

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

GUILHERME LAHM FERON

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E DO RISCO DE
CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFEROS POR POSTOS DE COMBUSTÍVEL
LOCALIZADOS NA REGIÃO CENTRAL DE CANOAS-RS

Porto Alegre

Junho de 2013

GUILHERME LAHM FERON

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E DO RISCO DE
CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFEROS POR POSTOS DE COMBUSTÍVEL
LOCALIZADOS NA REGIÃO CENTRAL DE CANOAS-RS

TRABALHO DE CONCLUSÃO
APRESENTADO AO CURSO DE ENGENHARIA
AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO GRANDE DO SUL COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Orientador: Pedro Antonio Roehe Reginato

Porto Alegre
Julho 2013

GUILHERME LAHM FERON

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E DO RISCO DE
CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFEROS POR POSTOS DE
COMBUSTÍVEL LOCALIZADOS NA REGIÃO CENTRAL DE
CANOAS-RS

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em **04/07/2013** pela Comissão avaliadora constituída pelos professores:

Banca Examinadora:

.....

Prof. Dr. Pedro Antonio Roehe Reginato – Orientador

.....

Prof. Msc. Marcos Imério Leão - UFRGS

.....

Msc. Fernando Mainardi Fan - UFRGS

Conceito:.....

Dedico este trabalho à minha família, que sempre me apoiou e me incentivou a seguir meus sonhos e aos meus amigos, que percorreram o caminho ao meu lado e me deram forças para chegar até este ponto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Giovani e Sandra, por acreditarem em mim e por sempre me incentivarem a seguir meus sonhos, sem seu amor nada seria possível.

Agradeço à minha irmã, pois apesar de ser minha maior crítica, é uma das pessoas que mais amo neste mundo.

Agradeço à minha família, em especial minha tia, Rosani Feron e minha vó, Valdomira pelo incentivo e pelo carinho.

Agradeço a minha namorada, Jéssica Prado, pela paciência, pelo carinho, pelo afeto e principalmente, pelo companheirismo.

Agradeço a todos meus amigos, em especial Gustavo Vargas, Fabrícus Zatti, Herbert Cardozo, Carlos Gasparoni e Renato Paredes, pelos anos de amizade, de estudo, de diversão e de companheirismo.

Agradeço aos meus irmãos de Ordem, e em especial ao irmão e amigo Vítor Casassola, pelo companheirismo, pelo incentivo, pela ajuda e pelo exemplo a ser seguido.

Agradeço ao meu orientador, o Prof. Pedro Reginato por toda a calma, conselhos e auxílio na elaboração do trabalho.

Agradeço aos meus colegas de faculdade, em especial àqueles que mais do que colegas, se tornaram grandes amigos, Arthur Tschiedel, Bruno Reginatti, Daniel Britto e Marcelo Dal Pizzol.

RESUMO

Feron, G. L.; Avaliação da vulnerabilidade e do risco de contaminação de aquíferos por postos de combustível localizados na região central de Canoas-RS. 2013. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas/ Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

As águas subterrâneas são recursos hídricos que, geralmente, possuem melhor qualidade, menor custo de captação e podem ser empregadas em diferentes usos, aonde muitas vezes a água tratada fornecida por um sistema de abastecimento se torna dispendiosa. No município de Canoas, localizado na região metropolitana de Porto Alegre, muitos empreendimentos industriais e privados possuem poços tubulares para a captação da água subterrânea, para diversos fins. O trabalho desenvolvido visa estudar, em uma porção da zona central do município aonde existe uma concentração maior de poços tubulares em uso por condomínios residenciais, a vulnerabilidade natural dos aquíferos captados por estes poços, as zonas de proteção dos poços e o risco potencial a contaminação da água subterrânea a partir da ocorrência de vazamentos nos tanques de armazenamento dos postos de revenda de combustíveis localizados nesta região. Para isso foram analisados dados geológicos e hidrogeológicos de 46 poços tubulares obtidos junto ao banco de dados SIAGAS (CPRM) e realizado um levantamento do número e características dos postos de combustíveis existentes na região. Esses dados foram utilizados na caracterização dos diferentes tipos de aquíferos, na avaliação da vulnerabilidade (através do método GOD), na determinação dos perímetros de proteção dos poços (por meio do método do Raio Fixo Calculado) e na determinação do Risco potencial de contaminação (integração dos mapas de vulnerabilidade e perímetros com dados dos postos de gasolina). Os resultados obtidos indicaram que os poços existentes na região captam água de aquíferos associados as camadas fraturadas de diabásios e folhelhos e das camadas porosas mais profundas dos arenitos. Os perímetros de proteção calculados variam entre 7,8m e 62,25m para tempos de permanência de 50 dias, e entre 21,09m e 168,19m para tempos de permanência de 365 dias. Os aquíferos apresentam três classes de vulnerabilidade sendo a maior área constituída por baixa vulnerabilidade (93,43%). Na região foram identificados 16 postos de combustíveis, que em sua maioria possuem tanques relativamente novos, com menos de 10 anos de instalação, porém, existem áreas aonde a atividade é mais antiga e postos com tanques com mais de 20 anos. A integração desses dados permitiu avaliar

o Risco Potencial de Contaminação que na região foi classificada como de risco moderado para a maioria dos postos.

Palavras Chave: Vulnerabilidade Natural, Perímetro de proteção de poços, risco potencial de contaminação, água subterrânea.

ABSTRACT

FERON, G. L.; Evaluation of the vulnerability and the risk of contamination of aquifers by fuel stations located in the central region of Canoas-RS. 2013. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas/Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Groundwater are water resources that generally have better quality, lower cost of gathering and can be employed in different uses, in which often the treated water provided by a water supply system becomes expensive. In the city of Canoas, located in the metropolitan region of Porto Alegre, many industrial and private enterprises have tube wells for groundwater exploration, for various purposes. The paper aims to study, in one part of the city where there is a greater concentration of tube wells in use for residential condominiums, the natural vulnerability of aquifers picked up by these wells, the protection zones of the wells and the potential risk of groundwater contamination from the occurrence of leaks in storage tanks of gas stations located in this area of study. For this geological and hydrogeological data were analyzed 46 tube wells obtained from SIAGAS database (CPRM) and it was performed a survey of the number and characteristics of fuel stations within the region. These data were used in the characterization of different types of aquifers, in the vulnerability evaluation (through the GOD method), in the determination of protection perimeters of wells (through the method of Fixed Radius Calculated) and in determining the potential risk of contamination (integration of vulnerability maps and perimeters with data from gas stations). The results obtained indicated that the existing wells in the region capture water from aquifers associated to the fractured layers of diabases and shales and from deeper porous layers of sandstones. The calculated protection perimeters vary between 7, 8 m and 62, 25 m for remaining periods of 50 days, and between 21, 09 m and 168, 19 m for remaining periods of 365 days. Aquifers have three vulnerability classes, being the largest area of low vulnerability (93.43). In the region 16 fuel stations were identified, of which the majority has relatively new tanks, with less than 10 years of installation, however, there are areas where the activity is older and there are fuel stations with more than 20 year- old tanks. The integration of these data made it possible to evaluate the potential risk of contamination, that in the region was classified as moderate for most stations.

Keywords: Natural Vulnerability, wellhead protection areas, contamination potential risk, underground water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização do Município de Canoas.....	15
Figura 2- Mapa Geológico de Canoas.....	17
Figura 3- Mapa Hidrogeológico de Canoas.....	18
Figura 4 – Valores para cálculo do Índice GOD.....	22
Figura 5 – Diferença entre Zona de Captura e Zona de Influência de um poço.....	24
Figura 6 – Zonas de Proteção para aquífero livre ou não confinado.....	25
Figura 7 – Métodos de delimitação de PPP's.....	27
Figura 8 – Raio Fixo Calculado.....	28
Figura 9 – Modelo de cálculo para método Wyssling.....	29
Figura 10 – Exemplo das fases de contaminação.....	35
Figura 11 – Mapa da área de estudo.....	44
Figura 12 – Uso de água dos poços tubulares.....	46
Figura 13 – Localização dos Perfis Geológicos na área de estudo.....	47
Figura 14 – Perfil 1.....	48
Figura 15 – Perfil 2.....	49
Figura 16 – Perfil 3.....	50
Figura 17 – Perfil 4.....	51
Figura 18 – Perfil 5.....	52
Figura 19 – Perfil 6.....	53
Figura 20 – Perfil 7.....	54
Figura 21 – Mapa dos PPP's.....	57
Figura 22 – Mapa do Parâmetro G.....	60
Figura 23 – Mapa do Parâmetro O.....	61
Figura 24 – Mapa do Parâmetro D.....	62
Figura 25 – Mapa de Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos.....	63
Figura 26 – Mapa de Risco Potencial de Contaminação.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de Vulnerabilidade de acordo com a aproximação EPPNA.....	19
Tabela 2 – Classificação de vulnerabilidade segundo os intervalos de resistência hidráulica pelo método AVI.....	23
Tabela 3 – Composição Básica da Gasolina Brasileira.....	34
Tabela 4 – Classes de Avaliação do Risco Potencial de Contaminação.....	43
Tabela 5 – Ficha de Identificação dos poços tubulares.....	45
Tabela 6 – Informações dos postos de combustível da área de estudo.....	56
Tabela 7 – Valores calculados de PPP's.....	57
Tabela 8 – Parâmetros G, O, D.....	59

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

PIB – Produto Interno Bruto

PPP's – Perímetro de Proteção de Poços

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível

AIS – Área de Influência Subterrânea

L.O.'s – Licenças de Operação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. <i>Objetivos Gerais.....</i>	<i>14</i>
1.2. <i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>14</i>
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. <i>Localização.....</i>	<i>15</i>
2.2. <i>Geologia Regional.....</i>	<i>17</i>
2.3. <i>Hidrogeologia Regional.....</i>	<i>18</i>
2.4. <i>Vulnerabilidade de Aquíferos e Métodos de Avaliação.....</i>	<i>19</i>
2.4.1. Método EPPNA.....	19
2.4.2. Método DRASTIC.....	19
2.4.3. Método GOD.....	21
2.4.4. Método AVI.....	23
2.5. <i>Perímetros de Proteção de Poços (PPP's).....</i>	<i>23</i>
2.5.1. Raio fixo calculado.....	27
2.5.2. Método de Wyssling ou gradiente hidráulico inclinado.....	29
2.5.3. Modelos hidrogeológicos analíticos.....	30
2.5.4. Mapa hidrogeológico.....	30
2.5.5. Modelos matemáticos.....	31
2.5.6. Exemplos de perímetros de proteção: o PIPS e PA no estado de São Paulo.....	31
2.6. <i>Contaminação da Água Subterrânea por Vazamentos de Postos de Combustíveis.....</i>	<i>32</i>
2.7. <i>Avaliação de Risco Potencial de Contaminação.....</i>	<i>37</i>
3. MATERIAIS E MÉTODOS	39

3.1. Caracterização Física, Hidrogeológica e Ambiental da Área de Estudo	39
3.2. Definição dos Perímetros de Proteção de Poços Tubulares	41
3.3. Determinação da Vulnerabilidade dos Aquíferos	42
3.4. Avaliação do Risco Potencial de Contaminação.....	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
4.1. Área de Estudo	44
4.1.1. Uso da água.....	46
4.1.2. Perfis geológicos.....	47
4.1.3. Postos de combustível.....	55
4.2. Perímetros de Proteção de Poços.....	57
4.3. Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos	58
4.3.1. Parâmetro G – grau de confinamento de aquíferos	60
4.3.2. Parâmetro O – ocorrência de estratos de cobertura	61
4.3.3. Parâmetro D – profundidade da água subterrânea.....	62
4.3.4. Mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos.....	63
4.4. Análise do Risco Potencial de Contaminação	64
5. CONCLUSÕES	65

1. INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas são, geralmente, fontes de águas limpas e de boa qualidade. No Brasil, atualmente, 39% dos municípios são abastecidos exclusivamente através de poços tubulares que captam essas fontes. No Rio Grande do Sul, 59 % dos municípios do Estado são abastecidos exclusivamente por águas subterrâneas e 13% dos municípios utiliza a água subterrânea como complemento para o abastecimento (abastecimento misto) (ANA, 2010).

No município de Canoas, localizado na região metropolitana de Porto Alegre, existem mais de 110 poços tubulares segundo o portal SIAGAS da CPRM. Esses poços são utilizados por diversos empreendimentos como indústrias, condomínios, prefeitura municipal e particulares devido ao seu baixo custo de produção de água para processos que, muitas vezes, não necessitam dos padrões de tratamento da água fornecida pela empresa de abastecimento público. Porém, devido ao grande número de poços instalados e ao baixo nível de monitoramento ou controle da qualidade das empresas que prestam estes serviços, alguns poços podem se tornar vias de contaminação da água subterrânea, comprometendo, assim, a qualidade da água presente no aquífero.

A contaminação do aquífero depende de diversos fatores, sendo que os principais estão relacionados com as características dos estratos confinantes, com a capacidade de atenuação dos contaminantes pelo meio e com a acessibilidade do contaminante a água subterrânea.

A preocupação com a qualidade das águas subterrâneas no município de Canoas levou ao desenvolvimento deste trabalho, que visa promover o estudo das características dos aquíferos captados por poços tubulares presentes na região central do município, bem como a análise da vulnerabilidade natural destes aquíferos através da utilização da metodologia GOD. O trabalho também tem como objetivo a delimitação dos perímetros de proteção dos poços tubulares e a avaliação do potencial de contaminação dos postos de combustível presentes na área de estudo. Por fim, o trabalho consiste na utilização das informações geradas para a análise do risco potencial de contaminação dos aquíferos por possíveis vazamentos ocasionados pelos tanques de armazenamento de combustível dos postos.

1.1. Objetivos Gerais

O objetivo geral do trabalho é contribuir para o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos em Canoas e na tomada de decisões dos órgãos competentes em relação à preservação da qualidade das águas subterrâneas do município, através da elaboração de uma análise de vulnerabilidade e do risco potencial de contaminação dos aquíferos por hidrocarbonetos provenientes de vazamentos em tanques de combustível dos postos na região central de Canoas/RS.

1.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) a elaboração de uma análise de vulnerabilidade para a área de estudo;
- b) o cálculo dos perímetros de proteção para os poços estudados;
- c) a análise dos postos de combustível presentes na região e a classificação dos mesmos quanto ao seu potencial de carga contaminante e;
- d) a elaboração do mapa de risco de contaminação dos aquíferos da região por hidrocarbonetos provenientes de vazamentos de tanques de armazenamento de postos de combustível.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Localização

Canoas é um município brasileiro da região metropolitana de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul. Faz parte da microrregião de Porto Alegre e possui divisa com os municípios de Esteio, Cachoeirinha, Nova Santa Rita, e a capital, Porto Alegre. A sede do município localiza-se pelas coordenadas: Latitude de 29° 54' 36" Sul e longitude de 51° 10' 48" Oeste. A altitude mínima do município é de 4m, a máxima fica em torno de 33m e a média é de 8m do nível do Mar (IBGE, 2011; FAMURS, 2013).

Os limites municipais de Canoas são todos definidos por cursos d'água. A oeste, temos o Arroio das Garças, que une os Rios Gravataí e Jacuí no Parque Estadual do Delta do Jacuí; também a oeste fica o Rio dos Sinos que faz limite com o Município de Santa Rita; a norte fica o arroio sapucaia, na divisa com o município de Esteio; a leste encontramos o Arroio da Brigadeira que faz a divisa com o município de Cachoeirinha e ao sul o Rio Gravataí delimita a divisa com Porto Alegre. A área total do município é de 131 km² segundo o IBGE.

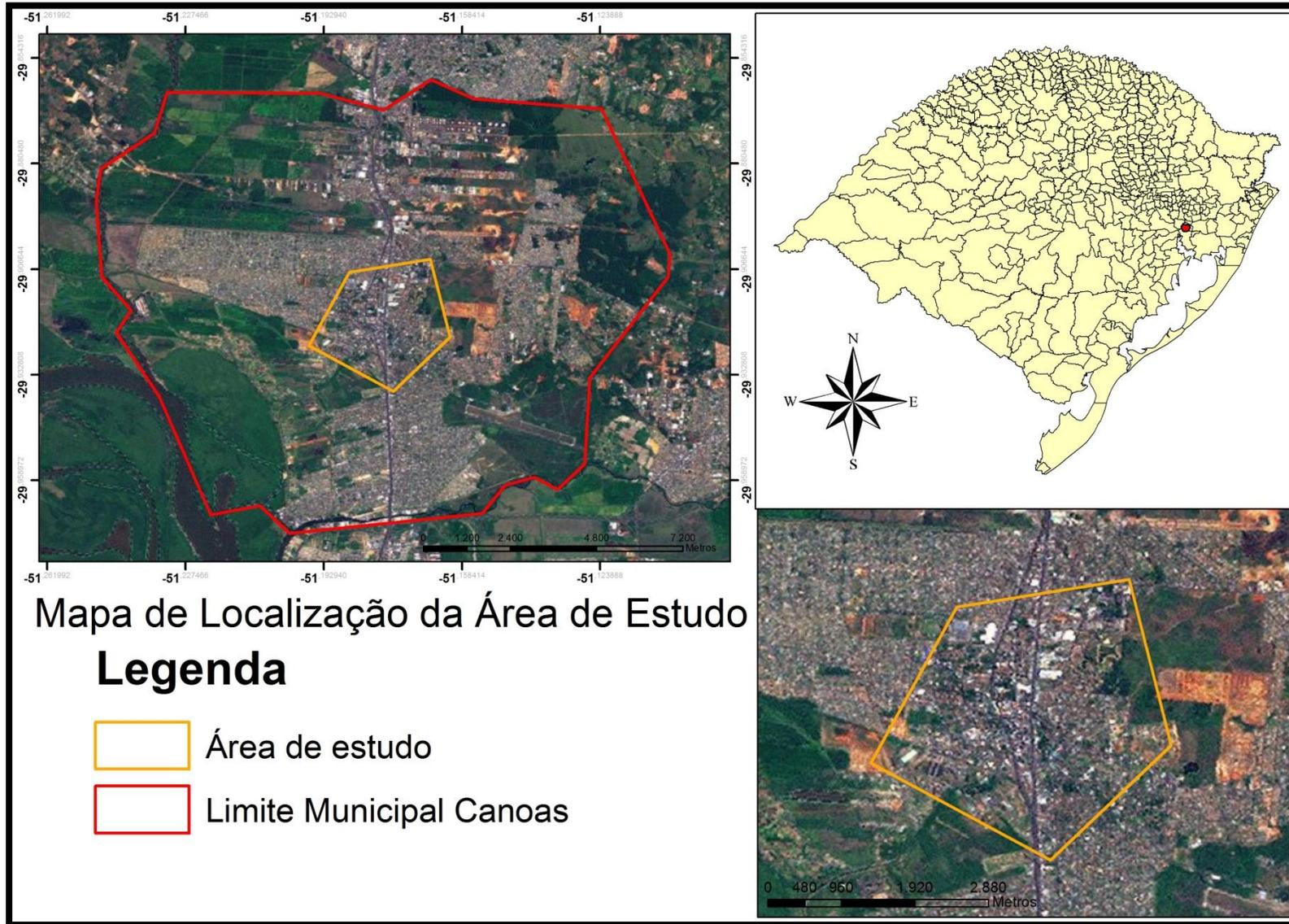
O Clima de Canoas é classificado como subtropical úmido, apresentando quatro estações bem definidas, com chuvas distribuídas durante o ano todo e a temperatura média anual acima de 18°C. Segundo Nanni (2003), a precipitação anual é de aproximadamente 1277mm, sendo novembro o mês com menor precipitação, 76mm, e agosto o de maior, com 136mm.

Canoas é o segundo município mais populoso da Região Metropolitana, com 323.827 habitantes pelos dados do Censo de 2010. No Rio Grande do Sul, a cidade só fica atrás de Porto Alegre, Pelotas e Caxias do Sul e é a 67^a cidade do Brasil em número de habitantes. Atualmente, possui o segundo maior PIB do estado do Rio Grande do Sul segundo o IBGE. Sua economia é baseada na indústria (31,71% do Valor Adicionado Bruto) e serviços (62,26%), com um polo industrial bem diversificado. Seus principais produtos de exportação são tratores e óleo diesel. (Prefeitura de Canoas, Informativo Canoas em dados nº 5^a, 2012)

Em relação aos serviços públicos, 98,86% de seus domicílios possuem acesso à energia elétrica e a coleta de resíduos atinge 99,35% das residências. O abastecimento de água atinge 96,78% dos domicílios, sendo que do restante 2,05% possuem acesso à água através de

nascentes, poços ou outras formas não identificadas. (Informativo Canoas em dados nº 3, 2011).

Figura 1 – Localização do Município de Canoas

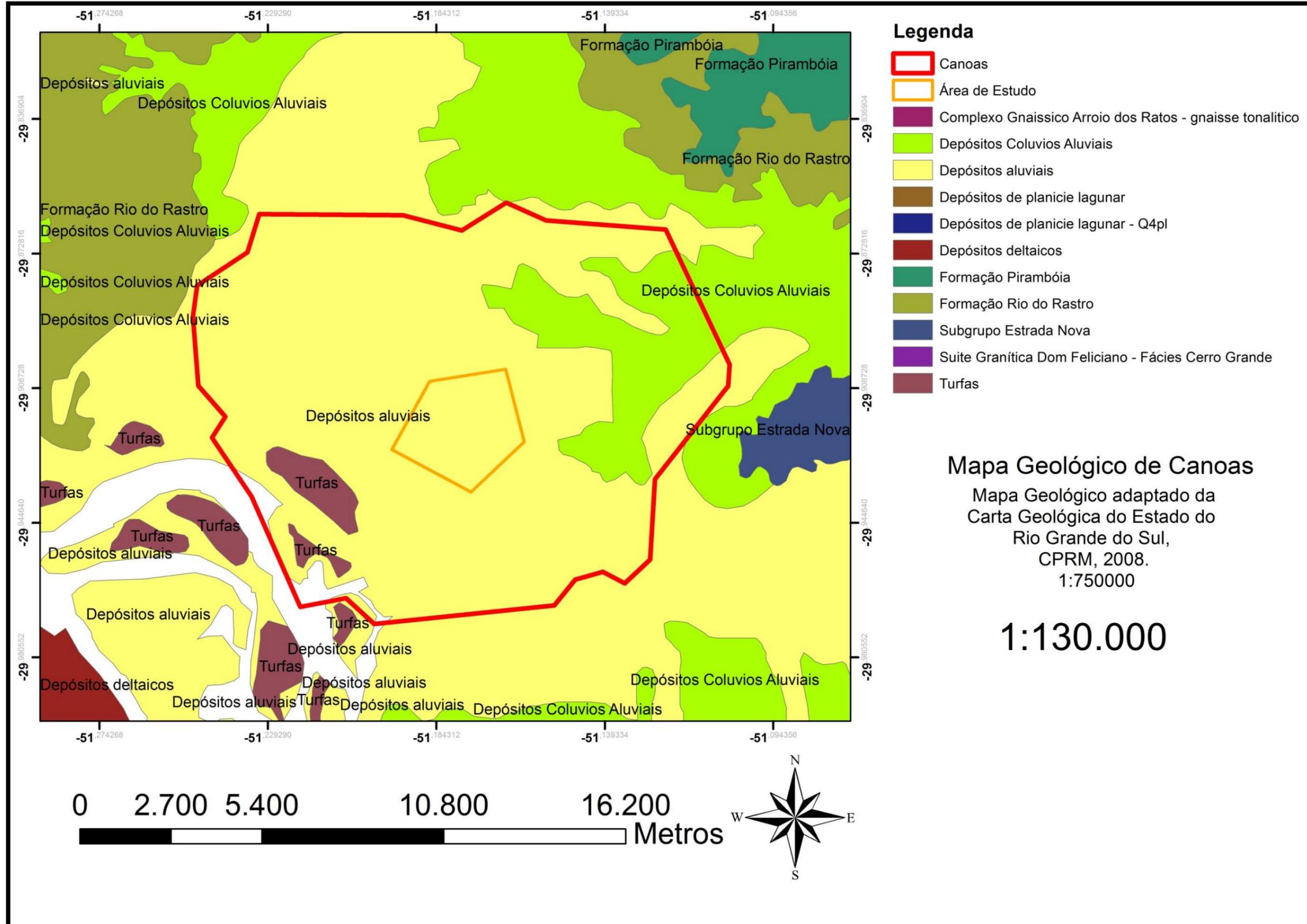


2.2. Geologia Regional

O município está inserido na Depressão Central Gaúcha e se localiza na Depressão do Rio Jacuí, cuja litologia predominante é formada por arenitos, folhelhos, siltitos e argilitos das formações Rio Bonito, Palermo, Irati e Rio do Rasto e os arenitos e conglomerados das formações Piramboia e Sanga do Cabral. Estes terrenos estão parcialmente recobertos pela planície aluvial do rio Jacuí e de seus tributários principais (VIERO, 2010).

De acordo com a Carta Geológica do Estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2008), as principais formações presentes no município são os Depósitos Aluviais e os Depósitos Colúvio-Aluviais, mas também há a ocorrência de Turfas na porção sudoeste do município (Figura 2).

Figura 2- Mapa Geológico de Canoas (Adaptado da Carta Geológica para o Estado do Rio Grande do Sul, CPRM, 2008).



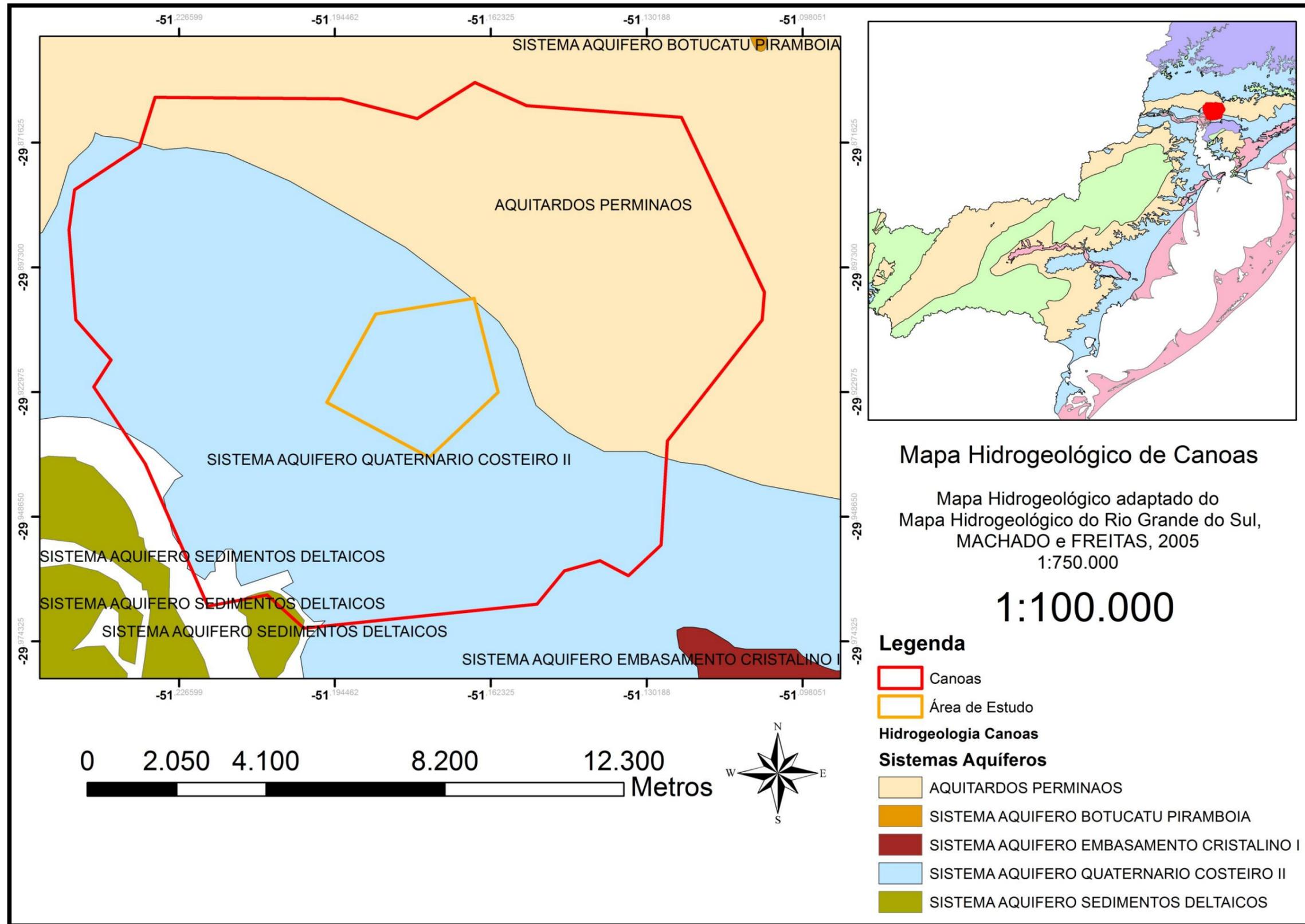
2.3.Hidrogeologia Regional

Segundo o Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (MACHADO e FREITAS, 2005), o município de canoas está inserido em dois sistemas aquíferos principais (Figura 3).

O Sistema Aquífero Quaternário Costeiro II, formado pelos aquíferos relacionados com os sedimentos da planície costeira, predominantemente na região lagunar interna e junto aos contrafortes da Serra Geral é classificado como aquífero com média a baixa possibilidade para águas subterrâneas em rochas e sedimentos com porosidade intergranular. Compõe-se de uma sucessão de areias finas inconsolidadas, esbranquiçadas e argila cinza. No topo, os primeiros metros são pelíticos, bastante cimentados. As capacidades específicas variam de baixas a médias, entre 0,5 e 1,5 m³/h/m e os sólidos totais dissolvidos variam entre 600 e 2000 mg/l. São aquíferos com alta vulnerabilidade natural à contaminação das águas subterrâneas. (VIERO, 2010)

O segundo sistema aquífero que compõe o município é classificado como aquífero limitado de baixa possibilidade para água subterrânea em rochas com porosidade intergranular ou por fraturas, denominado de Aquitardos Permianos. As unidades aquíferas são formadas principalmente por siltitos argilosos, argilitos cinza-escuros, folhelhos pirobetuminosos e pequenas camadas de margas e arenitos. Normalmente os poços que captam somente essas litologias apresentam vazões muito baixas ou estão secos. As capacidades específicas são geralmente inferiores a 0,1 m³/h/m e as águas podem ser duras, com grande quantidade de sais de cálcio e magnésio. A sua vulnerabilidade natural é considerada insignificante, devido ao alto teor de argilas e siltitos em sua composição (VIERO, 2010).

Figura 3- Mapa Hidrogeológico de Canoas (adaptado do mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul, MACHADO E FREITAS, 2005)



2.4. Vulnerabilidade de Aquíferos e Métodos de Avaliação

A vulnerabilidade natural de um aquífero é o grau de disposição de um aquífero de sofrer uma contaminação. Ela é função de dois parâmetros chaves: a acessibilidade do contaminante ao aquífero e a capacidade de atenuação da camada não saturada sobre o aquífero (FOSTER et. al., 2006; MARQUEZAN, 2008).

Existem diversos tipos de abordagens para a classificação da vulnerabilidade natural de um aquífero, sendo descritos, a seguir, os métodos mais conhecidos e aplicados para avaliação de vulnerabilidade de aquíferos:

2.4.1. Método EPPNA

O Método EPPNA (Equipa de Projecto do Plano Nacional da Água, 1998) é um método que se baseia na formação litológica e hidrogeológica, para definir classes de aquíferos e atribui a cada classe uma vulnerabilidade. (CABRAL et. al., 2004).

Na Tabela 1 é apresentada a classificação da vulnerabilidade com base no tipo de aquífero e litologia associada.

Tabela 1 – Classes de Vulnerabilidade de acordo com a aproximação EPPNA

Classes	Vulnerabilidade
V1 - Aquíferos em rochas carbonatadas de elevada carstificação	Alta
V2 - Aquíferos em rochas carbonatadas com carstificação média a alta	Média a Alta
V3 - Aquíferos em sedimentos não consolidados com ligação hidráulica com a água superficial	Alta
V4 - Aquíferos em sedimentos não consolidados em ligação hidráulica com a água superficial	Média a Alta
V5 - Aquíferos em rochas carbonatadas	Média a Baixa
V6 - Aquíferos em rochas fissuradas	Baixa e variável
V7 - Aquíferos em sedimentos consolidados	Baixa
V8 - Inexistência de Aquíferos	Muito Baixa

Fonte: CABRAL et. al., 2004.

2.4.2. Método DRASTIC

A metodologia DRASTIC (ALLERT et. al., 1987) se baseia no cálculo de um índice de vulnerabilidade a partir de parâmetros hidrogeológicos, morfológicos e topográficos que se destina a identificar uma situação de contaminação particular. Para a utilização do método DRASTIC são importantes a adoção de algumas condições de contorno:

- a) O contaminante é introduzido à superfície do terreno;

- b) O contaminante é transportado verticalmente até o aquífero pela água de infiltração;
- c) O contaminante possui mobilidade na água;

Uma área mínima de 0,4 km² é necessária para que a utilização do método seja válida; A metodologia não foi desenvolvida para a avaliação de contaminações feitas em profundidade, como tanques enterrados, lagoas de resíduos ou poços de injeção.

O índice é calculado a partir do somatório ponderado de sete valores correspondentes aos sete parâmetros:

- a) D – Profundidade do nível freático (Depth): representa a distância que um contaminante deve atravessar antes de atingir a zona saturada. Quanto maior a trajetória do contaminante até o nível freático, maior a chance de adsorção ou atenuação do contaminante, e assim, menor o nível de contaminação do aquífero;
- b) R – Recarga que recebe o aquífero (Recharge): consiste na quantidade de água que atinge a área e se infiltra no solo ou na rocha até atingir a zona saturada. Como o modelo representa o transporte de contaminantes que são infiltrados pelo solo com a água, quanto maior for a recarga de uma área, maior é a probabilidade de infiltração do contaminante e da contaminação da água subterrânea. De acordo com Barreto (2006), a recarga condiciona o transporte de um poluente na zona não saturada e a disponibilidade de água para os processos de dispersão e diluição tanto na zona vadosa como na zona saturada;
- c) A – Litotipo e estrutura do meio aquífero (Aquifer): corresponde a composição dos sedimentos e das rochas que constituem o aquífero. É importante nos processos de atenuação e dispersão de contaminantes;
- d) S – Tipo de solo (Soil): compreende o material de cobertura da superfície terrestre constituído por partículas de tamanhos variáveis, além de constituintes orgânicos; Tem influência nos processos de recarga e atenuação;
- e) T – Inclinação do terreno (Topography): representa a declividade do terreno. Terrenos com maior declividade apresentam uma menor infiltração de água, por conseguinte, de infiltração do poluente, enquanto que terrenos mais planos possuem uma maior suscetibilidade à infiltração dos poluentes. Barreto (2006) destaca que este parâmetro condiciona a probabilidade de um poluente escoar superficialmente ou de permanecer à superfície durante o tempo suficiente para se infiltrar;

- f) I – Influência da zona vadosa ou não saturada (Impact): corresponde a ação da zona não saturada que se encontra abaixo da superfície da terra e acima do nível estático. Conhecer esta estrutura é importante para conhecer o tipo de interação com o contaminante, pois isto pode significar maior adsorção e decomposição do contaminante assim como uma menor eficiência de retenção;
- g) C – Condutividade hidráulica do aquífero (Conductivity): consiste na taxa com que a água flui nos interstícios do meio aquífero sob um determinado gradiente hidráulico (MELO JUNIOR, 2002). Tem importante relação com o transporte de contaminantes.

Para cada um dos sete parâmetros é definido um índice (D_i) que varia de 1 a 10 e que é multiplicado por um peso (D_p) pré-definido pela metodologia (D = Peso 5, R = Peso 4, A = Peso 3, S = Peso 2, T = Peso 1, I = Peso 5, C = Peso 3).

O índice de vulnerabilidade se obtém a partir da seguinte expressão:

$$\text{DRASTIC} = D_i \times D_p + R_i \times R_p + A_i \times A_p + S_i \times S_p + T_i \times T_p + I_i \times I_p + C_i \times C_p$$

O resultado da expressão é o índice DRASTIC, que varia de 23 a 230. A classe de vulnerabilidade é então indicada conforme a dimensão do valor DRASTIC, sendo que quanto maior o valor, mais vulnerável é o aquífero. As classes e os limites dos intervalos de vulnerabilidade são descritos abaixo:

- Índice DRASTIC <120 – Vulnerabilidade baixa;
- Índice DRASTIC de 120 a 159 – Vulnerabilidade intermediária;
- Índice DRASTIC de 160 a 199 – Vulnerabilidade alta;
- Índice DRASTIC >199 – Vulnerabilidade muito alta.

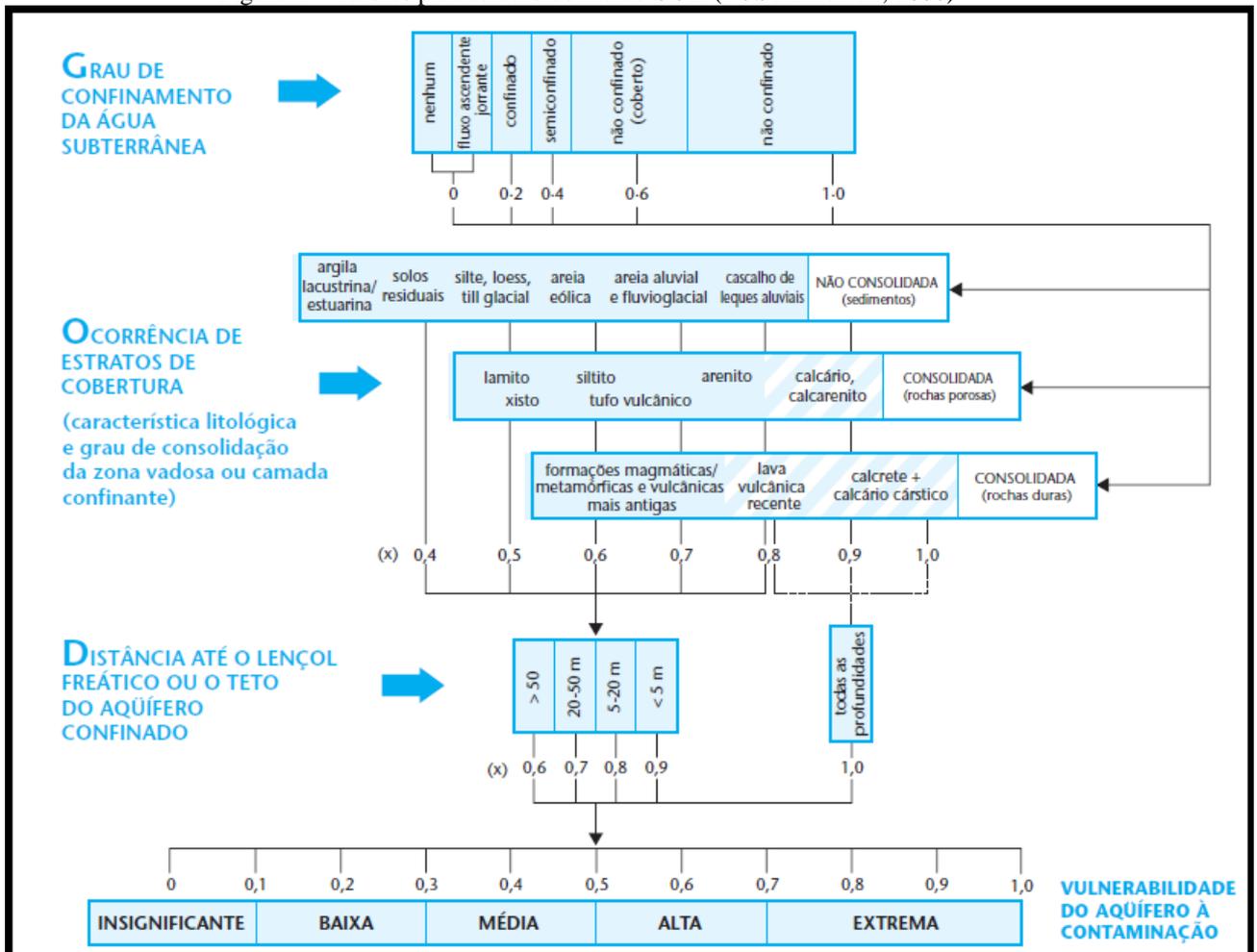
2.4.3. Método GOD

É um método desenvolvido para a classificação da vulnerabilidade natural de aquíferos que foi amplamente testado na América Latina e no Caribe durante a década de 90 (FOSTER et. al., 2006). A sigla GOD resulta da primeira letra de cada parâmetro utilizado para o cálculo do índice de vulnerabilidade.

- G – Grau de confinamento da água subterrânea (*Groundwater occurrence*);
- O – Ocorrência de estratos de cobertura (*Overall aquifer class*);
- D – Distância até o lençol freático ou teto do aquífero confinado (*Depth of groundwater*).

Para cada parâmetro é atribuído um valor entre 0 e 1, sendo que o índice de vulnerabilidade GOD é calculado a partir da multiplicação direta dos valores atribuídos a cada um dos parâmetros e resulta em um valor entre 0 e 1. O resultado do índice GOD possui 5 classes diferentes de vulnerabilidade que são insignificante, baixa, média, alta e extrema (Figura 4).

Figura 4 – Valores para cálculo do índice GOD (FOSTER et. al., 2006)



Uma vulnerabilidade insignificante representa a ausência de um fluxo vertical significativo de água subterrânea devido a presença de camadas confinantes. Uma vulnerabilidade baixa representa uma difícil contaminação das águas subterrâneas, sendo alcançada somente por contaminantes resistentes, quando são lançados ou lixiviados continuamente, durante um longo prazo. A vulnerabilidade moderada significa que apenas alguns contaminantes conseguirão alcançar o aquífero, se continuamente lançados ou lixiviados. As zonas de alta vulnerabilidade são áreas que são facilmente afetadas por muitos contaminantes. O estágio mais suscetível à contaminação são as zonas de vulnerabilidade

extrema que são aquelas afetadas pela maioria dos contaminantes, com um impacto rápido e em muitos cenários de contaminação (FOSTER et. al., 2006).

2.4.4. Método AVI

Criado por pesquisadores canadenses do *National Hydrology Research Institute* (NHRI) o método AVI (sigla de *Aquifer Vulnerability Index*), baseia-se em dois parâmetros físicos (CABRAL et. al., 2004):

- a) Espessura (d_i) de cada nível sedimentar acima da superfície freática;
- b) Condutividade hidráulica (K_i) estimada de cada um destes níveis sedimentares.

O índice consiste no cálculo do parâmetro C – Resistência Hidráulica, que representa a resistência ao fluxo vertical, a partir da equação:

$$C = \sum \frac{d_i}{K_i}$$

Aonde o somatório das “i” camadas representa a Resistência Hidráulica.

A vulnerabilidade é então classificada de acordo com o valor de C, conforme a Tabela 2:

Tabela 2 – Classificação da vulnerabilidade segundo os intervalos de resistência hidráulica pelo método AVI.

Resistência Hidráulica (C) em anos	Índice AVI
0 – 10	Extremamente Elevado
10 – 100	Elevado
100 – 1000	Moderado
1000 – 10000	Baixo
>10000	Extremamente Baixo

Fonte: CABRAL et. al., 2004.

2.5. Perímetros de Proteção de Poços (PPP's)

Perímetros de proteção de poços (PPP's), zonas de proteção de poços (ZPP), ou áreas de proteção de fontes (APF's) são extensões de área contíguas aos poços de captação que têm a finalidade de proteger o manancial captado da possibilidade de contaminação por atividades antrópicas potencialmente poluidoras limitando os usos nessas áreas. As dimensões e formas dessas áreas estão relacionadas às características hidrogeológicas locais, como direção do fluxo de água subterrânea, ou a capacidade de atenuação natural do solo (FOSTER et. al., 2006; CABRAL et. al., 2004).

Segundo Adams e Foster (1992) e Foster e Skinner (1995) existem diversas zonas de proteção de um poço, cada uma com uma finalidade própria. As principais zonas que devem

ser definidas para a proteção de um poço de abastecimento são as zonas: de captura, de influência, de proteção microbiológica e operacional (Figura 5 e 6).

Figura 5 – Diferença entre Zona de Captura e Zona de Influência de um poço (FOSTER et. al., 2006)

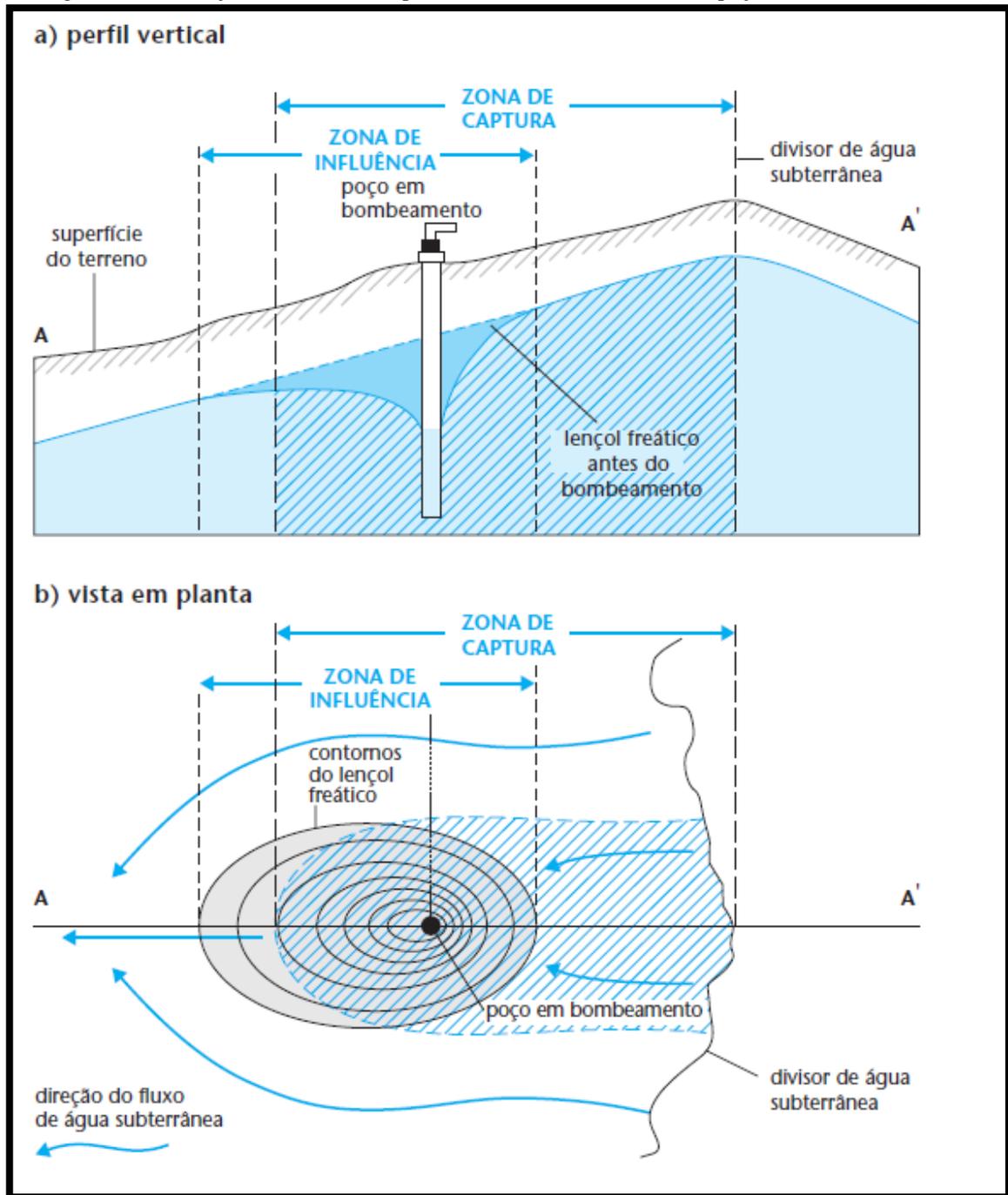
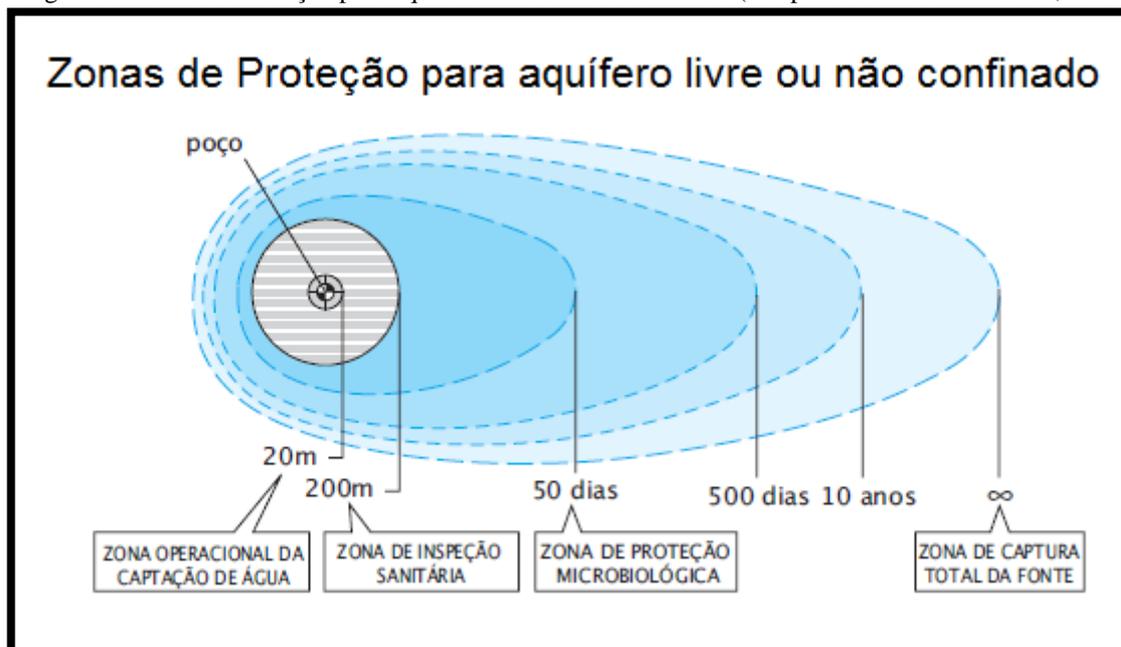


Figura 6 - Zonas de Proteção para aquífero livre ou não confinado (Adaptado de FOSTER et. al., 2006).



A zona de captura do poço é a área de proteção que abrange toda a área de recarga do aquífero e que consiste na área de proteção mais externa, tendo por função a proteção da vazão de exploração. Ela fornece uma proteção à longo prazo e serve também de ferramenta de gestão, uma vez que, em situações de intensa exploração da água subterrânea, pode ser usada como área de conservação de recursos (ou reserva) para o suprimento de água potável. Ela é definida através da área de contribuição necessária para equilibrar a recarga, considerando-se o balanço de água, e pela geometria da trajetória de fluxo da água subterrânea. É a zona menos restritiva pois possui uma área de maior abrangência (FOSTER et. al., 2006; WAHNFRIED e HIRATA, 2005).

A zona de influência é a área atingida pelo cone de rebaixamento do poço, ou a área em que o nível estático é perturbado pela captação de um poço em bombeamento, que é maior no lado à jusante (FOSTER et. al., 2006).

A zona de proteção microbiológica é a área criada para proteger a captação contra a contaminação de agentes microbianos, como vírus, bactérias e outros parasitas patogênicos. Devido à possibilidade de contaminação da água subterrânea por fontes pontuais como esgotos domésticos, fossas sépticas, latrinas ou até mesmo fontes difusas como cursos d'água contaminados e valas de drenagem recomenda-se que exista um tempo mínimo de trânsito horizontal médio da água do aquífero até a captação para que estes contaminantes possam ser atenuados. O tempo médio de 50 dias foi determinado, mundialmente, como um valor razoável para a proteção da captação pela contaminação pela maioria dos patógenos presentes

em águas subterrâneas, porém este valor pode variar entre 10 e 100 dias de um país para outro. Este PPP é considerado por vários autores como o mais importante em relação à saúde pública, e por ter um tamanho relativamente reduzido, de fácil implementação e controle. É uma zona de restrição média e geralmente possui uma geometria simples, com forma circular ou elipsoidal ao redor do poço, seguindo o cone de rebaixamento do poço em bombeamento (FOSTER et. al., 2006; WAHNFRIED e HIRATA, 2005).

A zona operacional do poço corresponde a área mais interna e próxima da captação do poço, geralmente utilizada para atividades relacionadas à própria extração de água. Recomenda-se que seja de propriedade do dono do poço e que para evitar qualquer tipo de contaminação seja feita uma laje de cimento nas imediações da perfuração, impedindo assim a contaminação por óleos e outros produtos possíveis da manutenção da bomba. Também é uma prática comum o cercamento desta área para evitar o acesso de animais ou o vandalismo. Apesar do tamanho desta zona ser arbitrário e depender das formações geológicas locais a bibliografia recomenda um raio de ao menos 20 metros ao redor do poço, sendo que deve ser efetuada uma inspeção sanitária detalhada em uma área de pelo menos 200 metros ao redor do poço, para garantir que não existam focos de contaminação próximo à área de captação. Por ser a menor zona e a mais próxima ao poço, é a zona de maiores restrições ao uso (WAHNFRIED e HIRATA,2005; FOSTER et. al., 2006).

Existem muitas formas de se calcular um perímetro de proteção que variam desde métodos mais simples, que necessitam de um menor detalhamento da hidrogeologia local, até métodos complexos que por sua vez necessitam de uma grande quantidade de parâmetros e um conhecimento da hidrogeologia local bastante aprofundado (Figura 7).

Figura 7 – Métodos de delimitação de PPP's (FOSTER et. al., 2006)

MÉTODO DE DELIMITAÇÃO	CUSTO	CONFIABILIDADE
Raio Arbitrário Fixo/Calculado	baixo	menor
Formas Variáveis Simplificadas		
Modelos Analíticos Hidrogeológicos		
Mapeamento Hidrogeológico		
Modelos Numéricos de Fluxo da Água Subterrânea (com rotinas de caminhamento de partículas para a definição do fluxo)	alto	maior

Historicamente as metodologias usadas para a elaboração dos PPP são as zonas circulares de raio fixo arbitrário. Devido à grande carência de uma base científica sólida, sua implementação foi muitas vezes difícil pela confiabilidade questionável e pela falta de fundamentação (WAHNFRIED e HIRATA, 2005; FOSTER et. al., 2006).

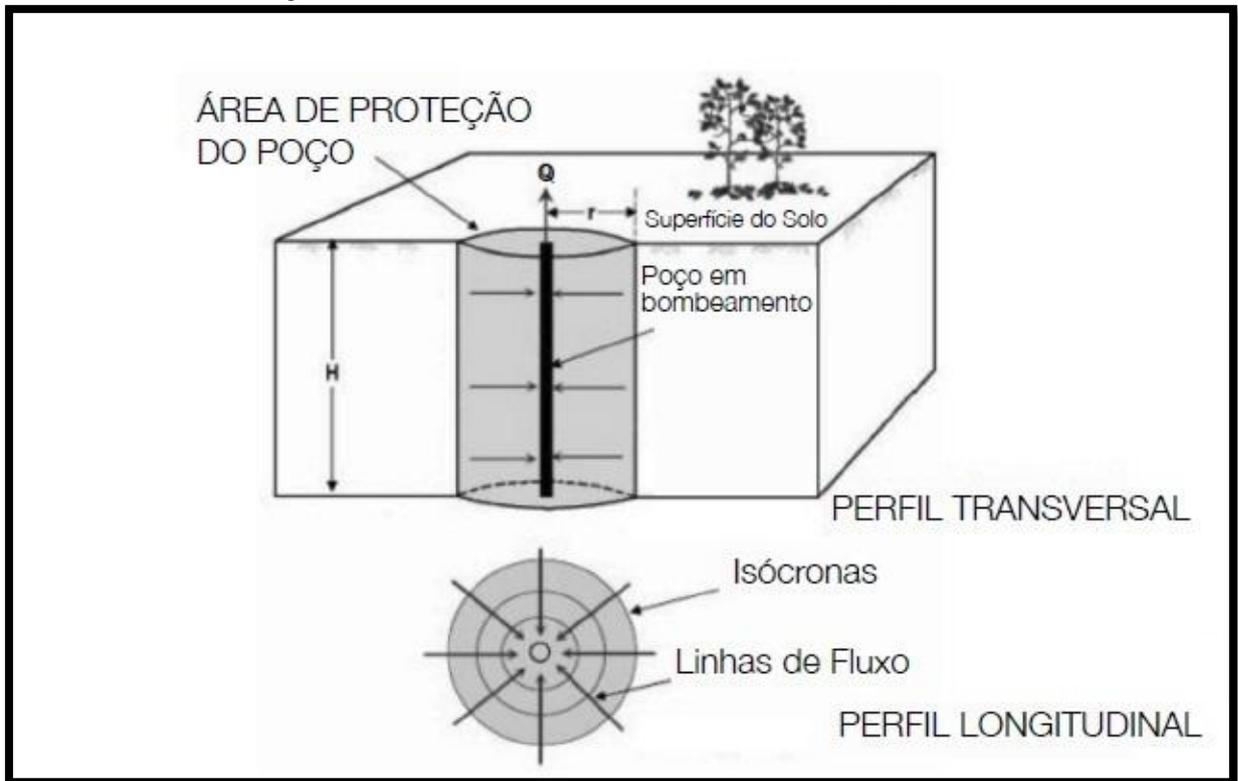
Os principais métodos para cálculo dos PPP's consistem no Raio Fixo Calculado (RFA), Método de Wyssling, Mapeamento Hidrogeológico, Modelos Analíticos e Modelos Numéricos.

2.5.1. Raio fixo calculado

Este método utiliza uma equação analítica que calcula o raio de uma seção cilíndrica do aquífero, centrada na captação, em função do tempo de propagação do poluente até a captação. Este cálculo se baseia no princípio de que o cilindro calculado contém um volume de água captada durante um determinado tempo de propagação, suficiente para que um potencial poluente seja minimizado até apresentar concentrações seguras antes de alcançar a captação (CABRAL et. al., 2004).

O método considera que a captação é a única a drenar o aquífero, e que não existem direções preferenciais de fluxo, aonde todas as linhas de corrente convergem para a captação (Figura 8).

Figura 8- Raio Fixo Calculado (CARVALHO E HIRATA, 2012)



Os dados hidrogeológicos necessários para o cálculo do método consistem na porosidade, espessura da zona saturada e vazão da captação. Os dados são utilizados na equação do Raio Fixo Calculado apresentada a seguir:

$$Q \cdot t = n \cdot \pi \cdot H \cdot r^2 \leftrightarrow r = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{n \cdot H \cdot \pi}}$$

Aonde: Q = vazão captada (m^3/d);

t = tempo de propagação (d) – geralmente utiliza-se 50 dias;

n = porosidade eficaz do aquífero;

H = espessura saturada na captação (m);

r = raio do perímetro de proteção (m).

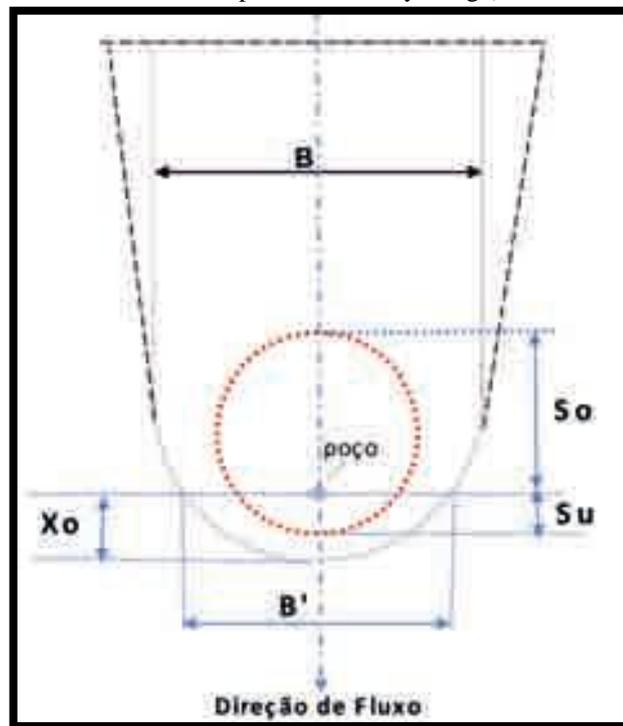
A equação volumétrica é mais adequada para aquíferos verdadeiramente confinados, sem drenagem vertical a partir do estrato confinante superior. Para aquíferos livres a equação não é muito apropriada, pois o cone de rebaixamento gerado não é cilíndrico, além do que não é considerada a recarga. É também necessário que o gradiente hidráulico seja mínimo (<

0,0005 ou 0,001), pois a ocorrência de gradientes muito abruptos geram zonas de influência não circulares (CABRAL et. al., 2004).

2.5.2. Método de Wyssling ou gradiente hidráulico inclinado

Consiste no cálculo da Zona de Chamada de uma captação, que corresponde à parte da Zona de contribuição aonde se observa um rebaixamento do nível da água causado pelo bombeamento do poço (Merino & Navarrete, 1991). É um método simples e aplicável a aquíferos com porosidade granular (Figura 9).

Figura 9 – Modelo de cálculo pelo método Wyssling (CABRAL et. al., 2004)



A aplicação desse método envolve o cálculo da zona de chamada que é realizado através da aplicação das seguintes equações:

$$B = \frac{Q}{K \cdot b \cdot i}$$

$$X_0 = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot b \cdot i}$$

$$B' = \frac{B}{2} = \frac{Q}{2 \cdot K \cdot b \cdot i}$$

$$V_e = \frac{K \cdot i}{n_e}$$

$$l = V_e \cdot t$$

$$S_0 = \frac{+l + \sqrt{l(l + 8.X_0)}}{2}$$

$$S_u = \frac{-l + \sqrt{l(l + 8.X_0)}}{2}$$

Onde: B = largura da zona de captura;

Q = vazão de exploração;

K = condutividade hidráulica;

b = espessura saturada do aquífero;

i = gradiente hidráulico;

X_0 = raio de chamada (distância da captação ao ponto neutro a jusante);

B' = a largura da zona de captura na altura do poço;

V_e = velocidade real;

l = distância linear correspondente a um tempo t (por exemplo, 50 dias);

S_0 = distância correspondente ao tempo (t) no sentido do fluxo (a montante da captação);

S_u = distância correspondente ao tempo (t) no sentido do fluxo (a jusante da captação).

2.5.3. Modelos hidrogeológicos analíticos

Os PPP's elaborados a partir de modelos hidrogeológicos analíticos simples utilizam a lei de Darcy para definir a velocidade real média a partir de parâmetros de vazão, condutividade hidráulica, espessura saturada, gradiente hidráulico, porosidade efetiva e da direção do fluxo e das linhas potenciométricas. A área é calculada usando-se uma equação analítica. São utilizados para aquíferos porosos ou intergranulares e possuem a limitação de funcionar apenas para aquíferos homogêneos nas proximidades da captação (IRITANI e EZAKI, 2010; WAHNFRIED e HIRATA, 2005).

2.5.4. Mapa hidrogeológico

Outro método utilizado para a delimitação dos PPP's, o mapa hidrogeológico, é elaborado utilizando-se os limites do aquífero captado, a cartografia hidrogeológica, as direções do fluxo, as linhas potenciométricas e a relação rio-aquífero para identificação de

feições geológicas que controlam o fluxo d'água. Com as feições plotadas em um mapa é delimitado o PPP e o seu fluxo é definido através de um mapa potenciométrico. A principal diferença para com os outros métodos é que ele gera uma área única para o perímetro de proteção, independente do tempo de transito. É aplicada para qualquer tipo de aquífero: poroso, cárstico ou fraturado (IRITANI e EZAKI, 2010, WAHNFRIED e HIRATA, 2005).

2.5.5. Modelos matemáticos

Os modelos numéricos utilizam equações de fluxo e transporte em programas computacionais para definir o tempo de trânsito de partículas em um aquífero e, por isso, necessitam de um maior número de parâmetros. São ferramentas mais caras e exigem maior tempo para utilização, porém, são métodos mais precisos. Os parâmetros mais comuns a serem utilizados para a modelagem matemática são os limites hidrogeológicos da área a ser modelada, as condições de contorno diversas (como a recarga do aquífero, as características dos rios e da drenagem local), a geometria e tipo de aquífero, a potencimetria, os valores de parâmetros hidráulicos em cada célula e o regime de bombeamento em cada captação. A principal limitação destes modelos é a não consideração da difusão e dispersão no transporte de solutos, geralmente é considerada apenas a componente advectiva de transporte. (IRITANI e EZAKI, 2010; WAHNFRIED e HIRATA, 2005; FOSTER et. al., 2006).

2.5.6. Exemplos de perímetros de proteção: o PIPS e PA no estado de São Paulo.

No estado de São Paulo, o decreto 32.995 de 1991 regulamenta o perímetro de proteção sanitária (PIPS) e o perímetro de alerta (PA).

O PIPS corresponde a uma área circular com raio de 10m e centrada na captação, sendo esse perímetro cercado e protegido por meio de telas, não sendo admitida a entrada ou penetração de poluentes e é reservada apenas para operação e manutenção do poço (HAMAMOTO, 2010).

O PA é a área calculada para um tempo de permanência de 50 dias no aquífero, para contaminantes não conservativos. Ela exige ainda que as extrações dentro desta área sejam disciplinadas, que as fontes de poluição já implantadas sejam controladas e a instalação de novas fontes potenciais de poluição seja restringida (HAMAMOTO, 2010).

Segundo Dias et. al. (2004) o PA tem a função de proteção microbiológica, e recomenda que o critério de 50 dias seja usado para aquíferos sedimentares livres, enquanto que, para aquíferos confinados ou fraturados seja utilizado um raio de 50m.

O mesmo autor recomenda, ainda, a criação de dois perímetros de proteção: a Zona Proximal de Restrição e Controle (ZPRC) e a Zona Distal de Restrição e Controle (ZDRC). A primeira zona (ZPRC) é delimitada com base em um tempo de permanência de 365 dias e que tem a função de proteção contra contaminantes pouco degradáveis. Este perímetro serve para que caso aconteça uma contaminação, se disponha de tempo suficiente para execução de remediação. A segunda zona (ZDCR) é delimitada por um raio calculado com o tempo de permanência de dez anos ou pela zona total de captura do poço, devendo ser adotado o menor perímetro. Tem como finalidade a proteção de toda a área de recarga do poço.

2.6. Contaminação da Água Subterrânea por Vazamentos de Postos de Combustíveis

Segundo a resolução Conama 420 de 2009, contaminação é definida como sendo a:

[...] presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para os usos atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico; [...]

No caso da contaminação por hidrocarbonetos derivados de petróleo em postos de combustível, este ocorre geralmente devido a vazamentos no tanque de estocagem de combustível subterrâneo. Estes vazamentos ocorrem, segundo Yamada (2004) devido a danos nos tanques de armazenamento por processos do meio físico. Os processos que podem causar danos aos tanques de armazenamento são a corrosão, o colapso, a compressão e a expansão do solo.

Processos corrosivos podem ser iniciados por falhas na proteção das instalações ou por contato com água devido a vazamentos ou flutuações do nível d'água (YAMADA, 2004). A contaminação ocorre quando a corrosão causa dano suficiente na instalação para que haja o vazamento do combustível.

Segundo Yamada (2004) as instalações em solos colapsáveis criam tensões que quando somadas à saturação do solo (causada também pela variação no nível de água), podem

acarretar o colapso do solo, podendo causar danos ao equipamento e vazamentos. A ocorrência de recalques no solo, devido ao peso das instalações ser superior as tensões admissíveis do solo, podem causar danos à estrutura dos tanques ou as tubulações quando suficientemente grandes. A expansão do solo devido a presença de minerais expansivos e a inserção de água no sistema, pode acarretar em tensões que podem danificar as instalações.

Uma vez ocorrido o vazamento, a migração do contaminante no meio ambiente subterrâneo vai depender das características geológicas das camadas superiores ao aquífero e das características hidrogeológicas do aquífero (YAMADA, 2004).

A gasolina é um produto do petróleo altamente volátil composta por uma mistura de mais de uma centena de outros hidrocarbonetos leves alifáticos (alcanos, cicloalcanos, alquenos), aromáticos (BTEX) e aditivos (MTBE – methyl tertiary-butyl ether) no intervalo do C4 ao C12, além de contaminantes naturais contendo enxofre, oxigênio, metais e nitrogênio em pequenas concentrações (TAKESHITA, 2006; NANNI, 2003). Esta composição varia de acordo com a origem e tipo de petróleos utilizado como matéria prima, com os processos utilizados na refinaria e a eventual adição de aditivos (OLIVEIRA, 1992). No Brasil, um grande número de veículos é abastecido exclusivamente por gasolina, sendo que este combustível possui, atualmente, uma mistura de 78% de gasolina e 22% de etanol (Decreto Nº 3.824 – 2001)

A ecotoxicologia da gasolina é equivalente a toxicidade dos componentes monoaromáticos solúveis em água, particularmente os hidrocarbonetos aromáticos. Os componentes BTEX da gasolina exibem claramente e em curto prazo, efeitos de toxicidade para uma variedade de organismos aquáticos em ambientes com ou sem circulação (IRWIN et. al., 1998)

A gasolina é constituída basicamente por três categorias de componentes; parafinas, aromáticos e olefinas. As parafinas representam a categoria mais abundante e, muitas vezes, correspondem a 66% da gasolina, sendo constituídas de cadeias de carbonos ligadas a átomos de hidrogênio por ligações simples (hidrocarbonetos saturados). Os componentes aromáticos correspondem, aproximadamente, a 25% da gasolina e possuem uma estrutura do tipo cadeias de benzeno, sendo considerados como constituintes mais tóxicos. As olefinas são normalmente o grupo menos abundante e consistem de cadeias de hidrocarbonetos com ligações duplas ou triplas não saturadas em hidrocarbonetos (USEPA, 1992).

Segundo Nanni (2003) a composição básica da gasolina brasileira compreende 31 diferentes compostos, incluindo aqueles da adição de álcool (Tabela 3). Os percentuais

referidos na tabela podem sofrer variações decorrentes de condições de políticas regionais e sazonais.

Tabela 3 – Composição Básica da Gasolina Brasileira.

Composto	Fórmula	Proporção (%)
Isobutano	C ₄ H ₁₀	0,2
n-Butano	C ₄ H ₁₀	0,7
Etanol	C ₂ H ₆ O	23
Isopentano	C ₅ H ₁₂	5,1
n-pentano	C ₅ H ₁₂	4
Metilbuteno	C ₅ H ₁₀	2,1
Dimetilbutano	C ₆ H ₁₄	0,2
2-Metilpentano + Metilciclobutano	C ₆ H ₁₄ + C ₅ H ₁₀	2,8
3 - Metilpentano	C ₆ H ₁₄	1,3
n - Hexano + 1-Hexeno	C ₆ H ₁₄	2,8
Metilciclopentano	C ₆ H ₁₂	1,9
3 - Metil - 1,3 Pentadieno	C ₆ H ₁₀	0,6
Benzeno	C ₆ H ₆	0,8
Ciclohexano	C ₆ H ₁₂	1
2 - Metilhexano	C ₇ H ₁₆	1,2
2,3 - Dimetilpentano	C ₇ H ₁₆	0,4
3- Metilhexano	C ₇ H ₁₆	1,2
n-Heptano	C ₇ H ₁₆	2,4
Metilciclohexano + 1,1,3 - Trimetilciclopentano	C ₇ H ₁₄ + C ₈ H ₁₆	1,9
Etilciclopentano	C ₇ H ₁₄	0,3
1,2,4 - Trimetilciclopentano	C ₈ H ₁₆	0,2
Tolueno	C ₇ H ₈	2,5
2-Metilheptano	C ₈ H ₁₈	1
3-Metilheptano	C ₈ H ₁₈	0,6
n-Octano + Dimetilciclohexano	C ₈ H ₁₈ + C ₈ H ₁₆	1,8
Etilbenzeno	C ₈ H ₁₀	0,8
(m+p) - Xileno	C ₈ H ₁₀	3,4
3-Metiloctano	C ₉ H ₂₀	0,5
0- Xileno	C ₈ H ₁₀	1,2
Hidrocarboneto alifático	C ₉ H ₂₀	1,1
Hidrocarboneto aromático	C ₉ H ₁₂	3,3

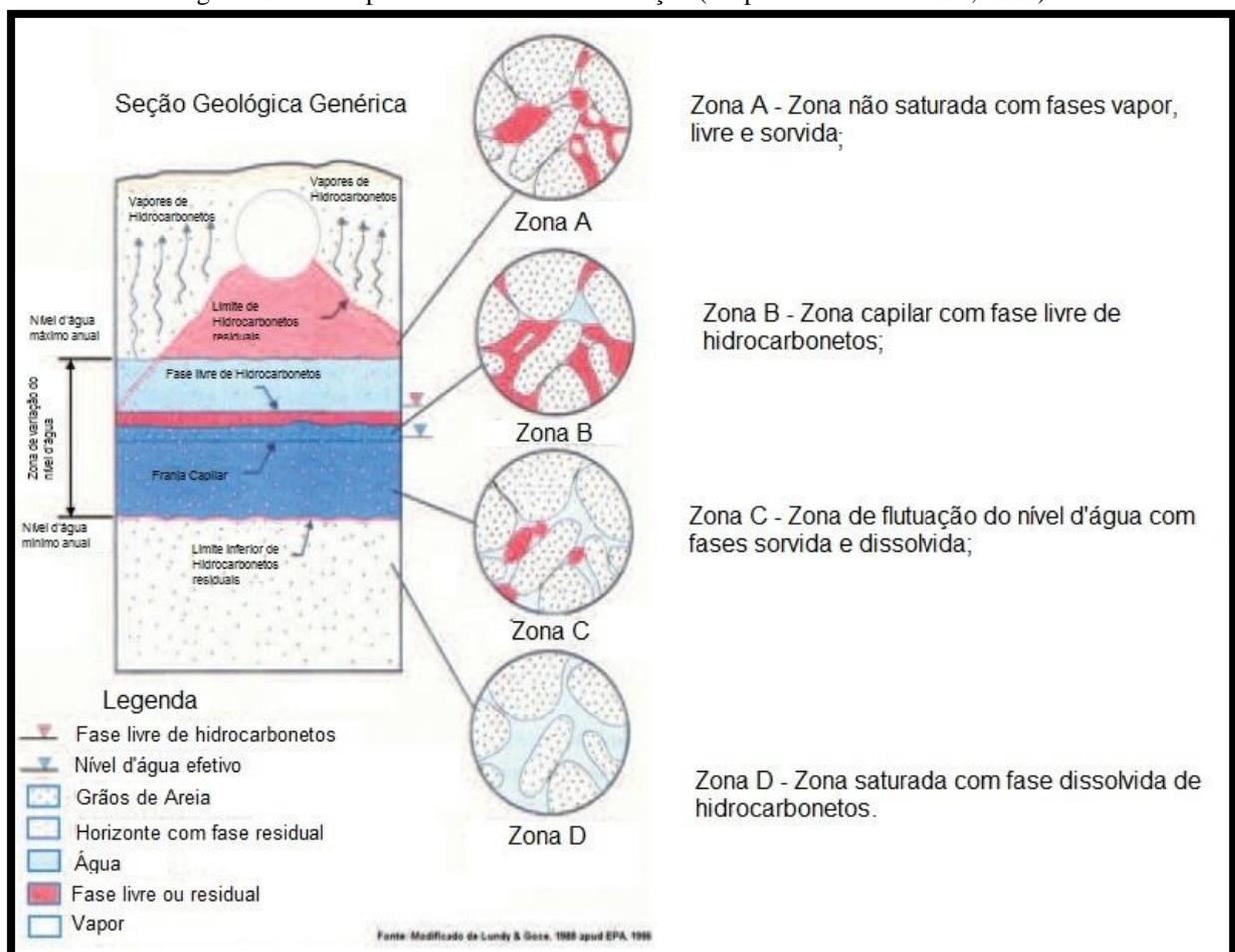
Fonte: Instituto de Pesquisas Tecnológicas in (CETESB, 2000).

Fonte: NANNI, 2003.

O óleo diesel é composto por hidrocarbonetos na faixa do C10 a C20 e possui um peso molecular maior que o da gasolina, o que faz com que seus compostos sejam menos voláteis, menos solúveis e que apresentem menor mobilidade em relação aos componentes da gasolina. Ainda, o óleo diesel apresenta uma quantidade pequena de compostos BTEX e tem uma mobilidade reduzida no solo, pois é mais facilmente adsorvido, assim fazendo com que sua percolação seja muito mais lenta que a da gasolina. Porém, possui grande quantidade de substâncias carcinogênicas em sua composição e seu maior potencial de formação de fase sorvida faz com que o óleo diesel seja um contaminante de alta periculosidade (FINOTTI, CAICEDO e RODRIGUEZ, 2001).

Após o vazamento, dependendo das condições de permeabilidade da geologia local, a gasolina migra em direção ao lençol freático infiltrando no terreno sob influência da força gravitacional. Segundo Oliveira (1992), a grande quantidade de compostos com diferentes características físico-químicas que formam a gasolina, ao ocorrer um vazamento em um tanque subterrâneo, originam quatro fases distintas: sorvida, livre, dissolvida e vapor (Figura 10).

Figura 10 – Exemplo das fases de contaminação (adaptado de MINDRISZ, 2006).



A fase livre da contaminação, ao atingir o lençol freático, forma uma camada flutuante sobre o nível d'água, devido a menor densidade e imiscibilidade do composto. O caminamento horizontal da fase livre na direção do gradiente hidráulico, bem como o deslocamento vertical devido às variações do nível d'água, pode fazer com que um maior volume do contaminante passe para a fase sorvida. (OLIVEIRA, 1992).

A fase sorvida é aquela que fica retida no solo. É formada pela parcela de contaminante que fica aderida às partículas sólidas componentes do solo como fase adsorvida. A fase sorvida pode funcionar como fonte de contaminação, liberando, aos poucos, pequenas quantidades de contaminante, estendendo, assim, a contaminação por muitos anos. (OLIVEIRA, 1992)

A fase dissolvida ocorre pela transferência de moléculas do contaminante para a água, dependendo da solubilidade e do grau de mistura do contaminante com a água. Entretanto, a presença de solventes hidrofílicos no combustível pode aumentar significativamente sua solubilidade (OLIVEIRA, 1992). Segundo Corseuil e Fernandes (1999), a presença de 10% de etanol na água acarreta em um aumento na solubilidade do benzeno, tolueno e xileno de 20%, 40% e 50%, respectivamente, comparado à solubilidade dos compostos em água sem etanol. Considerando a gasolina brasileira, que possui 22% de etanol misturado, e que os postos de combustível também possuem tanques para o armazenamento de etanol, a contaminação das águas subterrâneas por um vazamento de gasolina é altamente preocupante.

A fase vapor é formada pela volatilização de determinados compostos do contaminante. A mobilidade do vapor no meio físico é dependente de suas características como porosidade, densidade, conteúdo de água e de ar, espessura da zona não saturada, fração de carbono orgânico e das flutuações do nível d'água, bem como as do contaminante como coeficiente de difusão nas fases líquida e gasosa. (OLIVEIRA, 1992).

Segundo Santos (2004), a circulação de combustíveis dentro dos postos de combustível pode ser caracterizada por três partes principais:

- a) Sistema de armazenamento subterrâneo;
- b) Respiros;
- c) Bombas abastecedoras.

O sistema de armazenamento subterrâneo é composto por tanques e dutos subterrâneos.

Os respiros são responsáveis pela exalação de vapores durante o abastecimento dos tanques, por este motivo são colocados no ponto mais alto do tanque. Sempre que for possível, os respiros devem ser visíveis pelo ponto de enchimento, e devem terminar em área

aberta, para que qualquer vapor do combustível possa ser dispersado e, no caso de um transbordamento, não haja danos à propriedade, riscos de incêndio, contaminação do solo ou cursos de água (SANTOS, 2004).

As bombas abastecedoras cumprem a função de distribuir os combustíveis aos veículos.

Devido a esta estrutura de funcionamento podemos relacionar algumas causas principais de vazamentos (GUIGUER, 2000; MINDRISZ, 2006):

- a) Derramamento durante a operação de transferência de produto para o tanque;
- b) Vazamentos no sistema, devido à corrosão;
- c) Falhas estruturais do tanque ou da tubulação conectada ao tanque;
- d) Instalação inadequada.

De acordo com Guiguer (2000) pesquisas realizadas pelo Departamento de recursos Ambientais da Pensilvânia (PADER) mostram que os vazamentos nos postos neste estado são devidos a:

- a) 49% dos vazamentos ocorrem em tanques;
- b) 39% ocorrem nos dutos subterrâneos;
- c) 12% ocorrem nos tanques e nos dutos.

Em um compilado de estudos realizados nos E.U.A. para mais de 900 sítios contaminados, Newell E Connor (1998), calcularam o tamanho médio das plumas de contaminação por benzeno, devido à vazamentos em tanques de armazenamento de postos de combustível, e encontraram valores médios de 132 pés, o equivalente a 40,234m. O estudo engloba 4 pesquisas em 3 diferentes estados e uma a nível nacional, a precisão de análise varia para cada estudo, mas geralmente é de 10ppb para delimitação da pluma.

2.7. Avaliação de Risco Potencial de Contaminação

O risco potencial de contaminação e a vulnerabilidade natural de aquíferos são, muitas vezes, confundidos. A vulnerabilidade, como discutida anteriormente, depende da capacidade de atenuação da zona não saturada e da acessibilidade de um potencial contaminante ao aquífero. O Risco de Contaminação, por sua vez, é entendido como a possibilidade de uma atividade ou empreendimento liberar uma carga contaminante diretamente sobre o solo e esta entrar em contato com a água subterrânea. Assim, uma área pode ter uma alta vulnerabilidade natural, porém, não apresentar risco de contaminação, ou então, uma área com baixa

vulnerabilidade natural pode apresentar um grande risco de contaminação, de acordo com as atividades nela exercidas (FOSTER et. al., 2006, MARQUEZAN, 2008).

O Risco de contaminação depende da utilização da área ou da atividade nela desenvolvida. Segundo a metodologia POSH, postos de gasolina são consideradas fontes de contaminação pontuais e de potencial de carga contaminante moderado (FOSTER et. al., 2006).

O risco de contaminação dos postos de gasolina está associado à sua funcionalidade, estudos mostram que 53% dos vazamentos em dutos ocorrem nos primeiros 10 anos após a instalação e 77% dentro dos primeiros 15 anos. Já em relação aos tanques, 71% dos vazamentos ocorrem após os 10 primeiros anos (GUIGUER, 2000).

Segundo Finotti (1997) e Foster et. al. (2006) a vida útil de um tanque de abastecimento é de 20 anos, enquanto Guiguer (2000), afirma que tanques com mais de 15 anos estão fortemente suscetíveis à corrosão, mesmo com a presença dos mais eficientes dispositivos anti-corrosivos. Há uma forte correlação entre a incidência e o tamanho dos vazamentos e a idade dos tanques instalados, portanto, o risco de contaminação aumenta conforme a idade do tanque ou do posto (KOSTECKI e CALABRESE, 1989; CHEREMISINOFF, 1992).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em quatro etapas, cada uma tratando de uma área de pesquisa e análise de dados para que pudesse ser elaborada a presente monografia. Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados diversos softwares para geração de diferentes informações, sendo os principais o *AutoCad 2010*, o *ArcGis 10*, e as ferramentas do pacote *Microsoft Office 2007 (Word e Excel)*. Para a localização dos postos de combustíveis foi utilizado o *Google Earth*.

3.1. Caracterização Física, Hidrogeológica e Ambiental da Área de Estudo

Nessa etapa foi efetuada a identificação de poços tubulares existentes no município de Canoas, a delimitação da área de estudo, a obtenção e a interpretação dos dados geológicos e hidrogeológicos e o levantamento e caracterização dos postos de combustíveis.

A identificação dos poços tubulares existentes na região foi realizada através do banco de dados SIAGAS da CPRM. No portal do SIAGAS foi feita a pesquisa dos poços existentes no município, foi feito o download das fichas técnicas completas dos poços existentes em Canoas e em seguida foi feita uma análise dos dados existentes e criado um banco de dados para trabalhar com as informações. As principais informações analisadas das fichas cadastrais dos poços foram o nível estático, a existência de perfil geológico, as profundidades das entradas de água, o tipo de uso previsto e o proprietário (de onde foram classificados em abastecimento Industrial, uso em Condomínio ou outros), a vazão após a estabilização, a cota do terreno, a situação do poço (bombeando, colmatado ou sem informação) e a localização do poço.

Foram encontrados, ao total, 115 poços no SIAGAS para o município de Canoas, e foram identificadas duas zonas onde havia uma maior concentração de poços, na zona Norte e na zona Central, os outros poços dentro do município estão distribuídos na área do município de maneira dispersa. O motivo para a escolha da área central do município é devido a parte norte do município ter uma grande concentração de indústrias, o que se reflete em grande quantidade de poços de uso industrial, enquanto na zona central há maior concentração de poços em condomínios residenciais, o que fortalece o estudo de análise de risco de contaminação nesta área. Devido a isso acabou se optando por trabalhar apenas com os poços

da área central, descartando os poços da área norte assim como os outros poços, pois estavam muito esparsos. Assim, para o desenvolvimento do trabalho utilizaram-se 46 poços, pertencentes à zona Central de Canoas.

A caracterização hidrogeológica foi realizada com base na interpretação de dados disponíveis em publicações e dados geológicos e hidrogeológicos dos poços tubulares identificados na região de estudo. Essa caracterização foi realizada com o objetivo de identificar os aquíferos existentes na região, bem como determinar características hidrogeológicas como espessura de zona saturada e parâmetros hidrogeológicos, necessários para a elaboração da análise de vulnerabilidade e delimitação dos PPP's. Foram elaborados perfis geológicos com base nos dados dos perfis dos poços para melhor entender a disposição das litologias que estão presentes na área de estudo utilizando o software *AutoCad 2012*.

A identificação dos postos de combustível dentro da área de estudo foi feita através de levantamento de campo e do uso da ferramenta *Google Earth*. Após uma identificação estratégica realizada através da interpretação das imagens do *Google Earth* foram feitas visitas aos postos identificados na área de estudo e aplicados questionários sobre os postos com os funcionários e/ou gerentes dos postos. Os questionários serviram para obter informações como a razão social do empreendimento, a bandeira do posto, a idade dos postos, o histórico da área (se já havia um posto naquele local anteriormente), a utilização de água subterrânea no posto, a ocorrência de troca de tanques de armazenagem de combustível e se já havia sido detectado algum tipo de vazamento ou contaminação no local. Outra fonte de consulta foi o site de licenciamento da FEPAM, aonde foram adquiridas as L.O.'s dos postos visitados dentro da área de estudo. Foi ainda consultado o site da ANP para verificar quais e quantos são os postos autorizados no município. Segundo a ANP existem em canoas 71 postos autorizados pelo órgão para a revenda de combustíveis, do cadastro total de 127 postos para o município. Foram identificados 16 postos de combustível dentro da área de estudo. A partir destes dados foi gerada uma tabela com as informações dos postos e classificados os potenciais de contaminação em:

- a) Baixo – Postos novos, sem identificação de postos antecedentes e com tanques com menos de 10 anos;
- b) Médio – Postos com tanques de armazenamento entre 10 e 15 anos;
- c) Alto – Postos com contaminação identificada no local, com identificação de postos antecedentes ou com tanques de armazenamento com mais de 15 anos de uso;

A análise leva em conta a idade dos tanques, a existência prévia de contaminação no local e a existência prévia de posto de combustível no local.

3.2. Definição dos Perímetros de Proteção de Poços Tubulares

Os PPP's foram calculados a partir das informações obtidas nos cadastros dos poços utilizando-se para isso o método do Raio Fixo Calculado. Foram executados, para cada poço da área, um buffer circular com centro na coordenada do poço e raio igual à distância calculada para cada PPP. O método foi escolhido devido a falta de dados para a utilização de outros métodos e pela simplicidade de delimitação do PPP. Os valores de Vazão (Q) e espessura saturada (H) foram retirados dos dados dos perfis, enquanto que os valores de porosidade eficaz (n_e) e tempos de permanência (t) foram obtidos através de levantamentos bibliográficos. A vazão explotada (Q) pelos poços foi calculada utilizando-se a vazão após estabilização de cada poço para um tempo de bombeamento de 24h. Este dado foi superestimado devido a falta de informações nos cadastros dos poços quanto ao tempo de bombeamento de projeto. A espessura saturada (H) considerada para o cálculo é igual a espessura da camada do aquífero aonde se localiza a primeira entrada de água de cada poço, devido a isso, para alguns poços que não apresentavam dados de entrada de água ou perfil litológico não foi possível fazer o cálculo dos PPP. Os valores de porosidade específica utilizados para cada tipo de estrato foram:

- a) Rochas Cristalinas (Diabásios, Granitos e Quartzitos): Segundo Iratani e Ezaki (2010), os valores de porosidade eficaz são variáveis entre 0,01 e 0,05. Assim, foi utilizado um valor intermediário de 0,03 para estas camadas;
- b) Folhelhos e Siltitos: Para estes estratos os valores encontrados na bibliografia foram de 0,1 (UNESC, NUPEA, CPRM, 1997);
- c) Arenitos: Foi adotado o valor recomendado de 0,2 conforme bibliografia (UNESC, NUPEA, CPRM, 1997).

Para cada poço foram definidos 3 PPP's. O perímetro de proteção mínimo de 10m, foi baseado no Decreto Estadual Nº 42.047, de 26 de dezembro de 2002 que é relativo ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos no Estado do Rio Grande do Sul. O perímetro de proteção microbiológica foi calculado utilizando tempos de permanência de 50 dias. Além disso, foi adotado um tempo de 365 dias para a delimitação do

PPP para contaminantes mais persistentes, devido a maioria dos compostos aromáticos presentes na gasolina possuírem grande persistência na água subterrânea.

3.3. Determinação da Vulnerabilidade dos Aquíferos

A avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos da região de estudo foi feita utilizando-se a metodologia GOD. A escolha do método deu-se devido à quantidade reduzida de parâmetros necessários para a sua aplicação e a maior facilidade em identificá-los. Em decorrência de que a área de estudo está localizada em uma zona altamente urbanizada e possuir uma área relativamente pequena a utilização de outros métodos, como o DRASTIC, se tornou inviável. Os parâmetros do método GOD foram identificados levando em conta os dados contidos nos perfis construtivos dos poços do SIAGAS.

O método de interpolação utilizado para todos os mapas foi o *Natural Neighbor*. O método do vizinho natural ou *Natural Neighbor* utiliza polígonos Thiessen para avaliação de pesos para os pontos. O método faz a interpolação através da média ponderada dos pontos vizinhos, onde os pesos são proporcionais às áreas proporcionais.

O parâmetro G, Grau de confinamento do aquífero, foi classificado através da identificação do estrato aquífero aonde se encontra a primeira entrada d'água de cada poço. Esta escolha foi tomada devido a existência de diversas camadas aquíferas na região, assim optou-se por adotar o aquífero mais raso presente em cada perfil. Para os poços sem dados de entrada de água e/ou sem perfis construtivos foi adotada a classificação mais vulnerável identificada na região. Com os valores identificados para todos os postos foi gerado um mapa de classificação do parâmetro, interpolando os valores de cada poço através da ferramenta *Interpolate* do *ArcGis 10*.

O parâmetro O, ocorrência de estratos de cobertura, foi classificado identificando-se as camadas da zona não saturada logo acima do nível estático de cada poço e adotando-se os valores sugeridos pelo método. Para poços sem dados de perfil litológico foi atribuído o maior valor de vulnerabilidade do parâmetro segundo as litologias encontradas na área de estudo.

O parâmetro D, Distância ou Profundidade até o nível estático foi classificado, para cada poço, conforme o método GOD e interpolado para todos os poços da área através da ferramenta *Interpolate* do *ArcGis 10*.

O Mapa de Vulnerabilidade foi obtido através da ferramenta *Raster Calculator* do *ArcGis 10*. Foi executada a multiplicação dos dados no formato raster, pixel a pixel, para

gerar uma nova imagem, aonde cada pixel tem um valor atribuído igual ao resultado da multiplicação dos valores das imagens originais (MEDEIROS et. al., 2011). Os mapas dos parâmetros G, O e D foram multiplicados e o resultado gerado foi o Mapa de Vulnerabilidade GOD.

3.4. Avaliação do Risco Potencial de Contaminação

A avaliação de risco de contaminação foi feita a partir dos dados levantados dos postos de gasolina e do mapa de vulnerabilidade. Foi feito um *buffer* com raio igual ao valor médio de pluma de benzeno para vazamentos de tanques de armazenamento de combustíveis segundo as referências (40m), partindo do ponto do posto de combustível, e que foi denominada de Área de Influência Subterrânea (AIS). Foi gerado um mapa com os postos de combustível e com as respectivas AIS sobre a imagem do mapa de vulnerabilidade e relacionados os potenciais de carga contaminante de cada posto ao mapa de vulnerabilidade natural do aquífero para identificar o Risco Potencial de Contaminação. A classe de Risco foi classificada de acordo com a metodologia POSH em 3 níveis: reduzido, moderado e elevado e definida, conforme ilustrado na Tabela 4, relacionando os índices de potencial de carga contaminante com a vulnerabilidade natural dos aquíferos.

Tabela 4 – Classes de Avaliação do Risco Potencial de Contaminação

Risco Potencial de contaminação		Potencial de Carga Contaminante		
		Baixa	Média	Alta
Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos	Insignificante	Risco Reduzido	Risco Reduzido	Risco Moderado
	Baixa	Risco Reduzido	Risco Reduzido	Risco Moderado
	Média	Risco Reduzido	Risco Moderado	Risco Elevado
	Alta	Risco Moderado	Risco Moderado	Risco Elevado
	Extrema	Risco Moderado	Risco Elevado	Risco Elevado

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os dados e os resultados originados pela pesquisa para a área central de Canoas. Os resultados são apresentados por etapas, de acordo com a metodologia do trabalho finalizando com a análise de risco potencial de contaminação por hidrocarbonetos.

4.1. Área de Estudo

A área escolhida para estudo abrange, parcialmente, 4 bairros de Canoas, possui ao todo 46 poços tubulares e 16 postos de combustível, como mostra a Figura 11. Para cada poço foi analisada a ficha cadastral e interpretados os principais dados obtidos com o desenvolvimento desse estudo. A Tabela 5 apresenta os dados de identificação, as coordenadas de localização dos poços, do nível estático (NE), do uso da água, a cota aproximada do poço (CT) e a presença de perfil litológico (s/n) para cada um dos 46 poços.

Figura 11 – Mapa da área de estudo

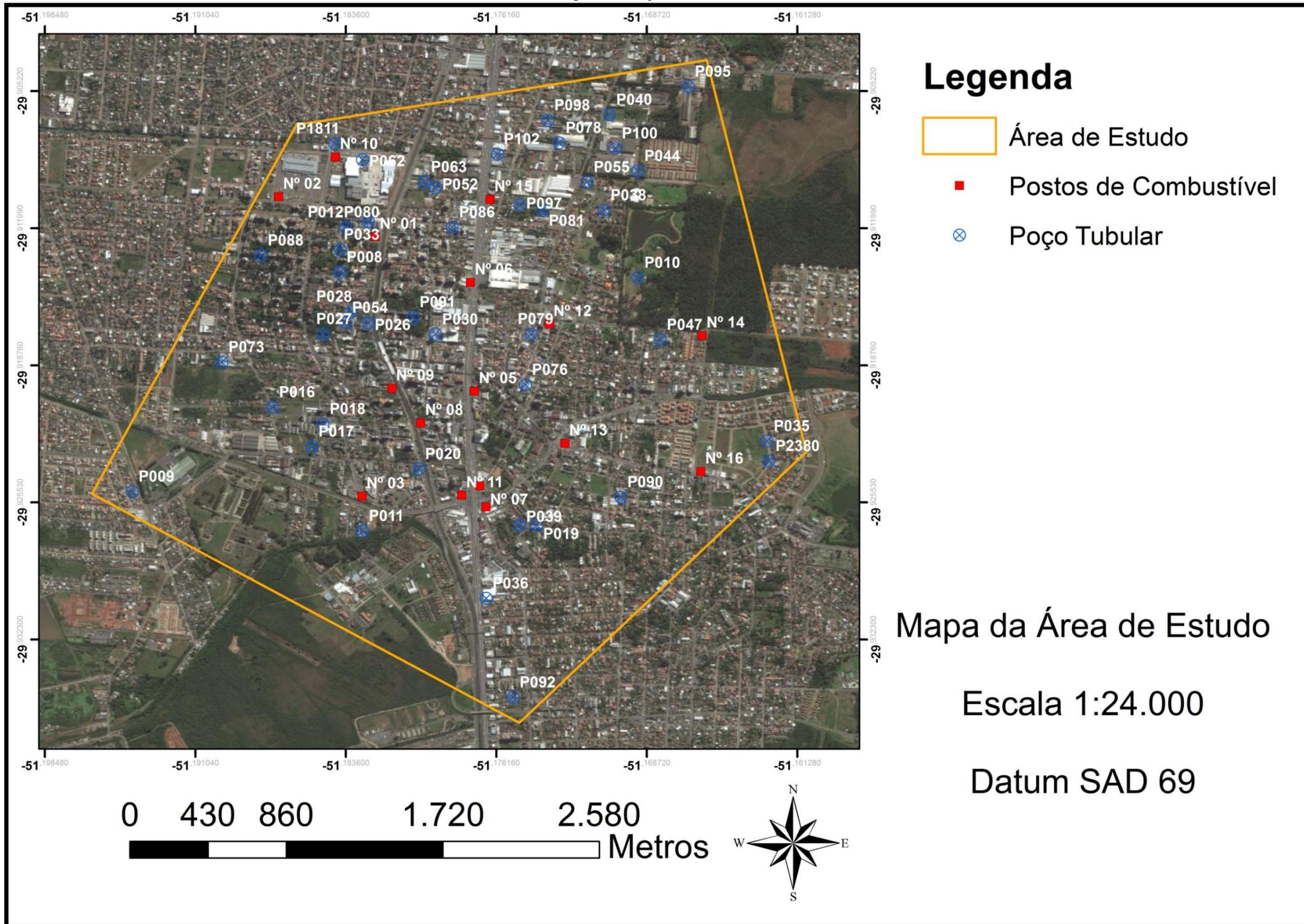


Tabela 5 – Ficha de Identificação dos poços tubulares

Identificação- Nº Poço	UTM (S)	UTM (E)	NE (m)	Uso da água	CT (m)	Perfil Litológico
008-4300016421	6690702	482242	16,50	Outros	22	S
009-4300016766	6689513	481247	7,00	Industrial	8	S
010-4300016781	6690666	483672	32,87	Outros	20	S
011-4300016901	6689276	482353	20,50	Industrial	12	S
012-4300017021	6690957	482268	43,50	Condominio	10	S
015-4300017023	6690974	482375	16,80	Condominio	6	S
016-4300017025	6689948	481938	40,72	Condominio	15	S
017-4300017053	6689757	482126	20,37	Condominio	11	S
018-4300017054	6689862	482177	13,90	Condominio	5	S
019-4300017135	6689328	483185	4,27	Condominio	8	S
020-4300017164	6689632	482626	13,46	Condominio	9	S
026-4300017355	6690427	482377	20,80	Outros	26	S
027-4300017356	6690356	482172	49,53	Outros	25	S
028-4300017357	6690475	482295	11,84	Outros	24	S
030-4300017365	6690370	482707	64,00	Condominio	21	S
033-4300017468	6690837	482248	8,25	Condominio	17	N
035-4300017470	6689776	484287	12,40	Outros	-	S
036-4300017471	6688927	482945	9,00	Condominio	-	S
038-4300017473	6691045	483497	21,00	Outros	30	S
039-4300017474	6689323	483114	5,00	Condominio	19	S
040-4300017475	6691575	483547	36,70	Industrial	28	S
044-4300017479	6691265	483668	47,30	Outros	28	S
047-4300017483	6690338	483770	11,00	Condominio	23	S
052-4300017490	6691172	482715	31,34	Condominio	17	S
054-4300017492	6690428	482270	14,00	Condominio	24	S
055-4300017493	6691181	483440	38,86	Industrial	28	S
062-4300017501	6691308	482355	10,77	Condominio	7	S
063-4300017502	6691187	482656	28,56	Condominio	14	S
073-4300017532	6690212	481676	4,40	Industrial	7	S
076-4300017535	6690093	483123	40,30	Condominio	25	N
078-4000017537	6691404	483289	46,70	Industrial	28	S
079-4300017538	6690356	483152	52,21	Condominio	24	S
080-4300017539	6690950	482264	22,50	Condominio	13	S
081-4300017540	6691046	483202	42,00	Industrial	27	N
086-4300017546	6690947	482796	43,35	Outros	26	S
088-4300017548	6690783	481873	40,80	Condominio	24	S
090-4300017550	6689481	483588	5,43	Outros	-	S
091-4300017551	6690459	482595	30,00	Outros	31	S
092-4300017552	6688386	483080	60,6	Condominio	10	S
095-4300017555	6691705	483918	44,31	Industrial	28	S
097-4300017557	6691063	483099	-	Outros	26	S
098-4300017558	6691526	483232	57,10	Industrial	24	S
100-4300017560	6691381	483573	28,00	Industrial	27	S
102-4300017562	6691335	482990	35,00	Industrial	21	S
1811 - Itati	6691415	482223	49,68	Industrial	5	S
2380 - Dorival Muck	6689670	484298	10,80	Outros	19	S

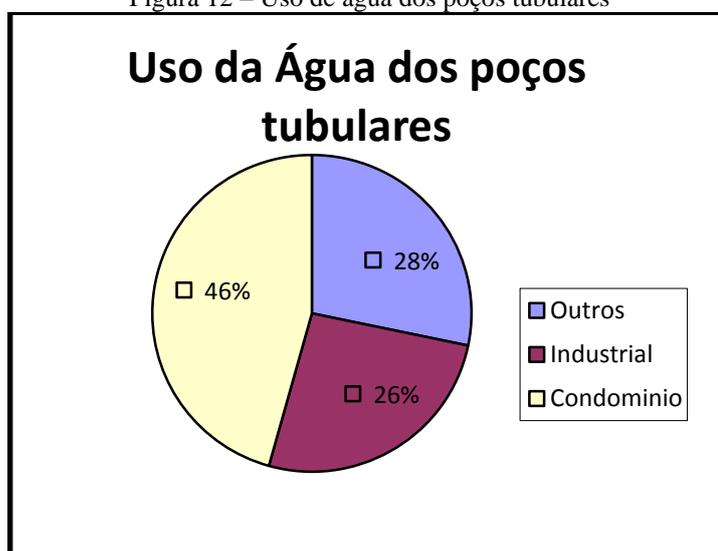
Fonte: SIAGAS, 2013

Na análise da Tabela 5 observa-se que a profundidade dos poços varia entre 62,5m a 243m, com uma média de 130m de profundidade. Para os 46 poços da região, apenas 3 não apresentaram informações de perfil litológico, porém, alguns apresentaram perfis litológicos questionáveis ou falta de informações nas fichas. Os poços com dados falhos nas fichas cadastrais foram utilizados no estudo, porém, não foi possível a elaboração dos PPP's para estes poços. A maioria dos poços situa-se em altitudes entre 17 e 28 metros, localizados na porção Norte da área de estudo.

4.1.1. Uso da água

Na área de estudo foi feita a classificação do uso da água para os poços tubulares. Os poços da classificação industrial são os poços que utilizam água subterrânea no processo de produção e são de propriedade das indústrias. A classificação “Outros” foi utilizada para poços com uso para irrigação ou usos múltiplos de propriedade de particulares, ou da prefeitura. Os usos em Condomínios são todos os poços tubulares de propriedade de um condomínio habitacional, mesmo que o uso tenha sido classificado de outra forma no SIAGAS. Como ilustrado na Figura 12, a maioria dos poços da área são utilizados por condomínios residenciais (46%), seguidos de outros usos e por último o uso industrial. As vazões captadas nos poços em geral são baixas, sendo que 75% dos poços captam vazões inferiores a 7m³/h. Vale ressaltar que a área de estudo não compreende a área industrial do município, e sim uma zona mais comercial e residencial.

Figura 12 – Uso de água dos poços tubulares



4.1.2. Perfis geológicos

Foram elaborados sete perfis geológicos para a área de estudo, com o objetivo de identificar os diferentes tipos de litologias e a relação estratigráfica das camadas geológicas. Conforme indicado na Figura 13, os perfis estão concentrados na zona Norte da figura devido a maior quantidade de poços com informações. Os poços da zona central e sul possuíam poucas informações ou um perfil litológico incoerente com as condições encontradas para a região de estudo, por isso, não foi possível a elaboração de perfis nesta região.

As Figuras 14 a 20 apresentam os perfis litológicos dos poços encontrados em cada segmento de reta.

Figura 13 - Localização dos Perfis Geológicos na área de estudo

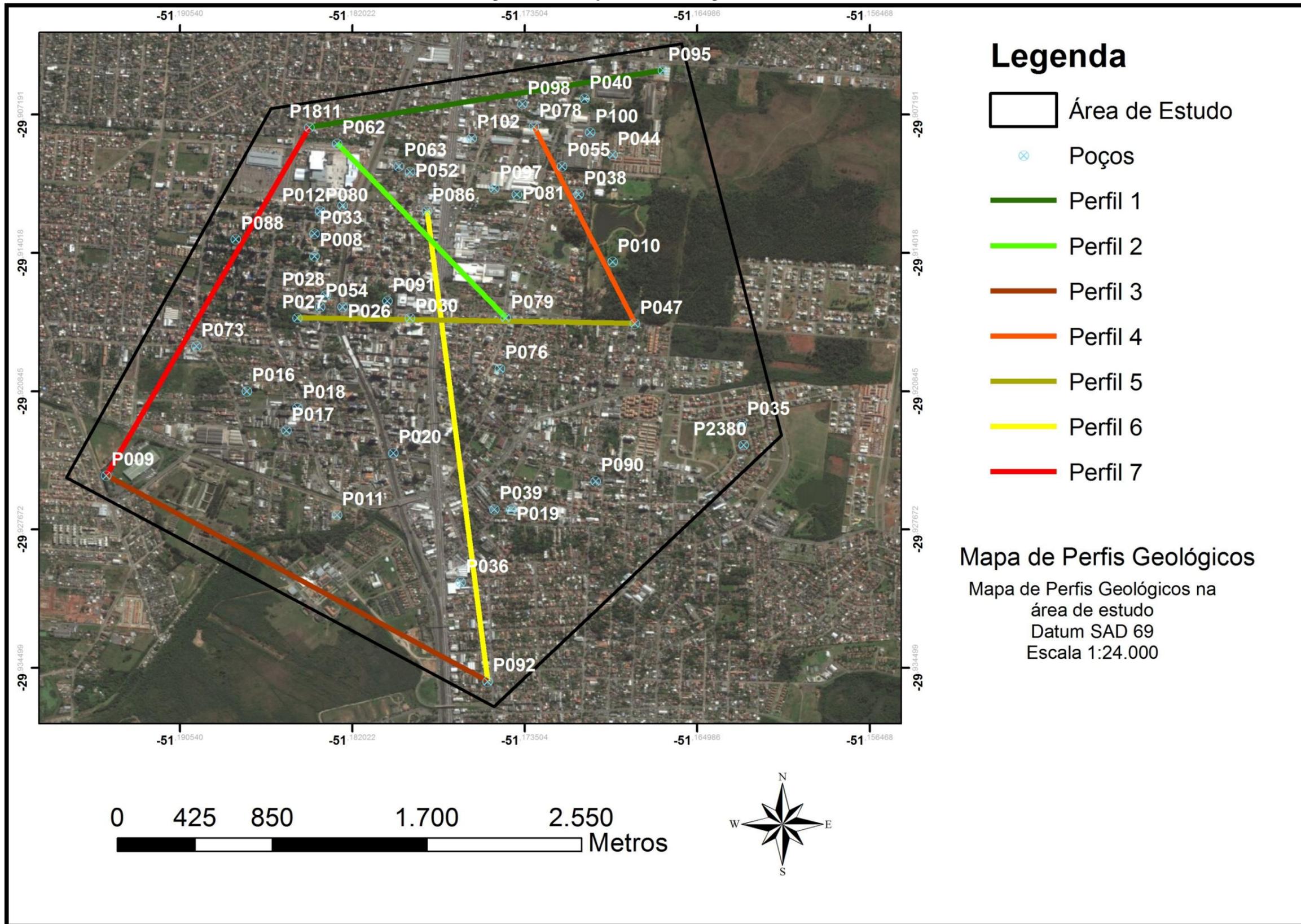


Figura 14 – Perfil 1

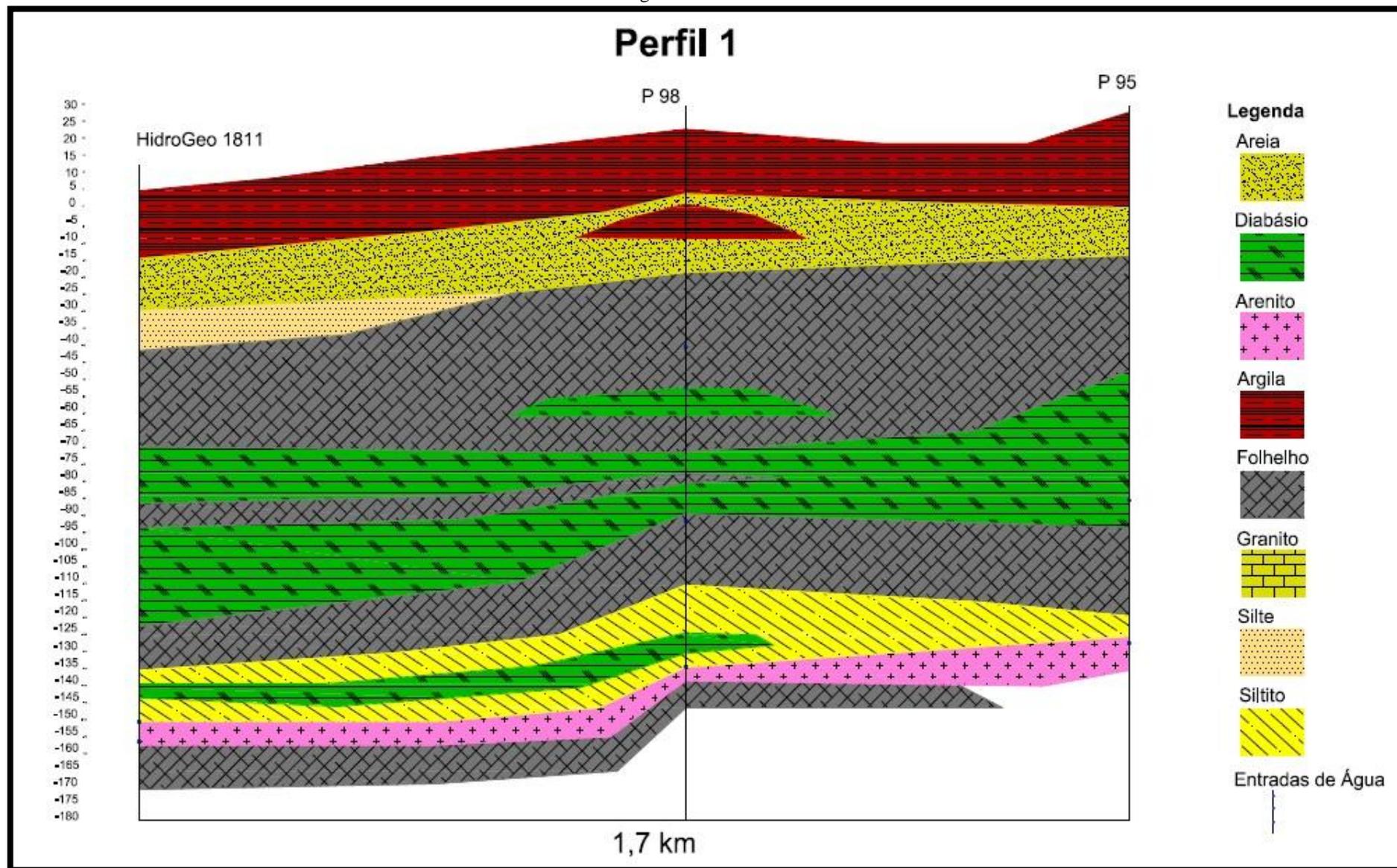


Figura 15 – Perfil 2

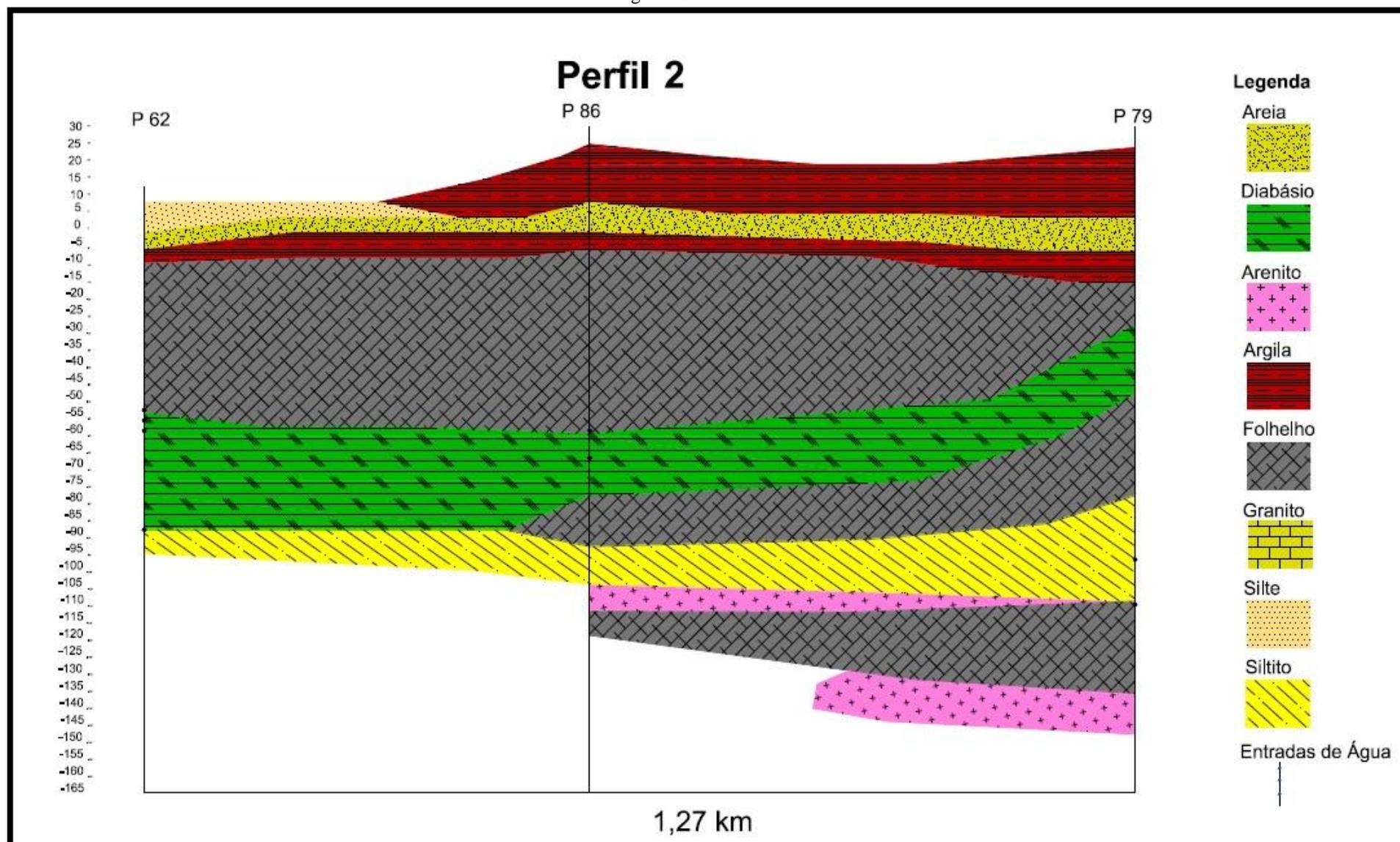


Figura 16 – Perfil 3

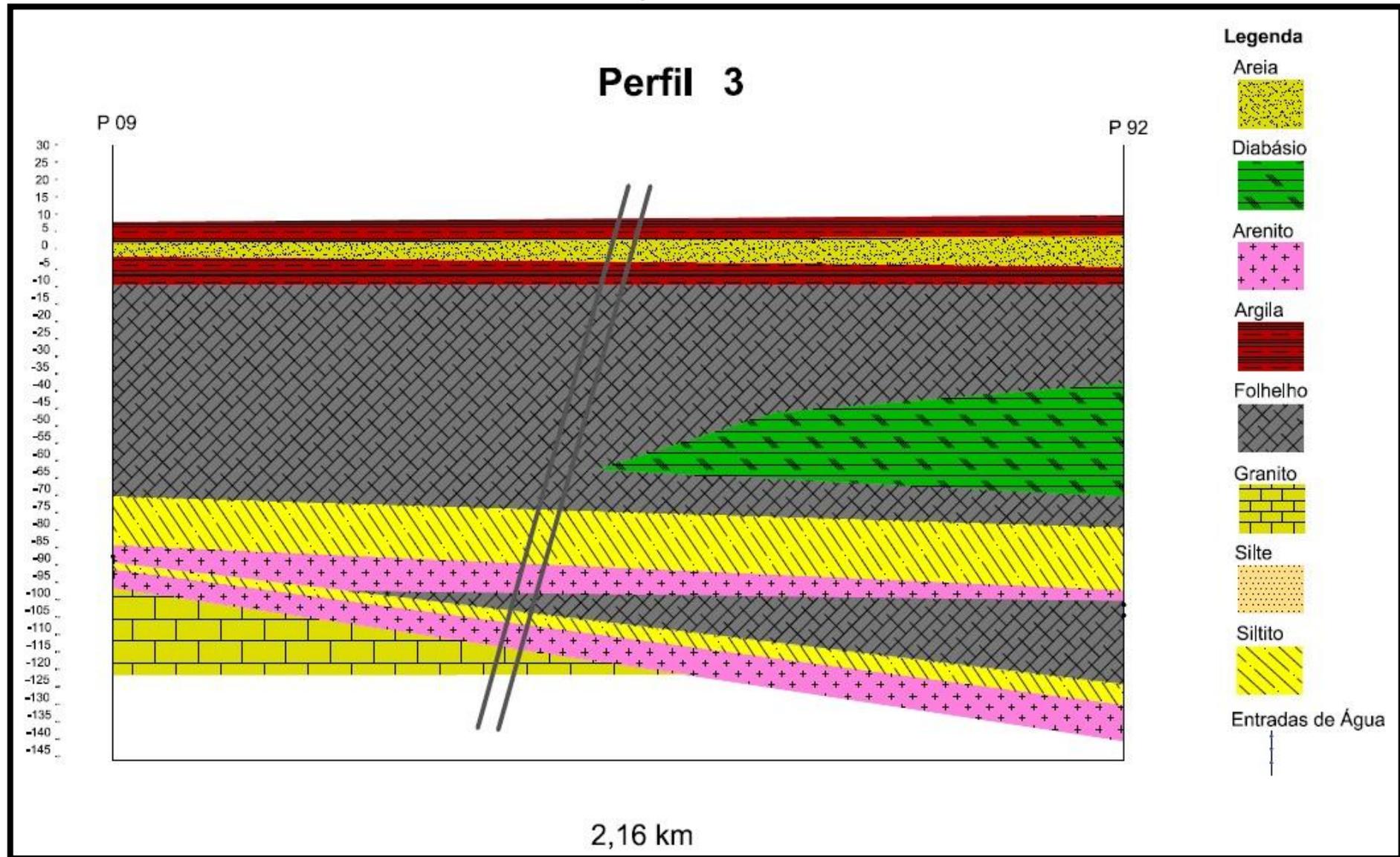


Figura 17 – Perfil 4

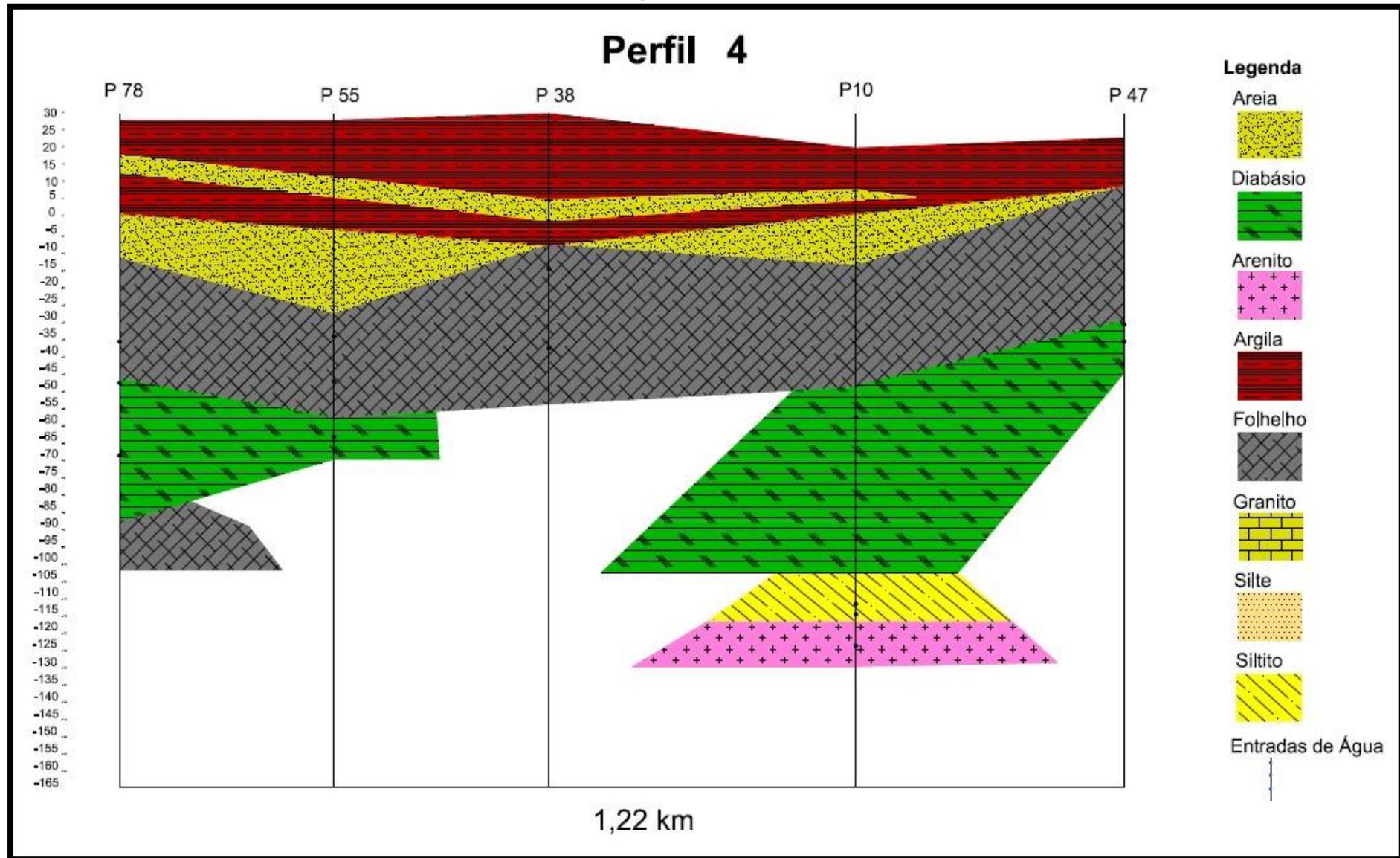


Figura 18 – Perfil 5

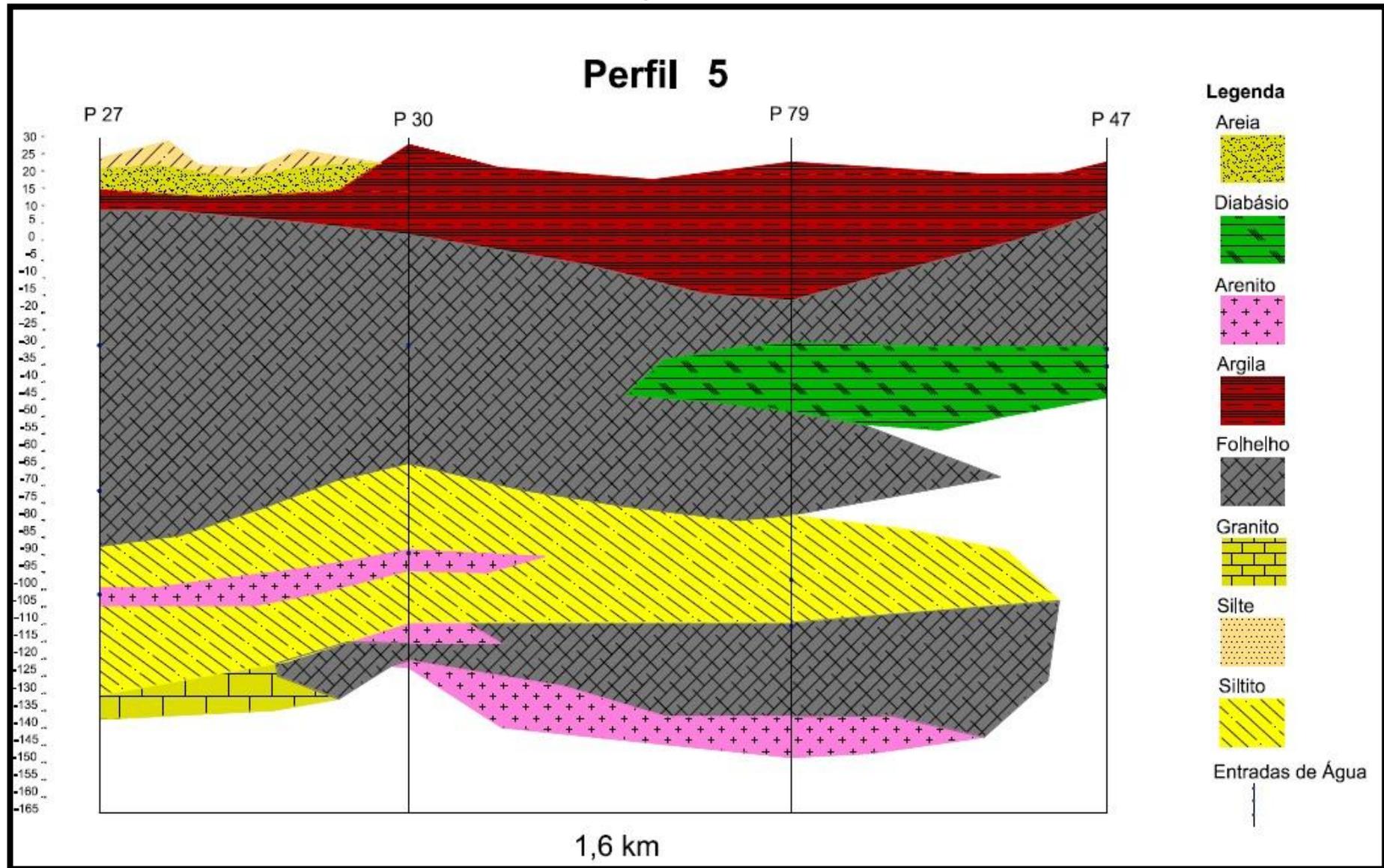


Figura 19 – Perfil 6

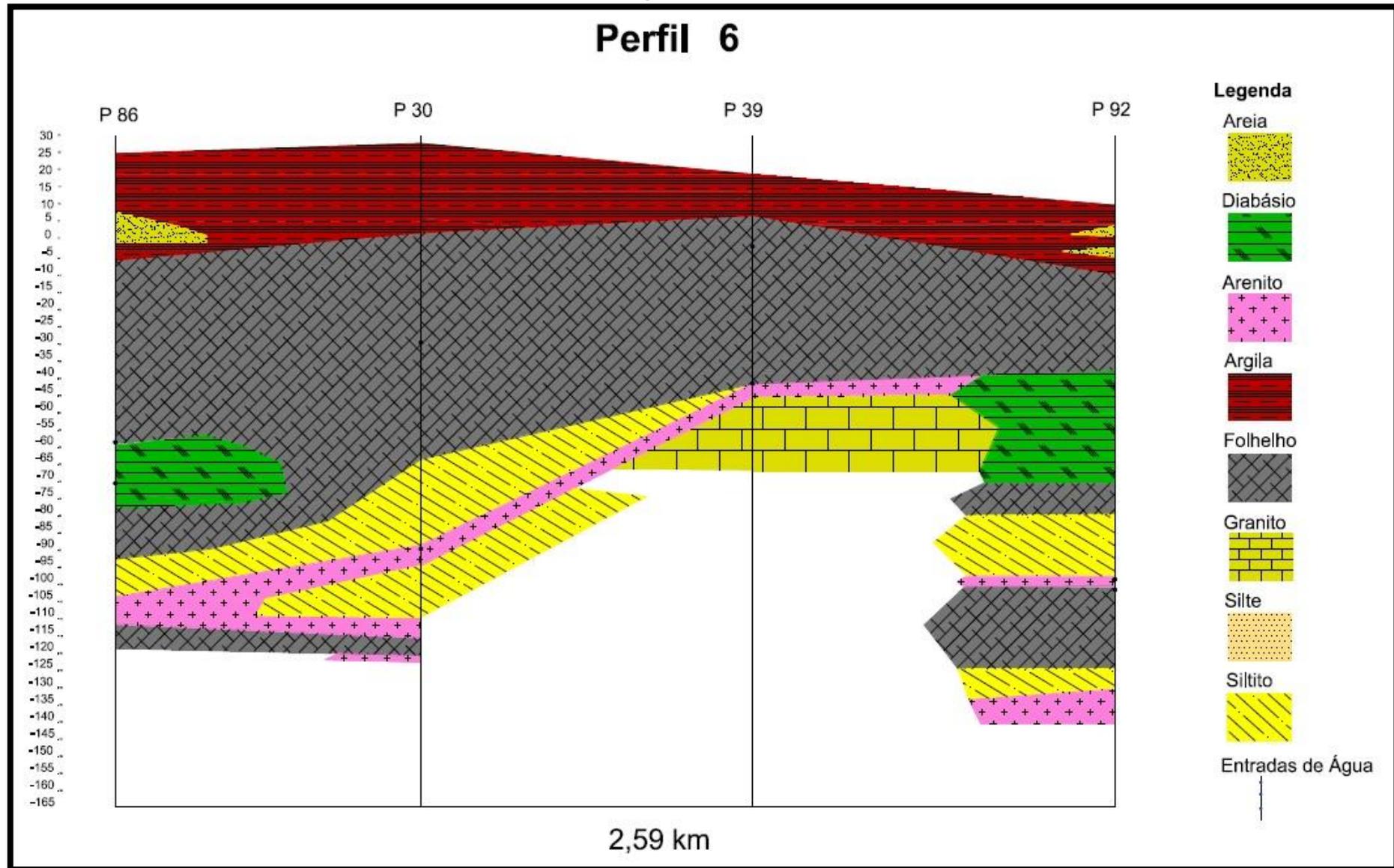
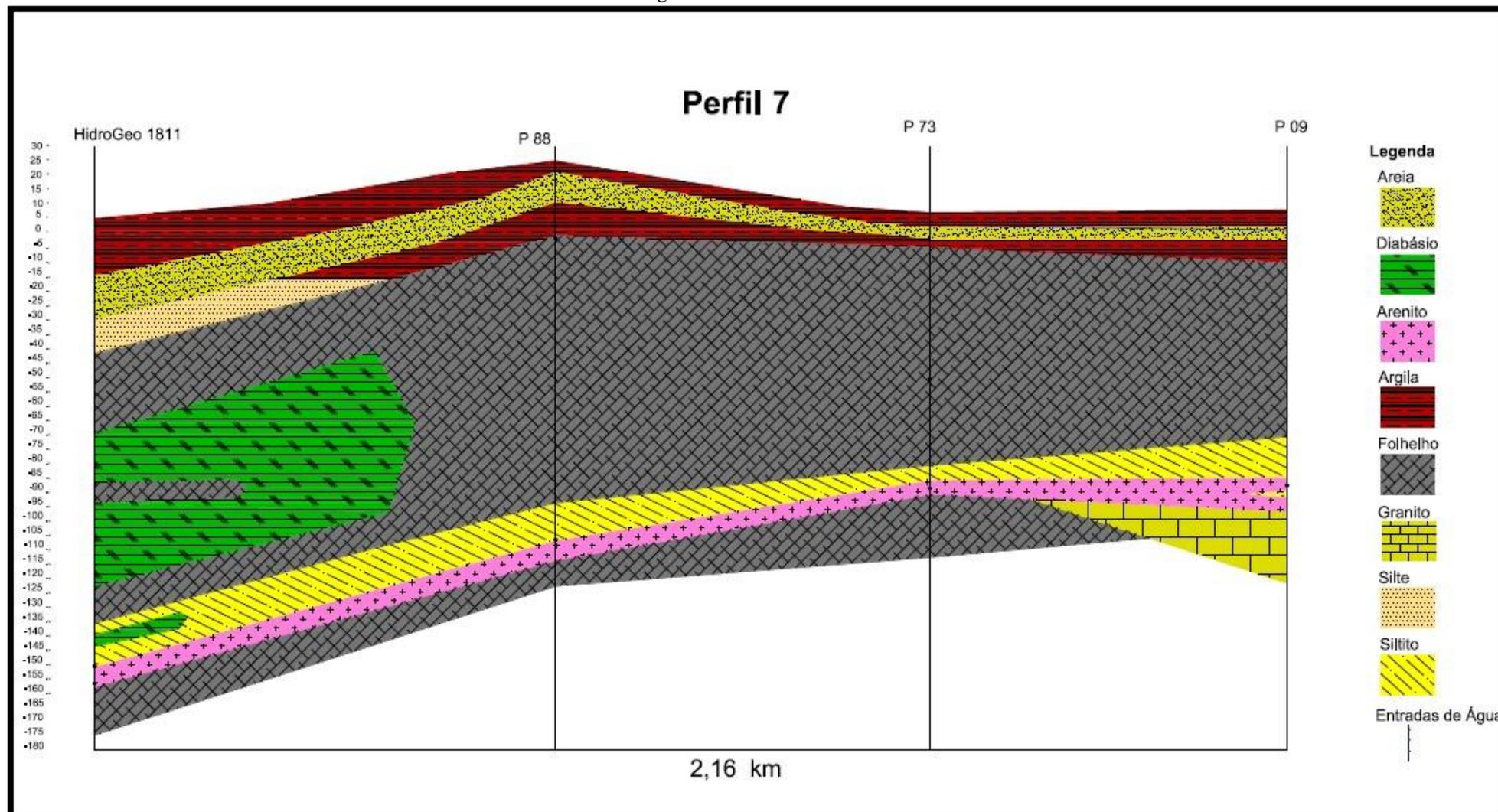


Figura 20 – Perfil 7



Os perfis demonstram que na região, para a quase totalidade da área, as camadas superficiais são formadas por argilas e areias intercaladas, com a ocasional presença de siltes, originários da Formação Rio do Rasto. As camadas inferiores são formadas pela presença de grandes camadas de folhelhos (Formação Irati e Estrada Nova) e de siltitos (Formação Palermo) e intercalações de folhelhos escuros e arenitos de cor cinza claro (Formação Rio Bonito) (NANNI, 2003).

É notado também a intrusão de diabásios em profundidades variáveis e a presença de granitos nos poços da região sudoeste. As entradas de água nos folhelhos, siltitos e diabásios sempre são através de fraturas, com vazões variadas. Nos arenitos as entradas de água ocorrem por porosidade e em geral são as principais tomadas de água dos poços.

4.1.3. Postos de combustível

Ao total foram encontrados 16 postos de combustível na área, destes, 15 estão em atividade e 1 foi considerado fora de operação. Para cada um dos postos de combustível em atividade na área foi aplicado um questionário com o objetivo de obter informações para cada posto. As informações obtidas com os questionários foram utilizadas para a classificação do potencial de contaminação dos postos. Também foi levantado junto à FEPAM, através das L.O.'s dos postos informações quanto ao funcionamento e histórico da área. A Tabela 6 apresenta os resultados da pesquisa em relação aos 16 postos. A maior parte dos postos apresentou tanques relativamente novos, com menos de 10 anos de instalação, porém, alguns postos possuem tanques em atividade com mais de 20 anos. Através da análise das L.O.'s foi constatado também que em alguns postos já foram identificados vazamentos de combustível, sendo que alguns já estão remediados e outros em vias de remediação. Dos postos estudados, 11 foram classificados com potencial de contaminação alto, e 5 postos com potencial de contaminação baixo, segundo a classificação apresentada na metodologia.

Tabela 6 – Informações dos postos de combustível da área de estudo

Nº do Posto	Razão Social	Bandeira	Ano instalação dos tanques	Existia Posto no Local antes?	Possui Poço no Local?	Observações	Classe de Potencial de Contaminação
Nº 01	Metropolitano Comércio e Transporte de Combustíveis Ltda	Bandeira Branca	2005	N	N		Baixa
Nº 02	Carrefour Comércio e Indústria Ltda.	Shell	1995	N	N		Alta
Nº 03	Postos Orel - Conjunto comercial Orel Ltda	Bandeira Branca	2004	N	N		Baixa
Nº 04	Comercial de Combustíveis Setembrino	Shell	2006	S	N	Área Reabilitada para o uso declarado pela FEPAM	Alta
Nº 05	Coml Buffon Comb. E Transps Ltda- Buffon 37	Buffon	2003	S	N		Alta
Nº 06	Auto posto Solaris Ltda	Shell	2006	-	N	Área em processo de monitoramento para reabilitação - AMR	Alta
Nº 07	Posto "Gustavo Dias Augustini	Esso	-	-	-	L.O. Vencida em 2012	Alta
Nº 08	Garagem Caeté Ltda	Bandeira Branca	1990	N	S	Área contaminada - FEPAM	Alta
Nº 09	Posto PSA De La Torres Dias & Cia Ltda	Ipiranga	2012	S	N	Área Contaminada - FEPAM	Alta
Nº 10	Maribrax Postos de Serviços Ltda	Petrobrás	2004	N	N		Baixa
Nº 11	Argo Service Imp. E Exp e Serv automotivos Ltda	Shell	-	-	S	L.O. Vencida em 2012	Alta
Nº 12	Coml Buffon Comb e Transp Ltda - Buffon 33	Ipiranga	1993	S	N		Alta
Nº 13	Argo Service Imp. E Exp e Serv automotivos Ltda - Filial 17	Ipiranga	1993	S	S		Alta
Nº 14	Irmãos Mazocco Ltda	Latina	2012	N	N		Baixa
Nº 15	Gás da Boa comércio de combustíveis Spartha (Novo Rioxel 10)	Ipiranga	1995	S	N		Alta
Nº 16	Posto Paradoiro 1300 - Gasperin Comb Ltda	Shell	2008	N	S	L.O. Vencida em 2012	Baixa

Fonte: Levantamentos de campo realizados em maio e junho de 2013 e L.O.'s da FEPAM.

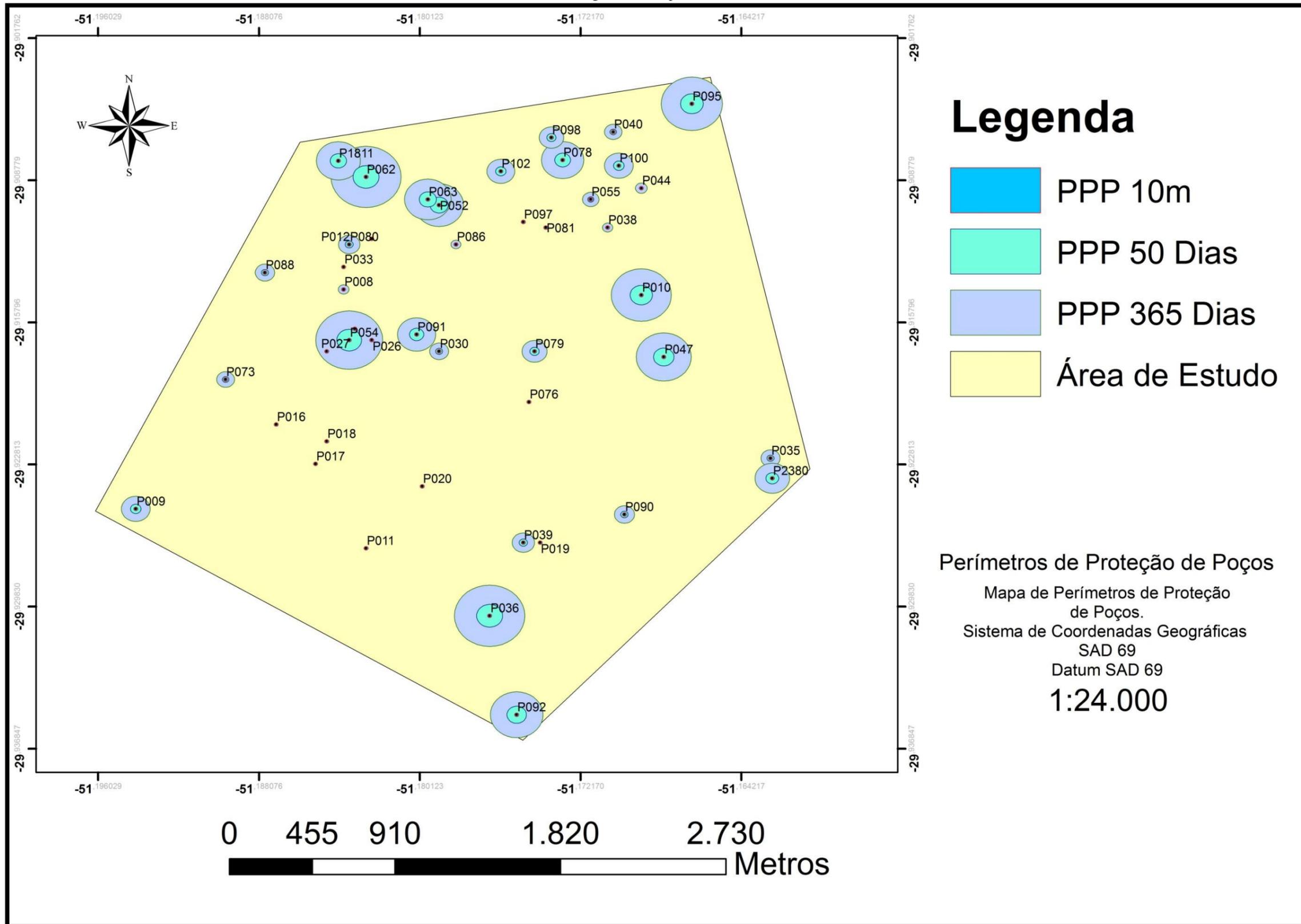
4.2. Perímetros de Proteção de Poços

O mapa dos perímetros de proteção de poços (PPP) foi gerado a partir dos dados obtidos com a interpretação dos perfis de poços, que foram utilizados nos cálculos dos perímetros, através da aplicação do método do Raio Fixo Calculado. Esse método foi descrito nas referências e na metodologia. A Tabela 7 indica os valores calculados para cada PPP em cada um dos poços e a Figura 21 apresenta o mapa com os PPP's.

Tabela 7 – Valores calculados de PPP's

Identificação- Nº Poço	PPP 10 m (m)	PPP 50 dias (m)	PPP 365 dias (m)
008-4300016421	10	9,44	25,51
009-4300016766	10	25,41	68,65
010-4300016781	10	53,19	143,72
011-4300016901	10	-	-
012-4300017021	10	-	-
015-4300017023	10	-	-
016-4300017025	10	-	-
017-4300017053	10	-	-
018-4300017054	10	-	-
019-4300017135	10	-	-
020-4300017164	10	-	-
026-4300017355	10	-	-
027-4300017356	10	7,80	21,09
028-4300017357	10	-	-
030-4300017365	10	16,79	45,35
033-4300017468	10	-	-
035-4300017470	10	16,98	45,87
036-4300017471	10	62,25	168,19
038-4300017473	10	9,11	24,62
039-4300017474	10	19,74	53,34
040-4300017475	10	15,45	41,75
044-4300017479	10	10,45	28,23
047-4300017483	10	48,75	131,72
052-4300017490	10	43,38	117,21
054-4300017492	10	59,24	160,06
055-4300017493	10	14,58	39,40
062-4300017501	10	61,99	167,48
063-4300017502	10	41,20	111,32
073-4300017532	10	15,85	42,83
076-4300017535	10	-	-
078-4000017537	10	37,63	101,67
079-4300017538	10	22,20	59,98
080-4300017539	10	19,02	51,40
081-4300017540	10	-	-
086-4300017546	10	8,70	23,51
088-4300017548	10	17,20	46,46
090-4300017550	10	17,79	48,07
091-4300017551	10	33,85	91,46
092-4300017552	10	46,52	125,70
095-4300017555	10	54,17	146,35
097-4300017557	10	-	-
098-4300017558	10	21,72	58,69
100-4300017560	10	25,48	68,85
102-4300017562	10	24,62	66,53
1811 - Itati	10	38,91	105,14
2380 - Dorival Muck	10	30,56	82,56

Figura 21 – Mapa dos PPP's



Os valores de PPP's calculados variam de 7,8m a 62,5m de raio para o perímetro de proteção microbiológico, com tempos de permanência de 50 dias. Os valores do PPP's para contaminantes persistentes varia de 21,09m a 168,19m para o tempos de permanência de 365 dias. Essa variação acontece devido a grande variação das espessuras saturadas dos aquíferos e das vazões de exploração dos poços.

Devido a maior concentração de poços na parte norte da área, podemos identificar que muitos apresentam interferências nos PPP's vizinhos. Considerando o PPP 50 dias podemos observar que em alguns poços acontece uma sobreposição dos PPP's, o que indica que em algumas áreas existem poços captando no interior do perímetro de proteção microbiológico de outros poços.

4.3. Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos

A vulnerabilidade natural dos aquíferos foi avaliada através da metodologia GOD. Para isso foram elaborados 3 mapas, sendo o primeiro para o parâmetros: G (Grau de confinamento da água subterrânea), o segundo para o parâmetro O (Ocorrência de estratos de cobertura) e o terceiro para o parâmetro D (Profundidade da água subterrânea). A Tabela 8 apresenta, para cada poço, os valores dos parâmetros G, O e D, além do nível estático de cada poço e da camada litológica do primeiro aquífero captado.

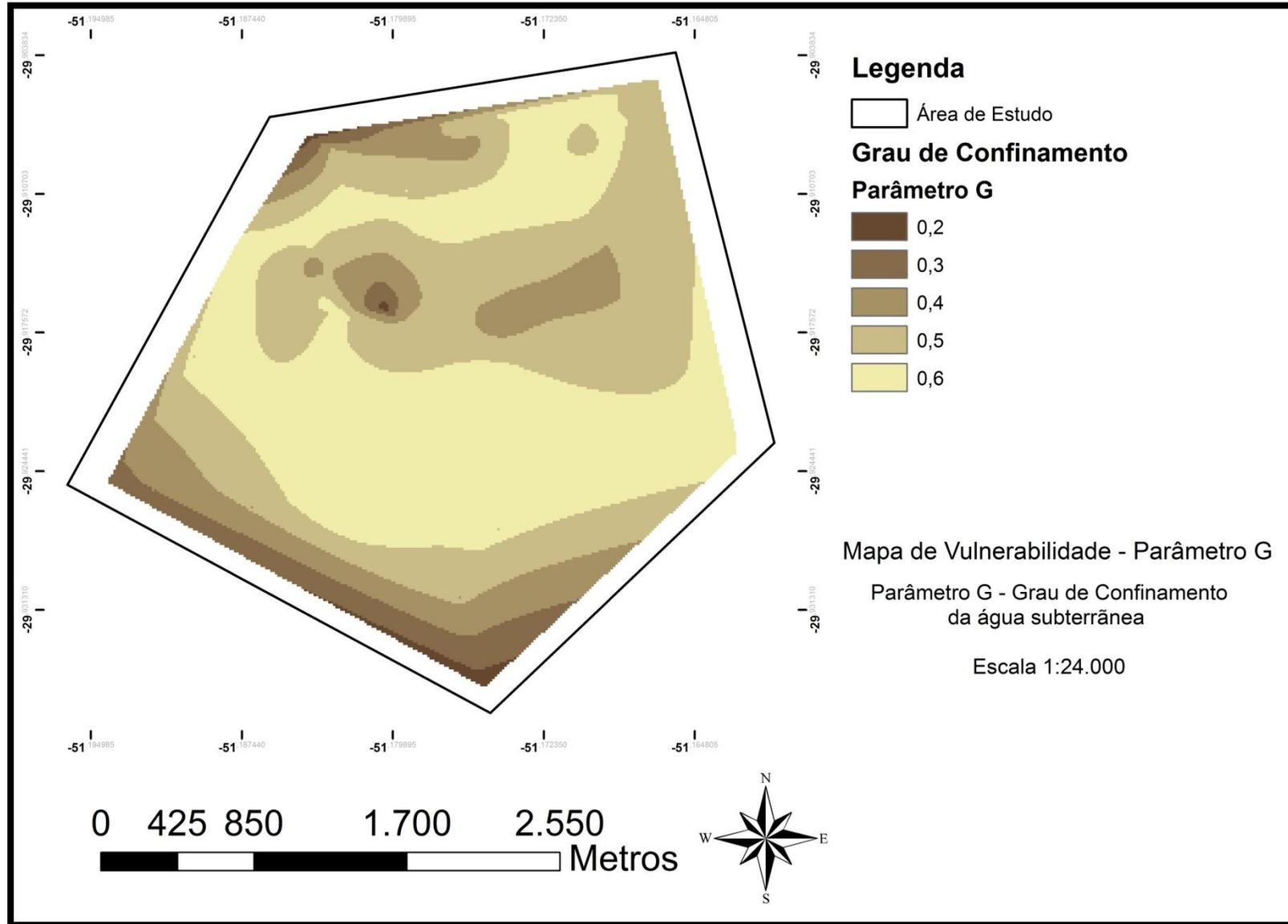
Tabela 8 – Parâmetros G, O, D.

Identificação- Nº Poço	Parâmetro G	Parâmetro O	Parâmetro D	Nível Estático	Primeiro aquífero captado
008-4300016421	0,40	0,4	0,8	16,50	Folhelho
009-4300016766	0,30	0,7	0,8	7,00	Arenito Fino
010-4300016781	0,40	0,5	0,7	32,87	Diabásio
011-4300016901	0,60	0,5	0,7	20,50	-
012-4300017021	0,60	0,4	0,7	43,50	-
015-4300017023	0,60	0,5	0,8	16,80	-
016-4300017025	0,60	0,5	0,7	40,72	-
017-4300017053	0,60	0,7	0,7	20,37	-
018-4300017054	0,60	0,7	0,8	13,90	-
019-4300017135	0,60	0,7	0,9	4,27	-
020-4300017164	0,60	0,7	0,8	13,46	-
026-4300017355	0,60	0,6	0,7	20,80	-
027-4300017356	0,50	0,5	0,7	49,53	Folhelho
028-4300017357	0,60	0,6	0,8	11,84	-
030-4300017365	0,50	0,4	0,6	64,00	Folhelho
033-4300017468	0,60	0,7	0,8	8,25	-
035-4300017470	0,60	0,7	0,8	12,40	Folhelho
036-4300017471	0,50	0,4	0,8	9,00	Quartzito
038-4300017473	0,60	0,4	0,7	21,00	Folhelho
039-4300017474	0,60	0,4	0,8	5,00	Folhelho
040-4300017475	0,60	0,7	0,7	36,70	Folhelho
044-4300017479	0,60	0,6	0,7	47,30	Folhelho
047-4300017483	0,50	0,4	0,8	11,00	Diabásio
052-4300017490	0,50	0,7	0,7	31,34	Diabásio
054-4300017492	0,50	0,4	0,8	14,00	Folhelho
055-4300017493	0,60	0,7	0,7	38,86	Folhelho
062-4300017501	0,50	0,5	0,8	10,77	Diabásio
063-4300017502	0,50	0,4	0,7	28,56	Diabásio
073-4300017532	0,60	0,4	0,9	4,40	Folhelho
076-4300017535	0,60	0,7	0,7	40,30	-
078-4000017537	0,60	0,4	0,7	46,70	Diabásio
079-4300017538	0,40	0,7	0,6	52,21	Siltito
080-4300017539	0,60	0,4	0,7	22,50	Folhelho
081-4300017540	0,60	0,7	0,7	42,00	-
086-4300017546	0,60	0,4	0,7	43,35	Folhelho
088-4300017548	0,60	0,4	0,7	40,80	Folhelho
090-4300017550	0,60	0,4	0,8	5,43	Folhelho
091-4300017551	0,20	0,4	0,7	30,00	Arenito Fino
092-4300017552	0,2	0,4	0,6	60,6	Arenito Médio
095-4300017555	0,50	0,4	0,7	44,31	Diabásio
097-4300017557	0,60	0,4	0,9	-	-
098-4300017558	0,60	0,4	0,6	57,10	Folhelho
100-4300017560	0,50	0,4	0,7	28,00	Folhelho
102-4300017562	0,40	0,4	0,7	35,00	Diabásio
1811 - Itati	0,20	0,4	0,7	49,68	Arenito Fino
2380 - Dorival Muck	0,60	0,4	0,8	10,80	Folhelho

4.3.1. Parâmetro G – grau de confinamento de aquíferos

Para a elaboração deste mapa foi utilizado o aquífero localizado a profundidade da primeira entrada de água dos poços tubulares, e classificado conforme a metodologia GOD. A análise dos perfis dos poços permitiu concluir que os aquíferos da região possuem comportamento que varia de confinado (0,2) a não confinado coberto (0,6). A partir dos valores atribuídos aos poços foi interpolado o mapa para o parâmetro G (Figura 22).

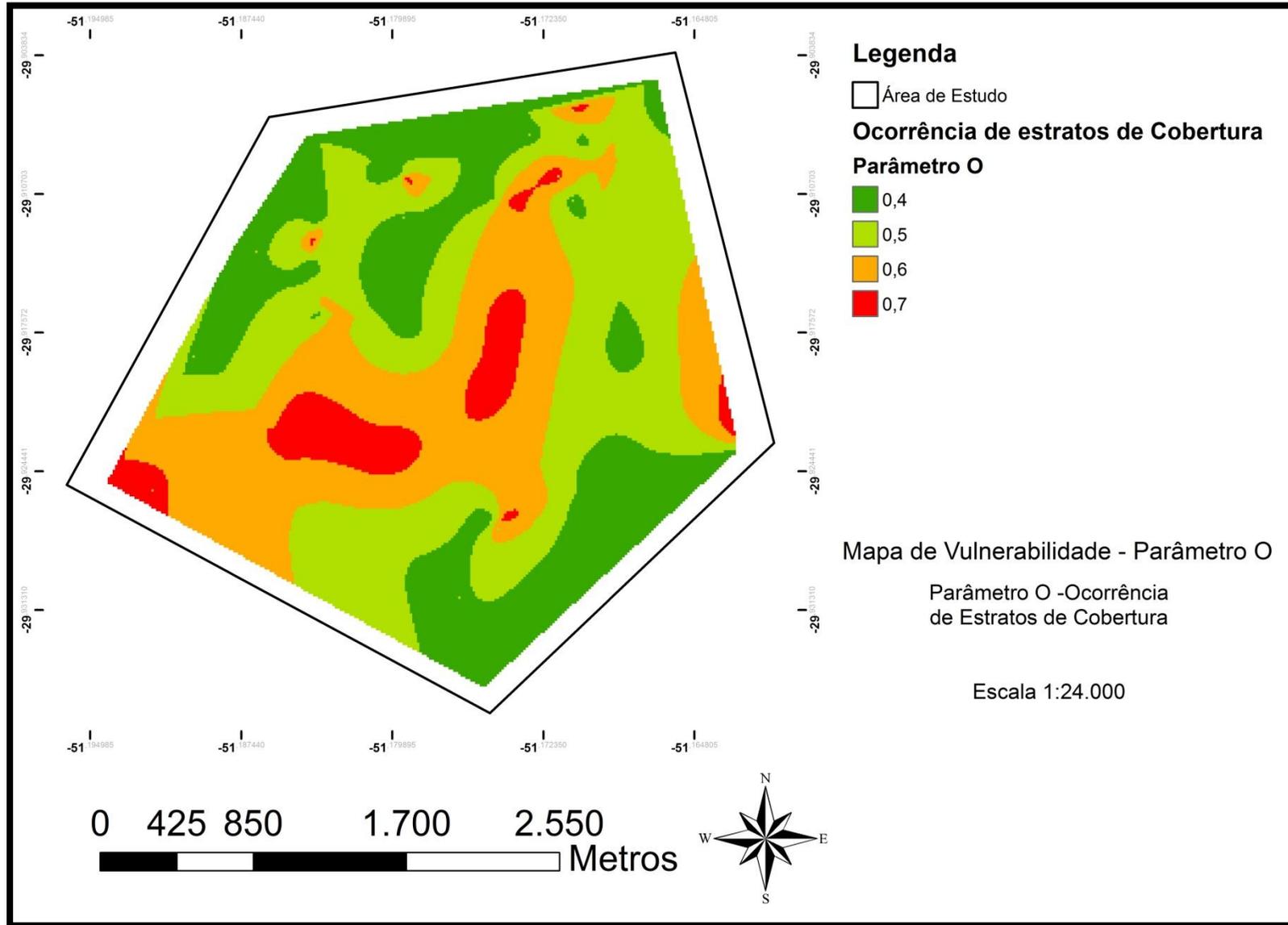
Figura 22 - Mapa do Parâmetro G



4.3.2. Parâmetro O – ocorrência de estratos de cobertura

A partir da análise da geologia e hidrogeologia local, e dos dados dos perfis dos poços foi avaliado o parâmetro O. Foram avaliadas as camadas acima do nível estático em cada poço e utilizados os índices de classificação recomendados pela metodologia. A análise dos perfis dos poços permitiu concluir que os principais estratos de cobertura na região são argilas, siltes e areias. Os valores de 0,4 correspondem a camadas confinantes de argilas, 0,5 representa camadas de siltes, 0,6 foi adotado para aquíferos com camadas confinantes de folhelhos e o valor 0,7 para aquíferos cobertos por areias aluviais. Para poços sem dados foi utilizado o pior índice encontrado na área, o das areias fluviais e aluviais (0,7). Segundo a classificação para os poços da região foi interpolado o Mapa do Parâmetro O (Figura 23).

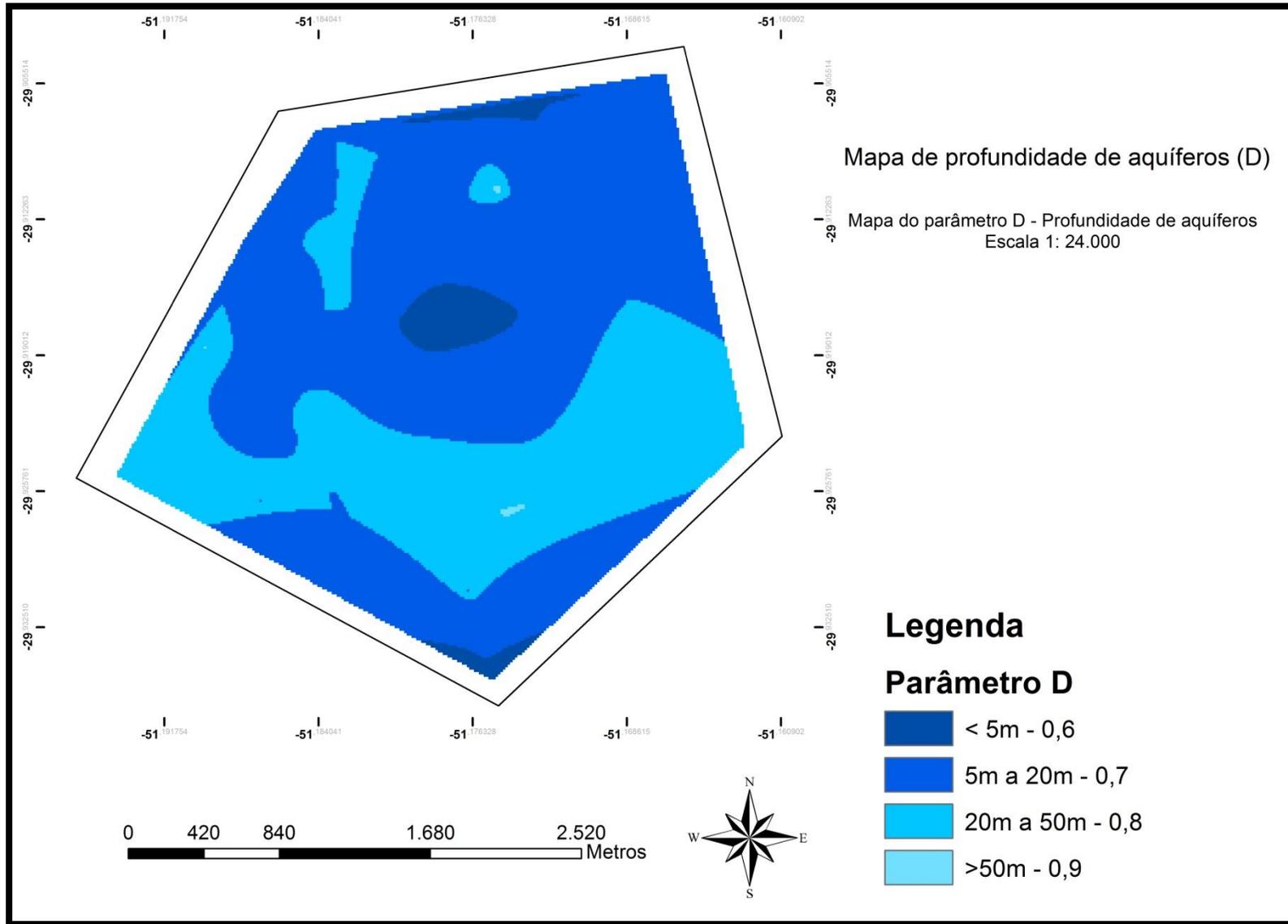
Figura 23 – Mapa do Parâmetro O



4.3.3. Parâmetro D – profundidade da água subterrânea

Foram utilizados os parâmetros definidos na metodologia para classificar cada um dos poços da área conforme seu nível estático. Os parâmetros atribuem valores de acordo com os intervalos de profundidade do nível estático dos poços. A classificação adotada foi de 0,9 para profundidades de 0m a 5m ; 0,8 para valores entre 5m e 20m; 0,7 para as variações de 20m a 50m e índice 0,6 para valores de profundidade de nível estático maiores que 50m. A partir dos valores atribuídos para cada poço foi gerado o mapa do parâmetro D (Figura 24).

Figura 24 – Mapa do Parâmetro D

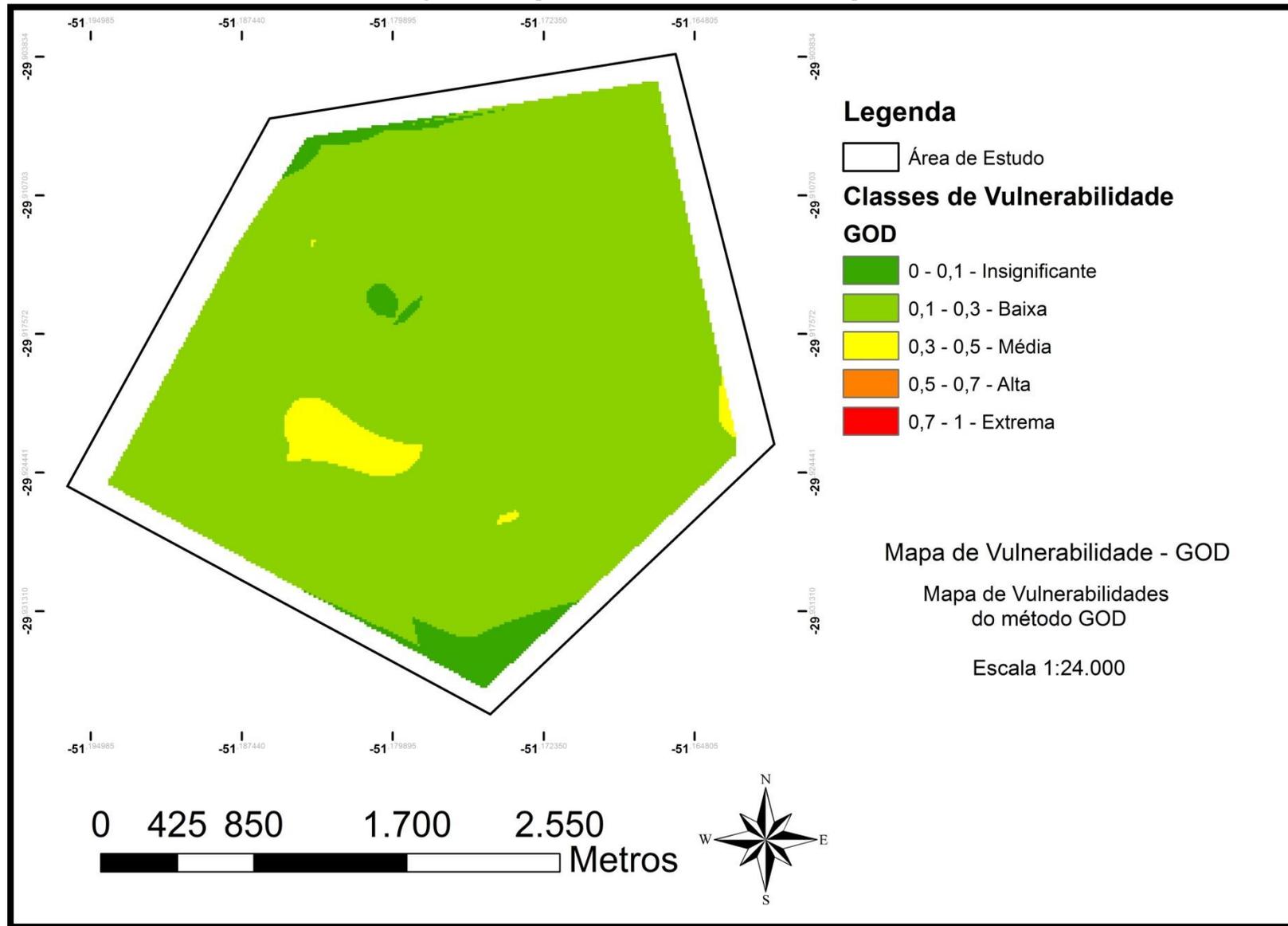


4.3.4. Mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos

A partir dos 3 mapas foi feita a sobreposição dos valores de cada mapa e gerado o Mapa de Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos (Figura 25).

Para a área de estudo foram encontradas 3 classes de vulnerabilidade: insignificante, baixa e média. A vulnerabilidade predominante na área de estudo foi a de vulnerabilidade baixa, cobrindo 94,43% da região, seguida pela vulnerabilidade insignificante com 3,35% de área e por último a vulnerabilidade média que corresponde a 2,81% da área.

Figura 25 – Mapa de Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos



4.4. Análise do Risco Potencial de Contaminação

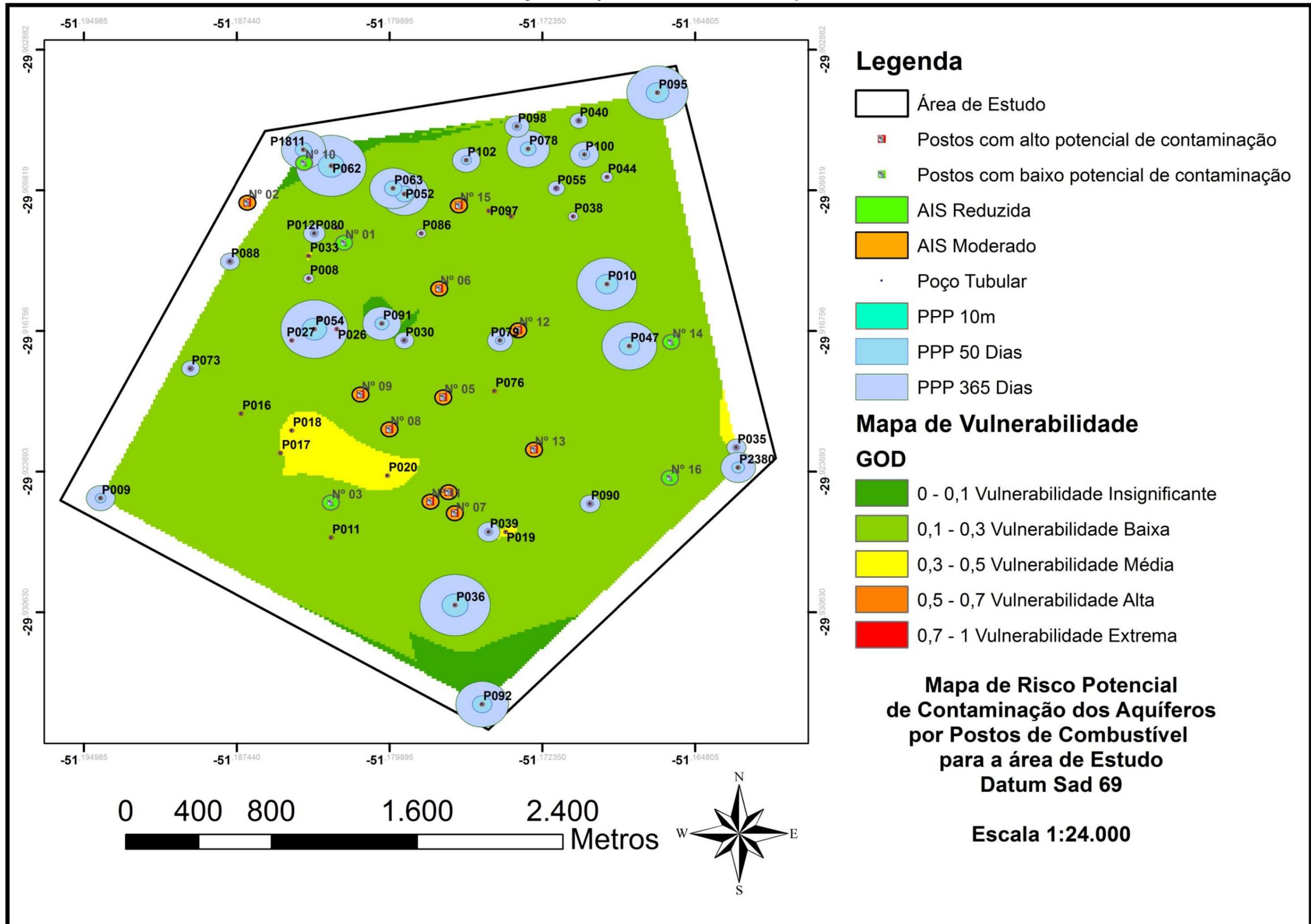
O mapa de risco potencial de contaminação (Figura 26) resulta da união das informações geradas até então. Ele reúne o conjunto de informações das análises de vulnerabilidade natural dos aquíferos da região com a interação das classes de potencial de contaminação dos postos e de suas respectivas AIS, além da análise dos poços tubulares da região e seus PPP's.

Da análise do mapa de risco potencial de contaminação concluímos que apenas 5 postos tiveram as suas AIS classificadas com Risco de Contaminação dos Aquíferos reduzido, os outros 11 postos da área de estudo possuem uma AIS com Risco moderado. Apenas 1 posto está localizado dentro dos PPP's dos poços, no noroeste do mapa. Estes poços estão sujeitos à contaminação, caso aconteça um vazamento no posto, porém, os tanques de abastecimento do posto em questão são novos, com menos de 10 anos de instalação, o que diminui a chance de vazamentos nos tanques. Observa-se que os postos de combustível estão localizados na zona central da área de estudo, e que existem poucos poços nesta região, isso é devido ao fato de que nesta região a Avenida Guilherme Schell, a linha do Trensurb e a rodovia BR-116 correm paralelas no sentido Norte-Sul.

Em geral não são encontrados poços de captação próximos aos postos de combustível, porém, 4 postos declararam possuir poços para captação da água utilizada na lavagem de veículos no interior do posto. Esse fato aumenta a chance de contaminação dos aquíferos da região, visto que, esses poços podem servir de fonte de contaminação do aquífero. Além disso, deve-se levar em conta que a maioria dos aquíferos está associada às camadas de folhelho que apresentam fraturas e que ocorrem mais próximas a superfície. Assim, no caso de ocorrência de vazamentos nos postos, esses aquíferos poderiam ser contaminados.

Através deste mapa observamos, também, que a área de vulnerabilidade média localizada na zona central da área de estudo compreende apenas os poços sem dados nas fichas cadastrais. Isto pode significar que as áreas de vulnerabilidade natural média podem ser menores na área de estudo caso as fichas cadastrais estivessem completas, uma vez que foram atribuídas as piores características encontradas na área de estudo para estes poços, o que resultou em uma vulnerabilidade maior. Outro fato acarretado pela falta de informações das fichas de cadastro é que devido a isso não foi possível calcular os PPP's nestes poços.

Figura 26 – Mapa de Risco Potencial de Contaminação



5. CONCLUSÕES

Os resultados do estudo mostram que os poços tubulares da região são utilizados principalmente em condomínios residenciais, que os aquíferos captados na área, em geral, possuem uma pequena disponibilidade hídrica, resultando em pequenas vazões de exploração e que as maiores vazões estão presentes nas camadas fraturadas de diabásio ou nas camadas porosas confinadas, mais profundas, de arenitos. Também foi identificado que um grande número de poços possuem seus PPP's sobrepostos a outros PPP's vizinhos, o que pode afetar não só a proteção da captação contra agentes microbiológicos, como também influenciar na movimentação de contaminantes permanentes no aquífero.

Quanto ao cadastro de poços do SIAGAS, para o município de Canoas, foi constatada uma grande quantidade de poços sem informações ou com informações duvidosas/deficientes, o que dificultou a utilização dos dados no estudo.

Quanto aos postos de combustível da área recomenda-se que para evitar riscos ambientais e para economizar com custos de tratamento de solo e água subterrânea, que são geralmente onerosos, alguns postos, com tanques antigos com mais de 15 anos de idade, efetuem a troca dos tanques por tanques mais modernos e com menor probabilidade de vazamentos.

Em relação à vulnerabilidade natural dos aquíferos para a área de estudo, e levando em consideração as condições de contorno utilizadas, os aquíferos da região central de Canoas possuem em sua grande maioria uma baixa vulnerabilidade a contaminação, decorrente da litologia local e devido à profundidade dos aquíferos na região. Porém, vale esclarecer que a baixa vulnerabilidade não exclui a possibilidade de ocorrência de contaminação. Os aquíferos presentes no folhelho fraturado são captados por muitos poços e são, geralmente, o aquífero mais superficial, sendo assim, o aquífero mais vulnerável a contaminações.

Quanto aos objetivos do trabalho, foram elaborados os cálculos relativos aos PPP's da área de estudo, o mapa de vulnerabilidade natural dos aquíferos e foi feita a identificação e classificação dos postos quanto ao seu potencial de contaminação dentro da área de estudo, alcançando assim, os objetivos específicos do estudo. Foi executada também a análise do Risco Potencial de Contaminação para a área de estudo através da sobreposição das informações geradas e plotado um Mapa de Risco Potencial de Contaminação para a área central do município. Com a análise deste mapa foi identificado um risco moderado em grande parte dos postos e em alguns locais, aonde a atividade de comércio de combustível é mais nova, um risco reduzido para a água subterrânea.

Os resultados deste trabalho podem auxiliar aos tomadores de decisão quanto a gestão dos recursos hídricos subterrâneos no que tange a construção e instalação de novos poços para a captação, alocando-os em locais próprios, longe de fontes de contaminação provável e sem interferir em poços já instalados no município. Este estudo também pode ser utilizado para zonear os locais de implantação de empreendimentos potencialmente contaminantes, para que estes não venham a interferir na qualidade da água captada pelos poços da região.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, B.; FOSTER, S. S. D. **Land surface zoning for groundwater protection.** Journal of Institution of Water and Environmental Management, 1992. 6:312-320.
- ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J.H.; PETTY, R.; HACKETT, G. **DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings.** US EPA, 1987. 600p.
- ANA (BRASIL). **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional.** Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape – Brasília : ANA : Engecorps/ Cobrape, 2010. Volume 1.
- ANA (BRASIL). **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: resultados por estado.** Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape – Brasília : ANA : Engecorps/ Cobrape, 2010. Volume 2.
- BARRETO, F.M. de S. **Contaminação da Água Subterrânea por Pesticidas e Nitrato no Município de Tianguá, Ceará.** 182p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2006.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009.** Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Publicado no DOU nº249, de 30 de dezembro de 2009. p. 81-84. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em 22/04/2013.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Decreto nº 3.824, de 29 de maio de 2001.** Dispõe sobre a adição de álcool etílico anidro combustível à gasolina. Brasília, DF, 20 de maio de 2001. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/D3824.htm> . Acesso em 22/04/2013.
- CABRAL, J.S.P.; LOBO FERREIRA, J.P.C.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; COSTA, W.D. **Água Subterrânea: aquíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento.** Tópicos Especiais em Recursos Hídricos. Vol. 4. Editora da Universidade Federal de Pernambuco, 2004. 447p.
- CARVALHO, A. M. de.; HIRATA, R. **Avaliação de métodos para a proteção dos poços de abastecimento público do Estado de São Paulo.** Revista do Instituto de Geociências – USP. Geol. USP, Sér. Cient., São Paulo, v.12, n.1, p. 53-70, Abril 2012.
- CHEREMISINOFF, P. **A guide to underground storage tanks evaluation, site assessment and remediation.** New Jersey: Prentice-Hall, 1992.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Aspectos básicos para o atendimento emergencial em postos de serviços.** 2000.

CORSEUIL, H. X.; FERNANDES, M. **Efeito do etanol na solubilidade de compostos aromáticos presentes na gasolina brasileira.** Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999. v. 4, n. 1 e 2, p. 71-75.

CPRM, **Carta Geológica do Estado do Rio Grande do Sul**, 2008.

CPRM, **Portal SIAGAS**. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>>. Acesso em: 14/04/2013.

FAMURS. **Dados Gerais – Canoas/RS**. Disponível em: <http://www.portalmunicipal.org.br/entidades/famurs/dado_geral/mumain.asp?iIdE=5523&iIdMun=100143074> último acesso em 23/05/2013.

FINOTTI, A. R. **Estudo da aplicabilidade do modelo da ação corretiva baseada no risco (RBCA) em contaminações subterrâneas com gasolina e etanol.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, 1997.

FINOTTI, A. R.; CAICEDO, N. O. L.; RODRIGUEZ, M. T. R. **Contaminações subterrâneas com combustíveis derivados de petróleo: toxicidade e a legislação brasileira.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 6, n. 2, p. 29-46, abr/jun, 2001.

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.** Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento/ Banco Mundial, 2006. Copyright ©.

FOSTER, S. S. D.; SKINNER, A. C. **Groundwater Protection: the Science and Practice of Land Surface Zoning.** International Association of Hydrological Sciences Publication, 1995. 225:471-482.

GUIGUER, N. **Poluição das águas subterrâneas e do solo causada por vazamentos em postos de abastecimento.** 356p. Waterloo Hydrogeologic – Consultoria Ambiental, Software e Treinamento, 2000.

HAMAMOTO, M. Y. **Mapeamento das áreas de perigo de contaminação dos recursos hídricos por vazamento em postos de combustível na área urbana de São Carlos – SP.** 145p. Monografia (Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

IBGE. **Censo Demográfico 2010.** IBGE, abril de 2011. Disponível em <<http://censo2010.ibge.gov.br/pt/>>. Acesso em 24/04/2013.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **Roteiro orientativo para delimitação de área de proteção de poço.** Cadernos do projeto ambiental estratégico aquíferos, Numero 2. 1ª edição. Secretaria do Meio Ambiente/ Instituto Geológico. São Paulo, 2010.

IRWIN, R. J.; VANMOUWERIK, M.; STEVENS, L.; SEESE, M. D.; BASHAM, W. **Environmental Contaminants Encyclopedia**. National Park Service, Water Resources Division, 1998.

KOSTECKI, P. T.; CALABRESE, E. **Petroleum contaminated soil: remediation techniques, environmental fate, and risk assessment**. Vol 1. Mich.: Lewis Publishers, 1989.

MACHADO, J. L.; FREITAS, M. A. de. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: Escala 1:750.000, relatório final**. Porto Alegre: CPRM, 2005. 1 CD-ROM.

MARQUEZAN, R. G. **Análise de recursos digitais como ferramentas de avaliação em ações de proteção de aquíferos no trajeto de oleodutos**. 184p. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

MEDEIROS, C. M.; RIBEIRO, M. A. de F. M.; RUFINO, I. A. A.; BARBOSA, D. L.; **Mapeamento da vulnerabilidade de parte da Bacia Sedimentar do Baixo Curso do Rio Paraíba utilizando o método GOD**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 15., Curitiba, PR, 2011. Anais, INPE, p. 3819.

MELO JÚNIOR, H. R. de. **Mapeamento da vulnerabilidade e análise de risco de contaminação como instrumentos de proteção das águas subterrâneas em áreas industriais: caso da ALBRÁS, Barcarena - PA**. 138 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

MINDRISZ, A. C. **Avaliação da contaminação da água subterrânea de poços tubulares, por combustíveis fósseis, no município de Santo André, São Paulo: Uma contribuição à gestão ambiental**. Tese (Doutorado). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/ Universidade de São Paulo. 2006.

NANNI, A. S. **Contaminação do meio físico por hidrocarbonetos e metais na área da refinaria Alberto Pasqualini, Canoas, RS**. 110p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

NEWELL, C. J.; CONNOR, J.A. **Characteristics of dissolved petroleum hydrocarbon plumes: Results from studies**. American Petroleum Institute/ Groundwater Technical Task Force. December, 1998. Vers. 1.1.

OLIVEIRA, E. de. **Contaminação de aquíferos por hidrocarbonetos provenientes de vazamentos de tanques de armazenamento subterrâneo**. 112p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

PREFEITURA DE CANOAS. **Informativo Canoas em dados 2012**. Disponível em: <http://www.canoas.rs.gov.br/uploads/paginadinamica/15857/Canoas_em_Dados2012.pdf>. Acesso em 23/05/2013.

PREFEITURA DE CANOAS. **Informativo Canoas em dados nº 5A**. Disponível em: <http://www.canoas.rs.gov.br/uploads/paginadinamica/19021/Informativo_CanoCa_em_Dados_n5A.pdf>. Acesso em 23/05/2013.

PREFEITURA DE CANOAS. **Apresentação de Canoas**. Disponível em: <<http://www.canoas.rs.gov.br/site/home/pagina/id/7>>. Acesso em 05/06/2013.

PREFEITURA DE CANOAS. **Informativo Canoas em dados nº3**. Disponível em: <http://www.canoas.rs.gov.br/uploads/paginadinamica/18866/Informativo_CanoCa_em_Dados_n3.pdf>. Acesso em 05/06/2013.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). **DECRETO ESTADUAL Nº 42.047, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2002**. Regulamenta disposições da LEI Nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994, com alterações, relativas ao gerenciamento e à conservação das águas subterrâneas e dos aquíferos no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 26 de dezembro de 2002. Publicado no DOE de 27 de dezembro de 2012. Disponível em: <<http://www.legislacao.sefaz.rs.gov.br/Site/Document.aspx?inpKey=106552&inpCodDispositive=&inpDsKeywords=10350>>. Acesso em 15/06/2013.

SANTOS, M. G. **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas dos sistemas aquíferos sedimentares da região de Campos dos Goytacazes – RJ**. [s.n.] Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, UNICAMP, 2004.

SIQUEIRA, W.; ANJOS, G. C. dos.; SOUZA, E. L. **Avaliação Preliminar dos riscos potenciais de contaminação das águas subterrâneas por postos de combustíveis no município de Belém**. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 12., 2002, Florianópolis, Santa Catarina.

TAKESHITA, E. V. **Adulteração da gasolina por adição de solventes: análise dos parâmetros físico-químicos**. 113p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

UNESC, NUPEA, CPRM. **Plano de Gestão e Gerenciamento da Bacia do Rio Araranguá - zoneamento da disponibilidade e da qualidade hídrica**. SDM, Instituto CEPA, UBESC/NUPEA, CPRM. Florianópolis, 1997.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Leaking underground storage tanks and health: Understanding health risks from petroleum contamination**. EPA/530/UST-91/018. Office of Underground Storage Tanks, 1992.

VIERO, A. C. **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul**. Organização Ana Cláudia Viero [e] Diogo Rodrigues Andrade da Silva. – Porto Alegre: CPRM, 2010. 250p.; 30cm + 1 DVD-ROM.

YAMADA, D. T. **Caracterização geológico-geotécnica aplicada à instalação de postos de combustíveis em Rio Claro (SP)**. 141f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

WAHNFRIED, I.; HIRATA, R. **Perímetros de proteção de poços: uma importante ferramenta para a sustentabilidade de mananciais públicos**. In: Encontro Nacional de

Perfuradores de Poços, 14. e Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste, 2. Anais. ABAS, São Paulo, 2005. ISSN 2179-9784.

Anexo 1 – Questionário realizado nos postos de combustível

Questionário para levantamento dos postos de combustível

Nome do estabelecimento:

Endereço:

Bandeira do posto:

Nº da Licença de Operação:

Existia um posto no local antes? ()S ()N

Há quantos anos o empreendimento está localizado neste ponto?

Já houve a troca dos tanques? ()S ()N

Já houve vazamentos no local? ()S ()N

Possui poço no posto de combustível?

Em caso positivo, houve tratamento da contaminação? ()S ()N

Qual o método empregado?