** Revista Acta Amazônica. Vol. 36 (3). 313-320 p. 2006.

BAHIA, R. B. C.; MARTINS NETO, M. A.; BARBOSA, M. S. C.; PEDREIRA, A. J. **Análise da evolução tectonossedimentar da Bacia dos Parecis através de métodos potenciais.** Revista Brasileira de Geociências. Vol. 37. 639-649 p. 2007.

BÓS, S. M.; THOMÉ, A. **Métodos para Avaliar Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas.** 1ª edição. 82 p. ISBN 978-85-66146-02-8. Porto Alegre, RS, 2012.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil:** promulgada em 5 de outubro de 1988. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 1990.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos. Brasília, DF, 8 de janeiro de 1997.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Diretor-Geral do Departamento Nacional de Produção Mineral. Portaria nº 231/DNPM, de 31 de julho de 1998. Regulamenta as ações e procedimentos necessários à definição de áreas de proteção das fontes, balneários e estâncias de águas minerais e potáveis de mesa em todo o território nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 jul. 1998.

BRITO, V. S. **Vulnerabilidade Natural à Contaminação de Aquíferos no Município de Campo Formoso – Bahia.** 2013. 60 p. Dissertação (Mestrado em Geologia). Curso de Geologia/Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia. Salvador, BA, 2013.

CAMPONOGARA, I. **Vulnerabilidade Natural no Sistema Aquífero Guarani e Análise de Parâmetros Físico-Químicos das Águas Subterrâneas em Quaraí, BR e Artigas, UY.** 2006. 108 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós Graduação em Geografia e Geociências. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2006.

CAMPOS, J. E. G. **Hidrogeologia do Distrito Federal: Bases para a Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos.** Revista Brasileira de Geociências. Volume 34, p. 41-48. Distrito Federal, 2004.

CETESB, Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Controle de Poluição das Águas. **Água Subterrânea e Poços Tubulares.** 3.ed. São Paulo, 1978.

CIRILO, J. A. *et al* (org). **Hidráulica Aplicada**. 2 edição. Porto Alegre: ABRH, 2011.

CAJAZEIRAS, C. C. de A.; MOURÃO, M. A. A. (Coord.). **Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas**: relatório diagnóstico Sistema Aquífero Parecis no Estado de Rondônia, Bacia Sedimentar dos Parecis. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resoluções do CONAMA**: resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e novembro de 2008 – 2. ed. Brasília, DF, 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 273, de 29 de novembro de 2000**. Determina a obrigatoriedade do licenciamento ambiental para localização, construção, instalação, modificação, ampliação e operação de postos revendedores, postos de abastecimento, instalação de sistemas retalhistas e postos flutuantes de combustíveis. Brasília, 2000.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 355, de 3 de abril de 2003**. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Brasília, 2003.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 368, de 28 de março de 2006**. Altera dispositivos da Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Brasília, 2006.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNHR. Resolução nº 15, de 11 de janeiro de 2001. Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 22 de janeiro de 2001.

DALTO, L. A.; OLIVEIRA, J. N. de; LOLLO, J. A. de. **Avaliação Do Potencial Hídrico do Aquífero Bauru em Votuporanga – SP**. Ilha Solteira, SP, 2002.

DINIZ, H. N.; MICHALUATE, W. J. **Interpretação de testes de vazão em poços tubulares profundos, dimensionamento e especificações de bombas submersas**. São Paulo, 2001.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009..

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

FOSTER, S.; HIRATA, R. **Determinação do risco de contaminação das águas subterrâneas: um método baseado em dados existentes.** São Paulo: Instituto Geológico, 1993. (Boletim N° 10).

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da Qualidade da Água Subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais.** Edição brasileira: SERVIMAR – Serviços Técnicos Ambientais Ltda. São Paulo, 2006.

GAVA, C. Entrevista sobre o abastecimento de água público do município de Vilhena. **Sistema de Abastecimento de Águas e Esgoto - SAAE**, Vilhena, RO, 08 ago. 2013.

GRASSI, M. T. **As Águas do Planeta Terra.** Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola Águas no planeta Terra. Edição especial. 2001

HIRATA, R. C. A.; FERREIRA, L. M. R. **Os Aquíferos da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: Disponibilidade Hídrica e Vulnerabilidade à Poluição.** Revista Brasileira de Geociências. Volume 31, 43-50 p. São Paulo, SP, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados\\_dou/RO2010.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/resultados_dou/RO2010.pdf)> . Acesso em: 21 out. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa Brasil Climats** – Escala 1: 5 000 000, 1978, com adaptações. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default\\_prod.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm)>. Acesso em 21 fev. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cadastro de Localidades, 2010.** Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/territ\\_localidades.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/territ_localidades.shtm)>. Acesso em 04 mar. 2014.

IRITANI, M. A.; FERREIRA, L. M. R.; FERNANDES, A. J.; EZAKI, S(orgs). **Projeto ambiental estratégico aquíferos: síntese das atividades período 2007 – 2010** São Paulo : Instituto Geológico, 2011.

KITANIDIS, P.K., **Introduction to geostatistics: applications in hydrogeology.** Cambridge, Cambridge University Press, 1997.

KITANIDIS, P.K., **Geostatistics: interpolation and inverse problems**, In. The Handbook of Groundwater Engineering. DELLEUR, J.W.(editor). CRC Press, Cap.12, 1999

KEMERICH, P. D. da C.; SILVA, J. L. S. da; DESCOVI FILHO, L. L. V.; VOLPATTO, F.; SAUCEDO, E. M.. **Determinação da Vulnerabilidade Natural à Contaminação da Água Subterrânea no Bairro Nossa Senhora Do Perpétuo Socorro em Santa Maria – RS**. Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 3, p. 085 – 098, jul/set 2011.

KEMERICH, P. D. da 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**. Revista Águas Subterrâneas, v.24, n.1, p.129-141. Santa Maria, RS, 2010.

LANDIM, P. M. B. **Análise Estatística de Dados Geológicos Multivariados**. Universidade Estadual Paulista/ Campus de Rio Claro. 2000.

MARILZA. **Sedam licencia aterro sanitário de Vilhena**. 23 de julho de 2013. Disponível em: < <http://www.sedam.ro.gov.br/index.php/ultimas-noticias/288-sedam-licencia-aterro-sanitario-de-vilhena>>. Acesso em:18 fev. 2014.

MENESES, Leonardo Figueiredo de. **Avaliação da Vulnerabilidade dos Aquíferos Superiores no Município de João Pessoa/ PB, Através do Modelo Drastic**. 2007. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal Paraíba. João Pessoa, PB, 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Águas Subterrâneas um Recurso a Ser Conhecido e Protegido**. Brasília, DF, 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Ciclo Hidrológico**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>>. Acesso em: 21 fev. 2014.

MONTEIRO, A. B.; CABRAL, J. J. S. P.; BARBOSA, D. L.; FREIRE, P.K. C. **Vulnerabilidade e Distribuição Espacial dos Nitratos no Aquífero Barreiras nos Bairros de Ibura e Jordão – Recife – Pernambuco**. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos 2003.

NASCIMENTO, L. M. do. **Mapeamento da Vulnerabilidade do Aquífero à Contaminação no Município de Boa Vista do Cadeado/RS**. 2013. 74p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2013.

OLIVEIRA, A.M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. **Geologia de Engenharia**. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. São Paulo, 1998.

OLIVEIRA, M. J.; SOUTO, F. A. F.; ROSÁRIO, J.M. L. do; SACASA, R. J. V., MOURA, H. P. **Vulnerabilidade Natural e Sazonalidade do Aquífero Livre no Loteamento Marabaixo III- Macapá – AP**. Revista de Águas Subterrâneas, São Paulo, SP, 2004.

OSÓRIO, Q. da S.. **Vulnerabilidade Natural de Aquífero e Potencial de Poluição das Águas Subterrâneas**. 2004. 152 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Programa de Pós Graduação em Geomática. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2004.

PORTUGAL. Alentejo. **Estudo de impacto ambiental – EIA, Relatório de impacto ambiental – RIMA: Barragem do Marnel**. Alentejo, 2013. 48 p.

QUADROS, M. L.do E. S.; RIZZOTTO, G. J. **Geologia e recursos minerais do Estado de Rondônia: Sistema de Informações Geográficas – SIG: Texto Explicativo do Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Rondônia**. – Escala 1:1.000.000. – Porto Velho: CPRM, 2007.

QUELUZ, J. G. T.; STURARO, J. R. **Espacialização da Vulnerabilidade do Aquífero Guarani no Município de Ribeirão Bonito – SP**. II Simpósio de Geoestatística em Ciências Agrárias. ISSN: 2236-2118. 2011.

ROMEIRO, C. I.da.R. **A Tecnologia SIG Aplicada ao Estudo da Vulnerabilidade à Poluição das Águas Subterrâneas na Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Oeste**. 2012. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Sistema de Informação Geográfica). Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informações da Universidade Nova de Lisboa, 2012.

SALES, L. E. de O.; CARNEIRO, M. A. C.; SEVERIANO, E. da C.; OLIVEIRA, G. C. de; FERREIRA, M. M. **Qualidade física de Neossolo Quartzarênico Submetido a Diferentes Sistemas de Uso Agrícola**. Ciência agrotecnologia. vol.34 n.3 Lavras, MG, 2010.

SANTOS, M. G.dos; PEREIRA, S. Y. **Método AVI (Aquifer Vulnerability Index) para a classificação da vulnerabilidade das águas subterrâneas na região de Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro**. Revista Engenharia Sanitária Ambiental. 2011.V.16 n.3 p. 281-290.

SANTOS, H. G. dos; ZARONI, M. J.; CLEMENTE, E. de P. **Latossolos Vermelhos**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica – AGEITEC. Brasília, DF. Disponível em:

<[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONT000fzyjaywi02wx5ok0q43a0r9rz3uhk.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000fzyjaywi02wx5ok0q43a0r9rz3uhk.html)>. Acesso em: 18 fev. 2014.

TERRA, L. G., LÖBLER, C. A., SILVA, J. L. S. da. **Estimativa da Vulnerabilidade à Contaminação dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Município de Santiago-RS**. Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (e-ISSN: 2236-1170). V(10), nº 10, p. 2208-2218, JAN-ABR, Santa Maria-RS, 2013.

TODD, David Keith. **Groundwater Hydrology**. New York. 2d. John Wilwy & Sons, 1980.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. de C. **Gestão de Águas no Brasil**. UNESCO. 156 p. Brasília, DF, 2001

ZUFFO, C. E.; ABREU, F. de A. M. de; CAVALCANTE, I. N.; NASCIMENTO G. F. **Águas Subterrâneas em Rondônia: Análise Estatística de Dados Hidroquímicos, Organolépticos e Bacteriológicos**. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 30 (1/2), 45-59, 2009.

**APÊNDICE A – Dados dos poços utilizados.**

<b>ID</b>	<b>N° POÇO SIAGAS</b>	<b>UTME</b>	<b>UTMN</b>	<b>NE</b>	<b>COTA TERRENO</b>
1	1100000510	811839	8591471	8,95	612
2	1100000522	810658	8588775	31,30	586
3	1100000548	813539	8589918	22,00	623
4	1100000554	807321	8589466	18,00	580
5	1100000578	811294	8590542	22,00	639
6	1100000652	811898	8590985	17,00	603
7	1100000654	812693	8590970	16,00	608
8	1100000655	812936	8590241	18,00	596
9	1100001156	811651	8590114	23,00	609
10	1100001157	812618	8590727	22,00	602
11	1100001158	811071	8589816	24,00	605
12	1100001164	810423	8590998	28,00	602
13	1100001169	811742	8589596	24,00	598
14	1100001171	813985	8588707	19,00	608
15	1100001172	816494	8583644	24,00	626
16	1100001583	811397	8589766	54,00	598
17	1100001585	810572	8589957	26,00	593
18	1100001588	811400	8589766	22,00	601
19	1100001589	814855	8590438	18,00	617
20	1100001612	815768	8586217	17,00	612
21	1100001782	813384	8586305	20,00	610
22	1100001786	816265	8590939	26,43	591
23	1100001787	813720	8588522	13,45	598
24	1100001832	809743	8590079	10,10	589
25	1100001833	809776	8590113	10,10	588
26	1100001839	810468	8592363	8,00	529
27	1100001841	810462	8591732	14,00	600
28	1100001863	811917	8590692	26,10	611
29	1100001866	811384	8591086	22,00	608
30	1100002059	812497	8592593	18,00	598
31	1100002065	813162	8593739	10,70	599
32	1100002333	815032	8591134	18,00	607
33	Empresa	814859	8590546	18,00	611
34	Empresa	802001	8591878	12,00	583
35	Empresa	812681	8589394	20,00	600
36	Empresa	813967	8588714	19,00	607

**APÊNDICE B - Pontos de possíveis contaminações.**

<b>ID</b>	<b>UTME</b>	<b>UTMN</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
1	809820	8590189	Posto de Gasolina
2	809620	8589859	Posto de Gasolina
3	808815	8590548	Posto de Gasolina
4	809039	8590598	Posto de Gasolina
5	810060	8590064	Posto de Gasolina
6	810589	8589904	Posto de Gasolina
7	811248	8589706	Posto de Gasolina
8	811712	8589326	Posto de Gasolina
9	812848	8589359	Posto de Gasolina
10	814302	8588491	Posto de Gasolina
11	814692	8588256	Posto de Gasolina
12	813346	8589394	Posto de Gasolina
13	813608	8590418	Posto de Gasolina
14	813460	8589814	Posto de Gasolina
15	812928	8589491	Posto de Gasolina
16	812502	8589785	Posto de Gasolina
17	811757	8590645	Posto de Gasolina
18	811674	8590495	Posto de Gasolina
19	811541	8589934	Posto de Gasolina
20	811323	8590754	Posto de Gasolina
21	810842	8590599	Posto de Gasolina
22	809829	8591087	Posto de Gasolina
23	809845	8591170	Cemitério
24	817146	8588964	Primeiro Lixão
25	808392	8592721	Segundo Lixão
26	802442	8592451	Terceiro Lixão
27	813557	8588311	Poço contaminado 1
28	813525	8588374	Poço contaminado 2

**APÊNDICE C – Vulnerabilidade Natural do Aquífero Parecis, município de Vilhena/RO.**

<b>ID</b>	<b>N ° POÇO SIAGAS</b>	<b>UTME</b>	<b>UTMN</b>	<b>GOD</b>	<b>Vulnerabilidade</b>
1	1100000510	811839	8591471	0,06	Insignificante
2	1100000522	810658	8588775	0,08	Insignificante
3	1100000548	813539	8589918	0,56	Alta
4	1100000554	807321	8589466	0,06	Insignificante
5	1100000578	811294	8590542	0,49	médio
6	1100000652	811898	8590985	0,56	Alta
7	1100000654	812693	8590970	0,56	Alta
8	1100000655	812936	8590241	0,06	Insignificante
9	1100001156	811651	8590114	0,49	médio
10	1100001157	812618	8590727	0,49	médio
11	1100001158	811071	8589816	0,07	Insignificante
12	1100001164	810423	8590998	0,42	médio
13	1100001169	811742	8589596	0,06	Insignificante
14	1100001171	813985	8588707	0,08	Insignificante
15	1100001172	816494	8583644	0,42	médio
16	1100001583	811397	8589766	0,42	médio
17	1100001585	810572	8589957	0,49	médio
18	1100001588	811400	8589766	0,06	Insignificante
19	1100001589	814855	8590438	0,06	Insignificante
20	1100001612	815768	8586217	0,48	médio
21	1100001782	813384	8586305	0,32	médio
22	1100001786	816265	8590939	0,42	médio
23	1100001787	813720	8588522	0,32	médio
24	1100001832	809743	8590079	0,08	Insignificante
25	1100001833	809776	8590113	0,06	Insignificante
26	1100001839	810468	8592363	0,56	Alta
27	1100001841	810462	8591732	0,56	Alta
28	1100001863	811917	8590692	0,49	médio
29	1100001866	811384	8591086	0,49	médio
30	1100002059	812497	8592593	0,08	Insignificante
31	1100002065	813162	8593739	0,32	médio
32	1100002333	815032	8591134	0,06	Insignificante
33	Empresa Privada	814859	8590546	0,06	Insignificante
34	Empresa Privada	802001	8591878	0,08	Insignificante
35	Empresa Privada	812681	8589394	0,08	Insignificante
36	Empresa Privada	813967	8588714	0,08	Insignificante