



Diagnóstico Ambiental

Item 5.2.3 - Estudos Ambientais - Ribeirão Preto

ADITIVO – ESTUDOS TÉCNICOS

INOVA Soluções Ambientais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO DA ZONA LESTE DO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO/SP – SUBSÍDIOS PARA REVISÃO DO PLANO DIRETOR DE RIBEIRÃO PRETO/SP	15
	2.1 Revisão do Contexto Geológico do Município de Ribeirão Preto.....	15
	2.2 Do Modelo Hidrogeológicos do Município de Ribeirão Preto	20
	2.3 Classificação do Potencial de Recarga de Aquífero	24
	2.4 Potencialidades e Limitações	29
3	CONCLUSÃO	30
4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Fragilidade 01 - Realizado conforme indicado pela metodologia escolhida	11
Figura 2 - Mapa de Fragilidade 02 - Realizado conforme indicado pela metodologia escolhida e modificações do autor.	12
Figura 3 - Mapa geológico simplificado apresentado por Silva et al (2008), os círculos apontam máximas espessuras de formação Serra Geral e Botucatu encontrados nos poços analisados	16
Figura 4 - Mapa de espessuras de basalto por Silva et al (2008), os círculos apontam máximas espessuras de formação Serra Geral e Botucatu encontrados nos poços analisados	16
Figura 5 - Seção geológica A-B (sudoeste-nordeste).....	17
Figura 6 - Seção geológica C-D (noroeste-sudeste).	17
<i>Figura 7 - Ocorrência típica de Soleira (Rocha escura)</i>	18
Figura 8 - Localização de uma seção exemplo de subsolo obtida na Zona Leste de Ribeirão Preto.....	19
Figura 9 - Seção geológica AA´ com a interpretação inferida do fluxo de água subterrâneo.	20
Figura 10 - Coluna estratigráfica esquemática dos basaltos mapeados por Fernandes et. Al (2010).	22
Figura 11 - Seção Geológica SW-NE (paralela a Rod. Antônio Machado Sant´anna) na região de Ribeirão Preto.....	22
Figura 12 - Adaptação do modelo hidrológico conceitual proposto por FERNANDES et. al (2011).	24
Figura 13 - Mapa de Fragilidade Potencial Qualitativo - Segurança.....	27
Figura 14 - Mapa de Fragilidade Potencial Quantitativo.....	28

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Temas Influentes.....	8
Quadro 2 - Classes de Fragilidades.....	8
Quadro 3 - Distribuição de pesos: Variável Geologia na Fragilidade Potencial	8
Quadro 4 - Distribuição de pesos: Variável Solos na Fragilidade Potencial	9
Quadro 5 - Distribuição de pesos: Variável Declividade na Fragilidade Potencial	10
Quadro 6 - Distribuição de pesos: Variável Geomorfologia na Fragilidade Potencial	10

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ficha de Diagnóstico Ambiental Expedido para Recarga de Aquíferos (Quantidade).	25
Tabela 2 - Ficha de Diagnóstico Ambiental Expedido para Recarga de Aquíferos (Qualidade).	26
Tabela 3 - Critérios adicionais para elaboração de mapas de potencial de Recarga de Aquífero.....	27

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi realizado em continuidade ao item disposto no Termo de Referência Para a Contratação de Serviços Técnicos de Apoio à Elaboração da Revisão da Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo do Município de Ribeirão Preto, item 5.2.3 - Estudos Ambientais, e tem como objetivo o levantamento de possíveis cenários geológicos-geotécnicos, com simulação por método de elementos finitos de cenários de avanço de eventuais plumas de contaminação nos diferentes cenários de solo de cobertura do Sistema Aquífero Guarani presente no território de Ribeirão Preto.

Ao final dos Estudos técnicos, foi elaborado o diagnóstico ambiental do município de Ribeirão Preto, com geração de Cartas de Tipos de Solos, Declividade, geologia e altitude.

Baseado nos diagnósticos e nos dados levantados, e após pesquisa de métodos adequados para os aspectos relevantes encontrados, foram geradas duas Cartas de Fragilidade para o Município de Ribeirão Preto para análise ambiental do seu território.

Na ocasião anterior, as análises das fragilidades dos ambientes naturais e antropizados basearam-se na metodologia proposta por Ross (1994). Este modelo propõe que cada uma destas variáveis seja hierarquizada em classes de acordo com sua vulnerabilidade. Assim, as variáveis mais estáveis apresentarão valores mais próximos de 1,0, as intermediárias ao redor de 3,0 e as mais vulneráveis estarão próximas de 5,0. Desta forma, a partir da composição das relações destas quatro variáveis:

- Geologia - categoria hierárquica muito fraca (1) a muito forte (5);
- Solos - classes de fragilidade muito fraca (1) a muito forte (5);
- Geomorfologia - grau de proteção muito alto (1) a muito baixo/nulo (5);
- Declividade - categoria hierárquica muito fraca (1) a muito forte (5).

Foi então estabelecida uma classificação da fragilidade através da composição entre estes quatro planos de informação composta pelas categorias e algarismos acima mencionados.

Da combinação desses algarismos (ex: 1111, 1213, 2345, 3423, 5555), foi possível hierarquizar os graus de fragilidade natural. Nesta convenção, o conjunto numérico 1111 representa todas as variáveis favoráveis (fragilidade muito baixa), e o conjunto numérico 5555 apresenta todas as variáveis desfavoráveis (fragilidade muito forte). Através desta análise empírica proposta por ROSS (1994), foi possível estabelecer quais áreas podem ser consideradas como mais críticas.

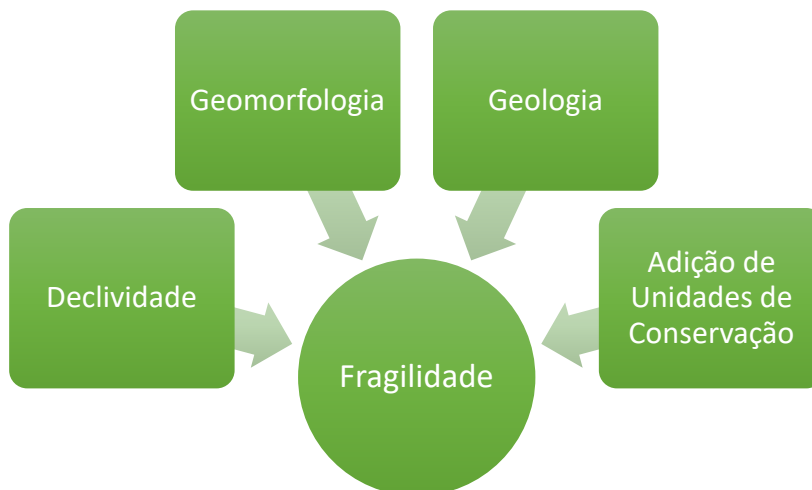
A identificação dos ambientes naturais e de suas fragilidades, permite melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial. Consideram que o mapa de fragilidade ambiental constitui uma das principais ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento territorial ambiental. O mapeamento da fragilidade ambiental permite avaliar as potencialidades do meio ambiente de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições.

Os autores consideram ainda que a metodologia da fragilidade empírica proposta por Ross (1994) se fundamenta no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre seus componentes físicos e bióticos.

Os procedimentos operacionais para a sua construção exigem num primeiro momento os estudos básicos de diagnóstico (relevo, solo, geologia, clima, uso da terra, cobertura vegetal etc.). Posteriormente, essas informações são analisadas de forma integrada gerando um produto síntese que expressa os diferentes graus de fragilidade que o ambiente possui em função de suas características genéticas KAWAKUBO et al. (2005).

Para a análise da fragilidade ambiental utilizou-se como procedimento metodológico-operacional a análise multicritério. Como tal procedimento é obrigatoriamente multi e interdisciplinar, todos os critérios utilizados - incluindo a escolha dos produtos analíticos, sua influência e peso - foram definidos primeiramente com base nos trabalhos referenciados e também pelo conhecimento técnico da equipe.

Os resultados obtidos foram dois mapas temáticos, um representando a Fragilidade Potencial com base no trabalho referenciado (ROSS,1994 e ROSS,2011) e outro a Fragilidade Potencial novamente, mas adaptou-se a metodologia citada utilizando-se como produtos temáticos as particularidades do município de importância ambiental conhecida e protegida por legislação específica.



Para a integração dos dados foram definidos valores em porcentagem, associados à influência de cada um dos temas, conforme o Quadro 1 abaixo:

Quadro 1 – Temas Influentes

Tema	Influência Mapa 01	Influência Mapa 02
Geologia	15	60
Geomorfologia	20	20
Pedologia	30	10
Declividade	35	10
UC - expansão	0	Plano de Manejo
Total	100	100

*A área foi adicionada após o Mapa pronto, em virtude do Plano de Manejo da EERP que consta a obrigatoriedade de todo empreendimento ser analisado pelo Conselho da UC.

Após a definição da influência de cada um dos temas, foi realizada a reclassificação das informações retratadas por eles para um mesmo sistema de valores. Tal sistema foi representado por números inteiros inseridos em uma escala de 1 (um) a 5 (cinco) indicando o nível de fragilidade associado a cada classe dos produtos temáticos, conforme a metodologia proposta por ROSS (1994).

Quadro 2 - Classes de Fragilidades

Classes de Fragilidade	Peso
Muito Baixa	1
Baixa	2
Média	3
Alta	4
Muito Alta	5

Quadro 3 - Distribuição de pesos: Variável Geologia na Fragilidade Potencial

Geologia	Peso
Depósitos aluviais quaternários	1
Coberturas cenozoicas indiferenciadas	3
Formação Serra Geral	1
Intrusivas Tabulares	2
Formação Botucatu	3
Formação Piramboia	3

Os pesos distribuídos entre as unidades geomorfológicas também foram definidos de acordo com as observações apresentadas no item referente ao diagnóstico geológico deste trabalho, na proposta de ROSS (1994).

Os pesos aumentam progressivamente conforme o relevo apresenta maiores amplitudes altimétricas e, portanto, maior fragilidade frente aos processos de dinâmica superficial.

Às planícies fluviais foi atribuído o peso máximo de classificação em função das inundações e fragilidade ambiental, sobretudo durante a estação chuvosa.

Foi dado peso máximo também às áreas de Unidades de Conservação e suas áreas de amortecimento que estão inseridas em áreas urbanas ou de expansão ainda não totalmente ocupadas.

Quadro 4 - Distribuição de pesos: Variável Solos na Fragilidade Potencial

Solos	Peso
Latossolos	1
Nitossolos vermelhos	2
Neossolo litólico e quartzo	3
Neossolos háplicos	4
Gleissolos	5

A definição dos pesos para o tema Pedologia - Solos, foi norteada pelos critérios elencados em Ross (1994), que considera a fragilidade dos solos como sinônimo de erodibilidade.

Neste contexto, os latossolos, que ocupam a maior parte do território municipal, apresentaram a menor fragilidade. Os latossolos estão associados principalmente a relevos planos e suave ondulados, apresentam boa drenagem e boa resistência à erosão. Tais fatores conferem a esta classe de solo um grau de fragilidade “Muito baixa”.

Assim como a pedologia, os critérios que nortearam a escolha dos pesos para as classes de declividade basearam-se nas observações feitas por ROSS (1994).

As classes de declividade foram definidas conforme os estudos de Capacidade de Uso/Aptidão Agrícola. Estes estudos, associados aos limites críticos da geotecnia, indicam a intensidade dos processos erosivos, dos riscos de escorregamento/deslizamentos e inundações frequentes, onde ocorre o aumento da fragilidade associado ao aumento da declividade. Dessa forma, à medida que ocorre o aumento da declividade também há o incremento da fragilidade, ficando as baixas declividades (abaixo de 6%) caracterizadas como de menor fragilidade, conforme o quadro abaixo:

Quadro 5 - Distribuição de pesos: Variável Declividade na Fragilidade Potencial

Declividade	Pesos
Menor que 6%	1
De 6% à 12%	2
De 12% à 20%	3
De 20% à 30%	4
Acima de 30%	5

Quadro 6 - Distribuição de pesos: Variável Geomorfologia na Fragilidade Potencial

Geomorfologia	Pesos
Planalto Centro Ocidental	1
Planaltos em Patamares estruturais	3
Pequenas Planícies Pluviais	5

Posteriormente à definição da influência dos temas, e também dos pesos associados as suas classes, foi realizada a sobreposição das informações através da análise espacial. A fórmula utilizada consiste na somatória da influência do tema multiplicada pelo peso das classes, gerando como produto síntese o Mapa de Fragilidade Potencial do município de Ribeirão Preto.

Após a elaboração do Mapa de Fragilidade Potencial de forma tradicional conforme a metodologia escolhida e os pesos por ela sugeridos, seguindo a mesma metodologia, foi gerado outro Mapa de Fragilidade Potencial, alterando as porcentagens associadas à influência de cada um dos temas, onde aplicou-se porcentagem maior de fragilidade em relação à geologia, para evidenciar as áreas reconhecidas como de recarga do Aquífero guarani, e foi evidenciada a Unidades de Conservação em áreas de expansão urbana.

Por não haver referências de pesos para estas classes em especial, a definição dos pesos nesta nova análise, considerou:

- Diminuição da porcentagem de fragilidade da declividade, manutenção dos valores para geomorfologia e aumento extrapolado para as áreas de recarga de aquífero.

A diminuição das porcentagens de fragilidade dos solos e declividade, ocorreram por estas características não serem determinantes na ocupação de Ribeirão Preto, que possui praticamente todo seu território em declividade inferior à 6%, e também ocupado por solos de baixa erodibilidade. Por esta uniformidade, estes atributos aparentemente geraram um efeito tampão nas análises.

Proporcionalmente às porcentagens diminuídas, aumentou-se a porcentagem de fragilidade do aspecto geológico para 60%, e após o resultado final adicionou-se a área da Unidade de Conservação - Estação Ecológica de Ribeirão Preto e sua área de amortecimento, por ser a única área de Unidade de Conservação de Ribeirão Preto que possui área de amortecimento em área urbana e de expansão urbana que ainda não está totalmente ocupada e consolidada. As demais Unidades de Conservação que ocorrem no município não possuem Plano de Manejo com áreas de amortecimento definidas, e, ou já possuem seu entorno consolidado, ou estão em áreas rurais.

O critério de classificação desta área como alta fragilidade, ocorre em virtude da sua inexistente capacidade de resiliência após incêndio ocorrido, pequena área de amortecimento para gerar sua conectividade (essencial para aumento da resiliência) e pela obrigação já imposta pela revisão do Plano Diretor e do Plano de Manejo para que todo novo empreendimento seja submetido à análise do Conselho gestor da EERP.

Figura 1 - Mapa de Fragilidade 01 - Realizado conforme indicado pela metodologia escolhida

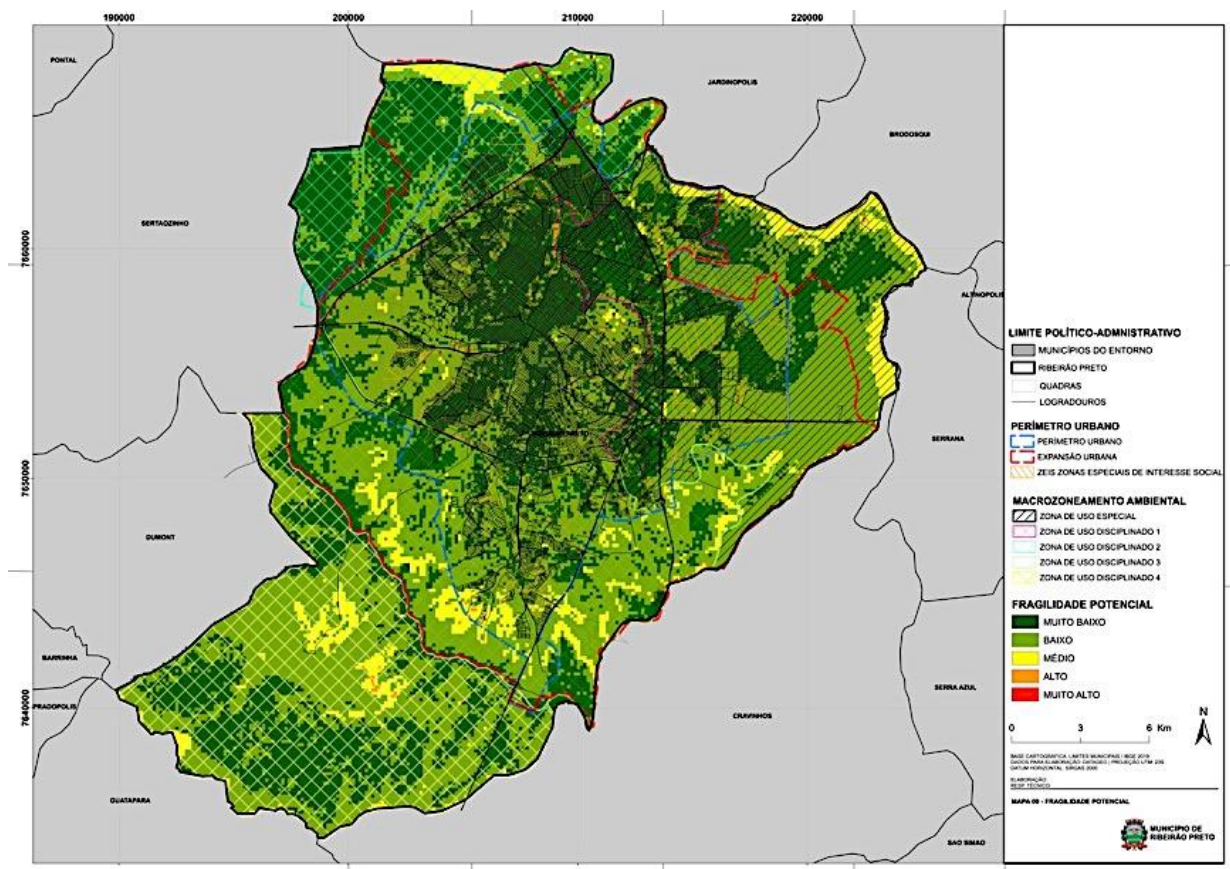
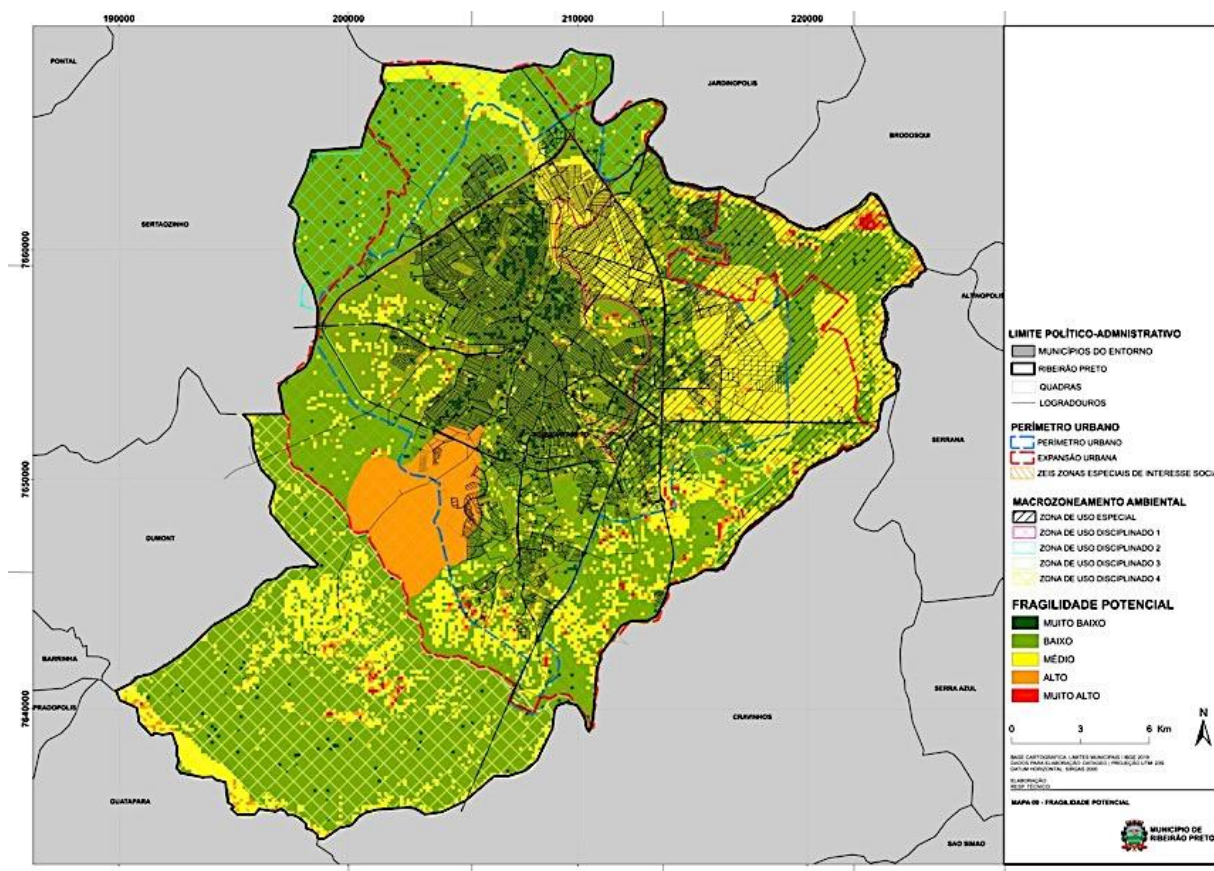


Figura 2 - Mapa de Fragilidade 02 - Realizado conforme indicado pela metodologia escolhida e modificações do autor.



Conforme pode-se notar no Mapa de fragilidade 01, quase todo território do município de Ribeirão Preto foi classificado como de muito baixa ou baixa fragilidade, evidenciando como fragilidade média apenas locais de maior altitude e áreas úmidas.

No Mapa de Fragilidade 02, onde foi dado maior peso e porcentagem de fragilidade para o aspecto geológico, foi evidenciada as formações onde ocorrem o afloramento e consequente recarga do aquífero Guarani no município.

Com a mudança destes índices, ainda assim todo o município continua com classificação de baixa fragilidade em maior parte de seu território, fragilidade média em locais específicos (formações geológicas Pirambóia e Botucatu, áreas úmidas e de maior altitude) e poucos locais com alta e muito alta fragilidade (áreas úmidas). As áreas classificadas como alta ou muito alta fragilidade já possuem proteção garantida pela legislação vigente.

Diante do diagnóstico ambiental realizado anteriormente, e do resultado da Carta de Fragilidade, concluímos:

- Ribeirão Preto possui a maior parte de seu território apto à ocupação e desenvolvimento urbano;

- Suas formações geológicas, tipo de solo e topografia favorecem o desenvolvimento urbano sem que haja o comprometimento ambiental suficiente para ser classificado como alto impacto ou que degrade o meio ambiente de forma intensa, sendo pouco propenso a apresentar processos erosivos ou até processos de degradação, se realizados conforme a legislação vigente e normas aplicáveis;
- Desde que as questões sociais e de infraestrutura sejam planejadas e estejam de acordo com a legislação vigente, não há nenhuma área do município que apresente total impedimento de desenvolvimento urbano sob o aspecto ambiental;
- As áreas classificadas como média fragilidade - recarga do aquífero Guarani principalmente - são aptas à urbanização, devendo ser observado que, devido às diferenças de formações geológicas e solos que ocorrem nesta região e suas consequentes taxas diferentes de infiltração, há necessidade de receberem zoneamento específico conforme sua formação geológica e tipo de solo.
- As áreas classificadas como baixa fragilidade na Zona Leste, que possuem menor taxa de infiltração, não necessitam de extensões de áreas permeáveis iguais às áreas com maior capacidade de infiltração, que foram classificadas como média fragilidade.
- Todas as análises foram realizadas com dados pré-existentes de dados disponíveis no Instituto geológico, Secretaria Estadual de meio Ambiente, IBGE e IGC. Tais informações provêm de mapas com grandes escalas, podendo haver detalhes e margem de erro. Há necessidade do município providenciar estudos confirmatórios sobre a geologia, pedologia, geotecnia, para que Cartas Base sejam elaboradas e Cartas de Fragilidade Potencial sejam realizadas com maior precisão, servindo de base para estabelecer as diretrizes de uso destes solos, respeitando seus atributos naturais; Com dados mais precisos, é possível ainda gerar com segurança uma Carta de fragilidade Emergente, que sobre a Carta de Fragilidade Potencial considera sua fragilidade em relação aos graus de proteção do solo.
- A partir destas Cartas Base, serão definidos quais estudos complementares cada empreendimento haveria de fornecer durante os processos de aprovação, podendo ser solicitada a revisão da extensão de áreas permeáveis se houver possibilidade de utilização de métodos comprovadamente eficazes de recarga artificial.
- Nas áreas aptas à urbanização consideradas de alta fragilidade - áreas de amortecimento de unidade de Conservação, sugere-se que novos empreendimentos sejam aprovados apenas quando for comprovado que problemas como o atropelamento de fauna silvestre, total bloqueio de acesso de animais domésticos a áreas protegidas e perdas de conectividade sejam sanados. A proximidade de moradores com a fauna silvestre não é aconselhável, podendo haver a transmissão

de doenças como a febre amarela, febre maculosa, que geram matança proposital de animais pela falta de informação e educação ambiental do entorno, além da transmissão de doenças de animais domésticos para os silvestres. O Sistema viário nestas áreas de amortecimento jamais poderá causar qualquer modificação ou impedimento de conectividade;

- A maior quantidade de nascentes do município está localizada na Zona Sul, seguido por oeste e norte. Neste aspecto, a preservação dos recursos hídricos e áreas de preservação permanente nestas áreas propiciam a conectividade entre a vegetação natural presente no município. A menor quantidade de nascentes está na Zona Leste;
- Sobre a distribuição dos tipos de Vegetação no município: o Cerrado está presente principalmente na Zona Leste; a Mata Atlântica na Zona Sul e demais locais predominam os ecótonos;
- Zonas Sul e Leste possuem maior quantidade de fragmentos florestais preservados;
- De forma geral, as áreas contaminadas do município, independentemente do tipo ou grau de contaminação, estão em monitoramento, estudo ou remediação, conduzidos em processos junto à Cetesb, que possui atribuição e procedimentos técnicos suficientes para autorizar ou impedir pontualmente os usos inadequados;
- Após a elaboração dos estudos básicos específicos que foram sugeridos, deverá ser gerada nova carta de Fragilidade Potencial, e também uma Carta de Fragilidade Emergente, a fim de retificar os prováveis impactos ambientais em cada situação levantada, de forma precisa, adequando as possibilidades de uso;

Com a indicação da realização de estudos básicos específicos para gerar uma nova Carta de Fragilidade Potencial, foi então dada a devida continuidade ao estudo do meio físico de Ribeirão Preto, especificamente no tocante à caracterização hidrogeológica da Zona Leste, para realizarmos a atualização e conferência de dados disponíveis e reestabelecer novos parâmetros de uso com base atualizada.

2 DIAGNÓSTICO HIDROGEOLÓGICO DA ZONA LESTE DO MUNICÍPIO DE RIBEIRÃO PRETO/SP – SUBSÍDIOS PARA REVISÃO DO PLANO DIRETOR DE RIBEIRÃO PRETO/SP

2.1 Revisão do Contexto Geológico do Município de Ribeirão Preto

SILVA et. al (2008) realizou estudos geológicos e hidrogeológicos de subsuperfície, com base em perfis geofísicos de poços profundos no município de Ribeirão Preto. Neste trabalho os autores indicam que o contato entre a base da formação Serra Geral e o topo da Formação Botucatu apresenta-se de forma bastante irregular devido principalmente a dois fatores:

- As lavas basálticas da Formação Serra Geral se amoldarem ao paleo-relevo irregular formado pela superfície de topo da Formação Botucatu, preservando maiores espessuras nas porções de interdunas ou lençóis de areia do paleo-deserto;
- Reorganização estrutural da bacia, em consequência do episódio termomagmático da Reativação Wealdeniana (ruptura do supercontinente Gondwana e formação do Atlântico Sul), onde movimentações verticais de perfis completos de rocha de tamanhos variáveis provocadas por tectonismo (Terremotos), e novas ocorrências de extravasamento de lavas, propiciaram o acúmulo de espessuras maiores de basalto em porções abatidas.

SILVA et. al (2008) ainda relata que a maior espessura preservada de basaltos, constatada nos poços analisados, foi de 195 metros em poço artesiano (nº 1028) localizado junto ao Campus da USP Ribeirão Preto. Da mesma forma a maior espessura da Formação Botucatu foi de 122m na região da Av. Castelo Branco.

A Figura 3 apresenta o mapa de espessuras de Basaltos desenvolvido por SILVA et al (2008) e as figuras 4 e 5 apresentam seções esquemáticas (A-B e C-D) do substrato rochoso elaboradas por tais autores com o intuito de esclarecer a complexidade do contato existente entre as formações Serra Geral e Botucatu.

Figura 3 - Mapa geológico simplificado apresentado por Silva et al (2008), os círculos apontam máximas espessuras de formação Serra Geral e Botucatu encontrados nos poços analisados

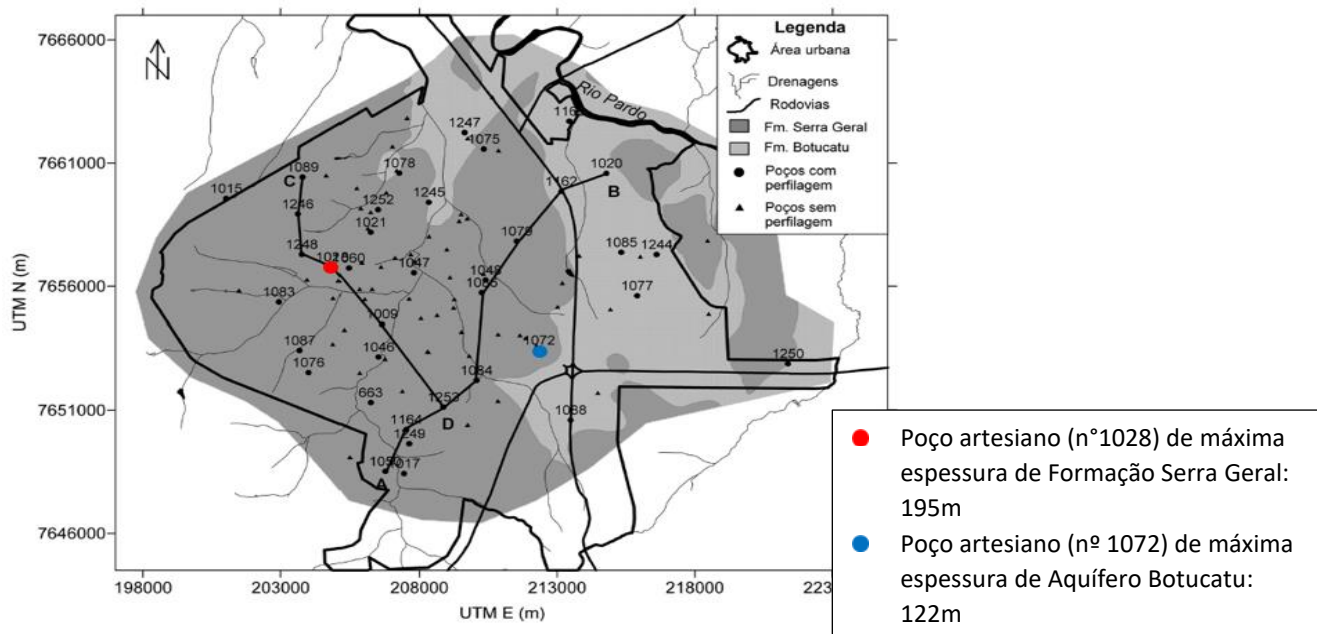


Figura 4 - Mapa de espessuras de basalto por Silva et al (2008), os círculos apontam máximas espessuras de formação Serra Geral e Botucatu encontrados nos poços analisados

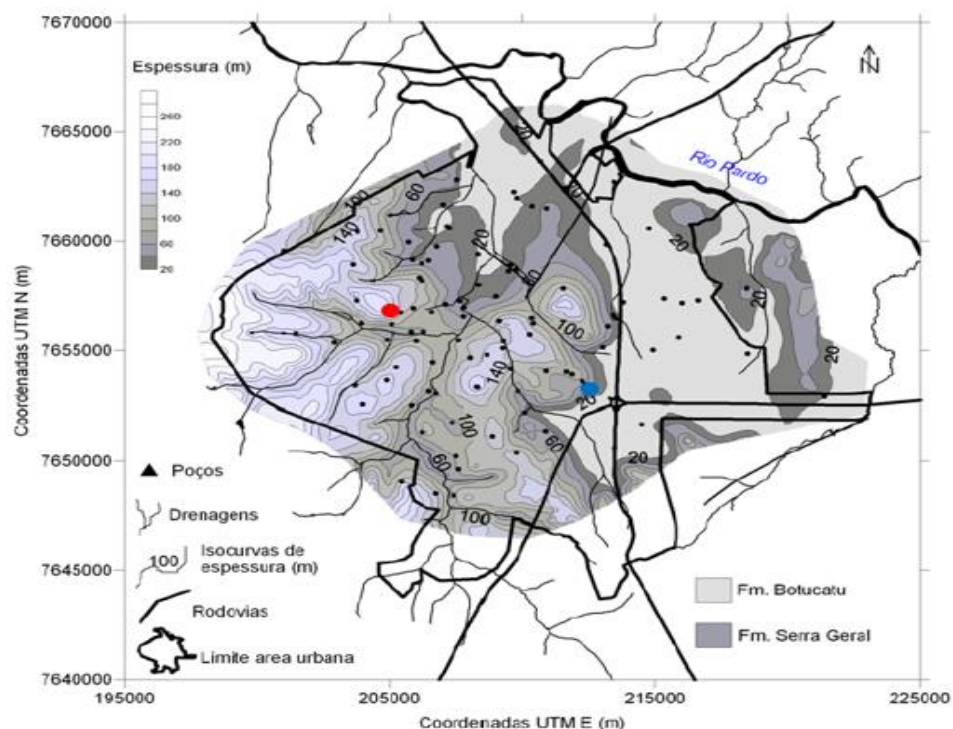
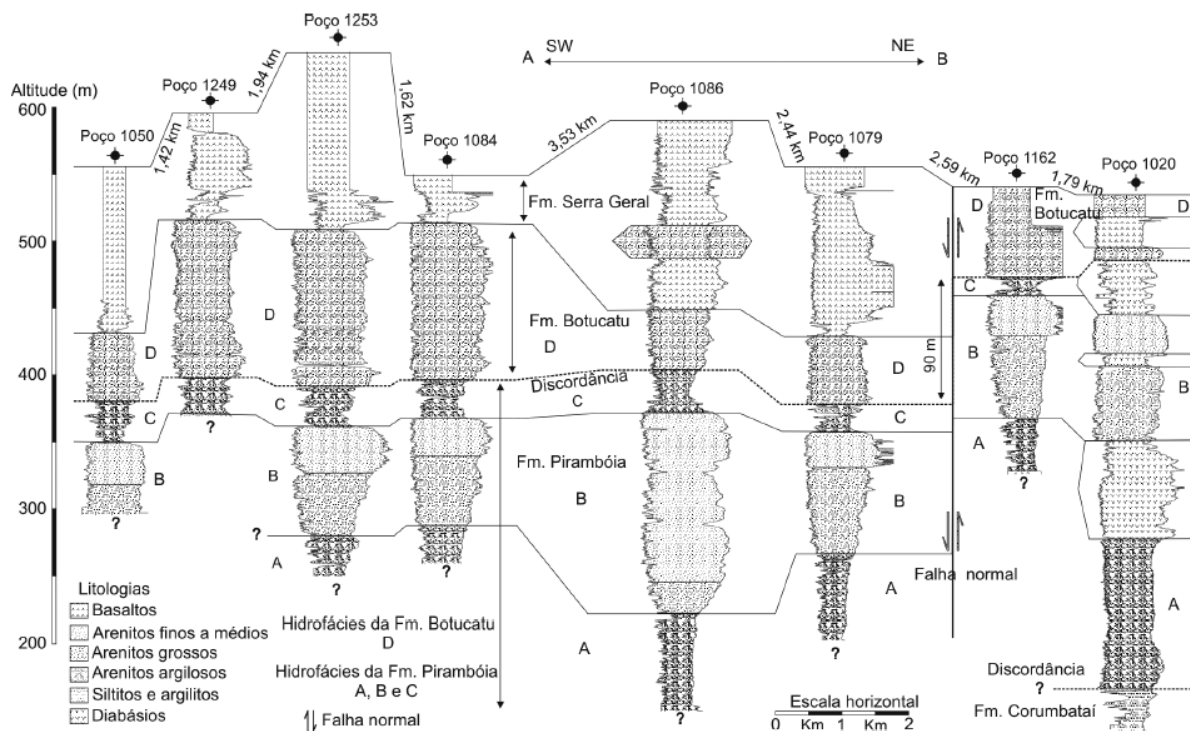
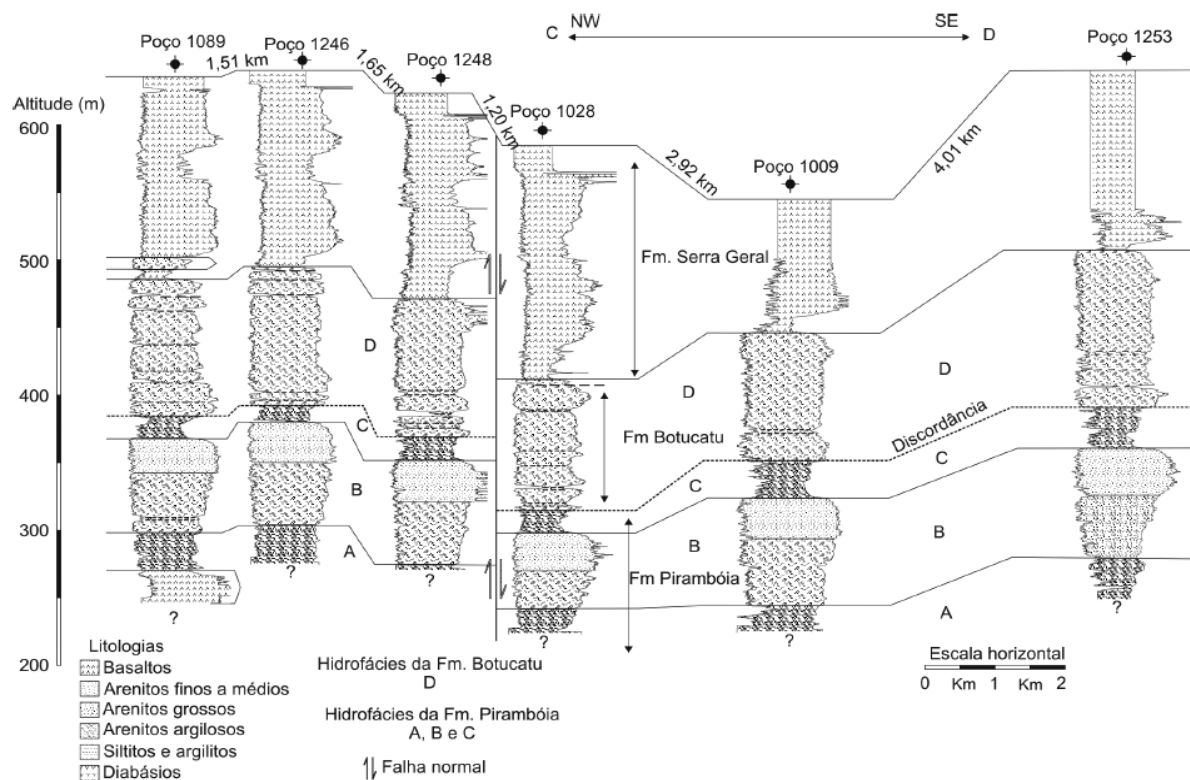


Figura 5 - Seção geológica A-B (sudeste-nordeste).



Fonte: SILVA et. al (2008).

Figura 6 - Seção geológica C-D (noroeste-sudeste).



Fonte: SILVA et. al (2008).

No que tange a Zona Leste de Ribeirão Preto, verifica-se a ocorrência de manchas de Rochas intrusivas básicas, com ocorrência na forma de Soleiras (Sills), e idade geológica associada aos incidentes termo tectônicos da Reativação Wealdeniana.

Soleiras (Sills) são inserções horizontais de lava vulcânica que ocorrem dentro de camadas pré-existentes da porção superficial da crosta terrestre, ou seja, o magma líquido encontra planos horizontais de fraqueza das rochas que permitam seu fluxo e consolidação orientados horizontalmente com estes planos de fraqueza ou descontinuidade. A fig. 5 apresenta um exemplo de ocorrência de soleira com pequena espessura, alto grau de faturamento vertical e padrão errático de ocorrência espacial, típicos de estruturas de soleiras.

Figura 7 - Ocorrência típica de Soleira (Rocha escura)



Diante da erraticidade da ocorrência destas soleiras básicas, bem como da complexidade do padrão de consolidação dos basaltos da Formação Serra Geral sobre o paleo-relevo de dunas da Formação Botucatu, faz-se necessário maior detalhamento do substrato rochoso na porção leste do município de Ribeirão Preto, com o objetivo de permitir melhor compreensão do mecanismo de recarga do Aquífero, e consequente riscos de contaminação, nesta região do município.

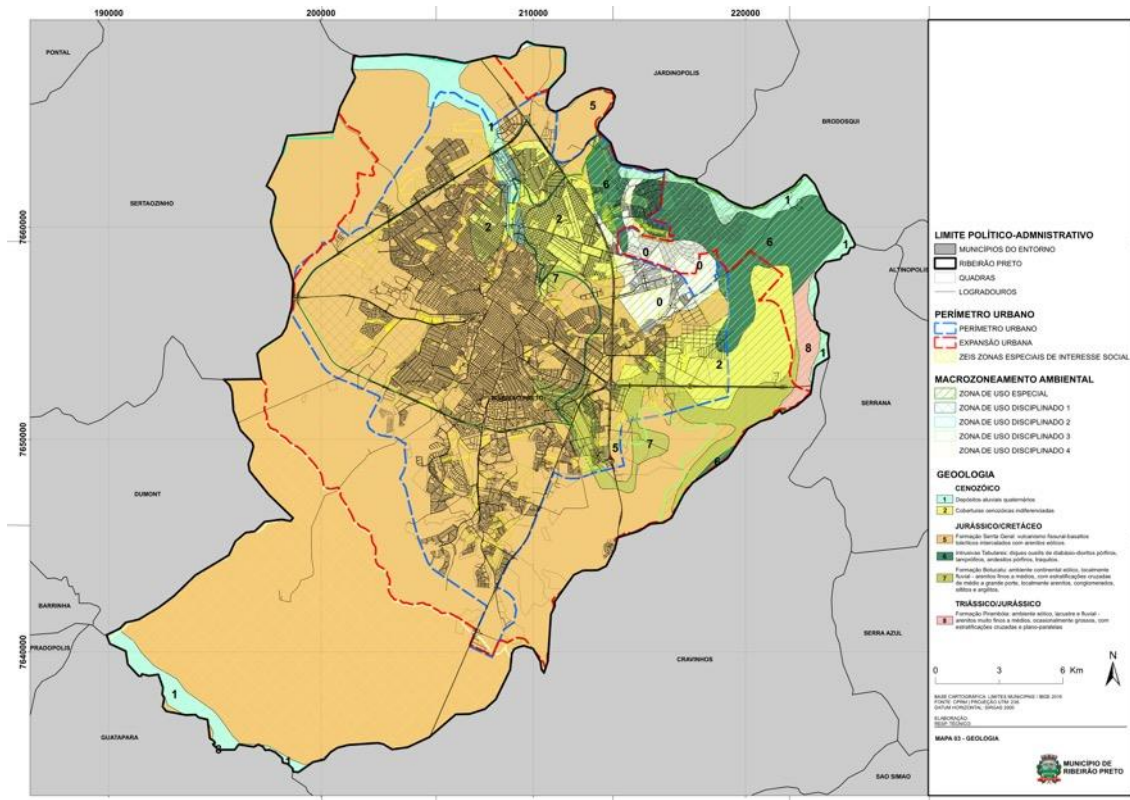
Para melhor definição das regiões de ocorrência de Soleiras (Sills) na zona leste de Ribeirão Preto, utilizou-se das seguintes bases de dados:

- 186 poços artesianos com descrição de perfil estratigráfico disponibilizados junto ao Cadastro de Outorga do DAAE;

- 100 relatórios de sondagens SPT obtidos a partir da Base de dados da Sonda base Geotecnia.

A partir destas informações, elaborou-se o Mapa Geológico revisado do município de Ribeirão Preto, parte integrante deste documento, conforme podemos observar na figura abaixo:

Figura 8 - Mapa Geológico de Ribeirão Preto Revisado



A Figuras 9 apresentam a localização de uma seção de subsolo obtida na Zona Leste de Ribeirão Preto na região de ocorrência de Rochas intrusivas básicas.

Figura 9 - Localização de uma seção exemplo de subsolo obtida na Zona Leste de Ribeirão Preto.

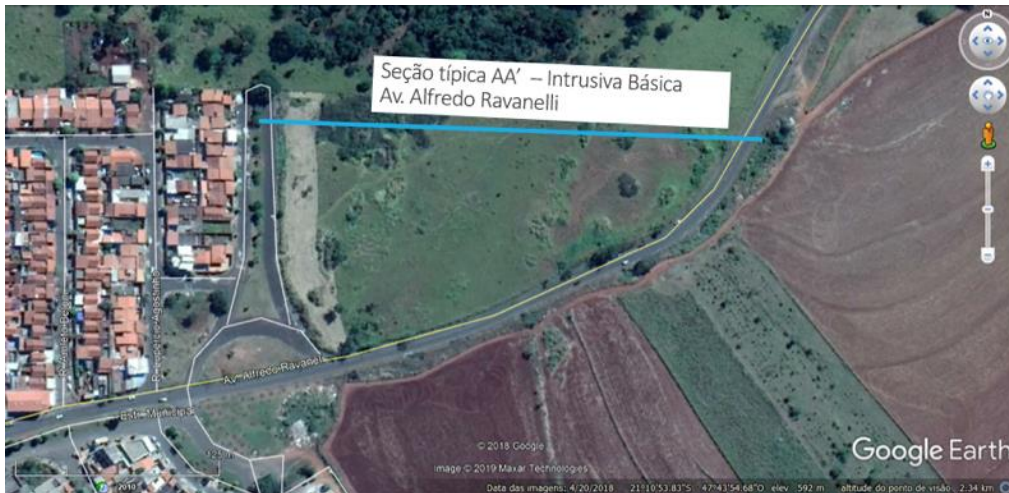
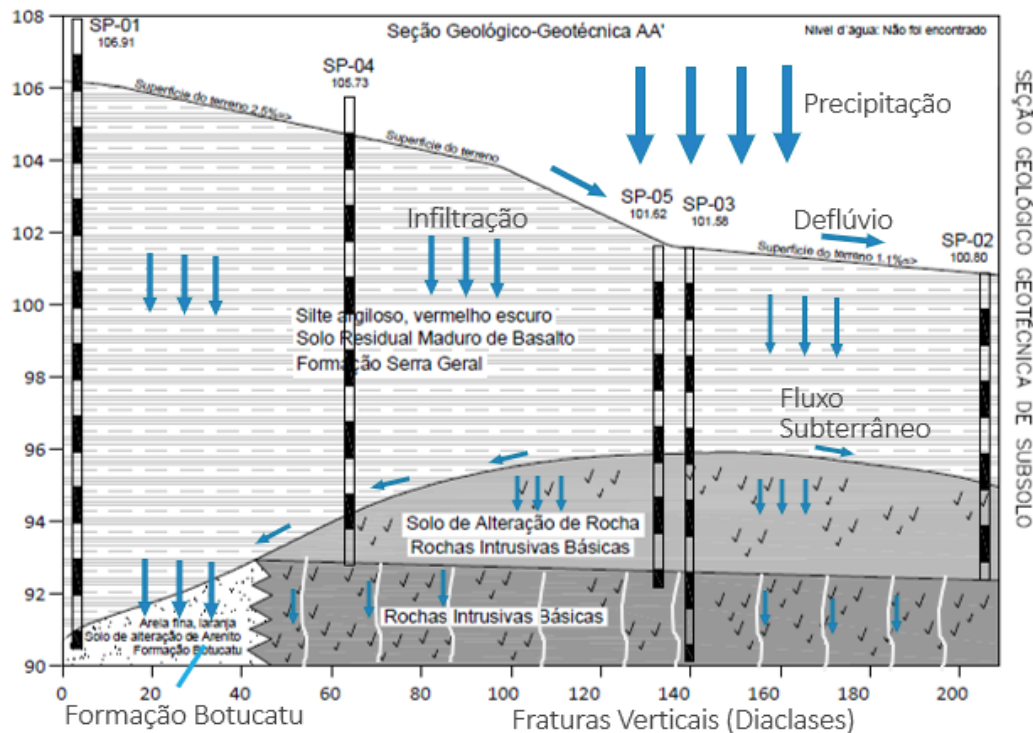


Figura 10 - Seção geológica AA' com a interpretação inferida do fluxo de água subterrâneo.



Vale ressaltar que dada a complexidade geológica dos derrames de Basalto da formação Serra Geral, bem como das soleiras básicas na Zona Leste, recomenda-se que o referido Mapa Geológico seja continuamente revisado a partir de informações obtidas por sondagens de implantação de novos empreendimentos na Zona Leste do município de Ribeirão Preto.

2.2 Do Modelo Hidrogeológico do Município de Ribeirão Preto

Em primeira análise os Basaltos da Formação Serra Geral são classificados como Aquitardos, ou seja, possuem baixa capacidade de armazenamento e baixas velocidades de fluxo (baixa transmissividade). Segundo esta análise regiões de ocorrência de Basalto no município de Ribeirão Preto seriam consideradas como protegidas contra a infiltração de água ou áreas de recarga muito baixa ou nulas.

Entretanto, FERNANDES et. al (2010) apresenta estudo das características estratigráficas dos sucessivos derrames da formação Serra Geral que permite uma revisão conceitual mais precisa acerca das características hidrogeológicas desta formação.

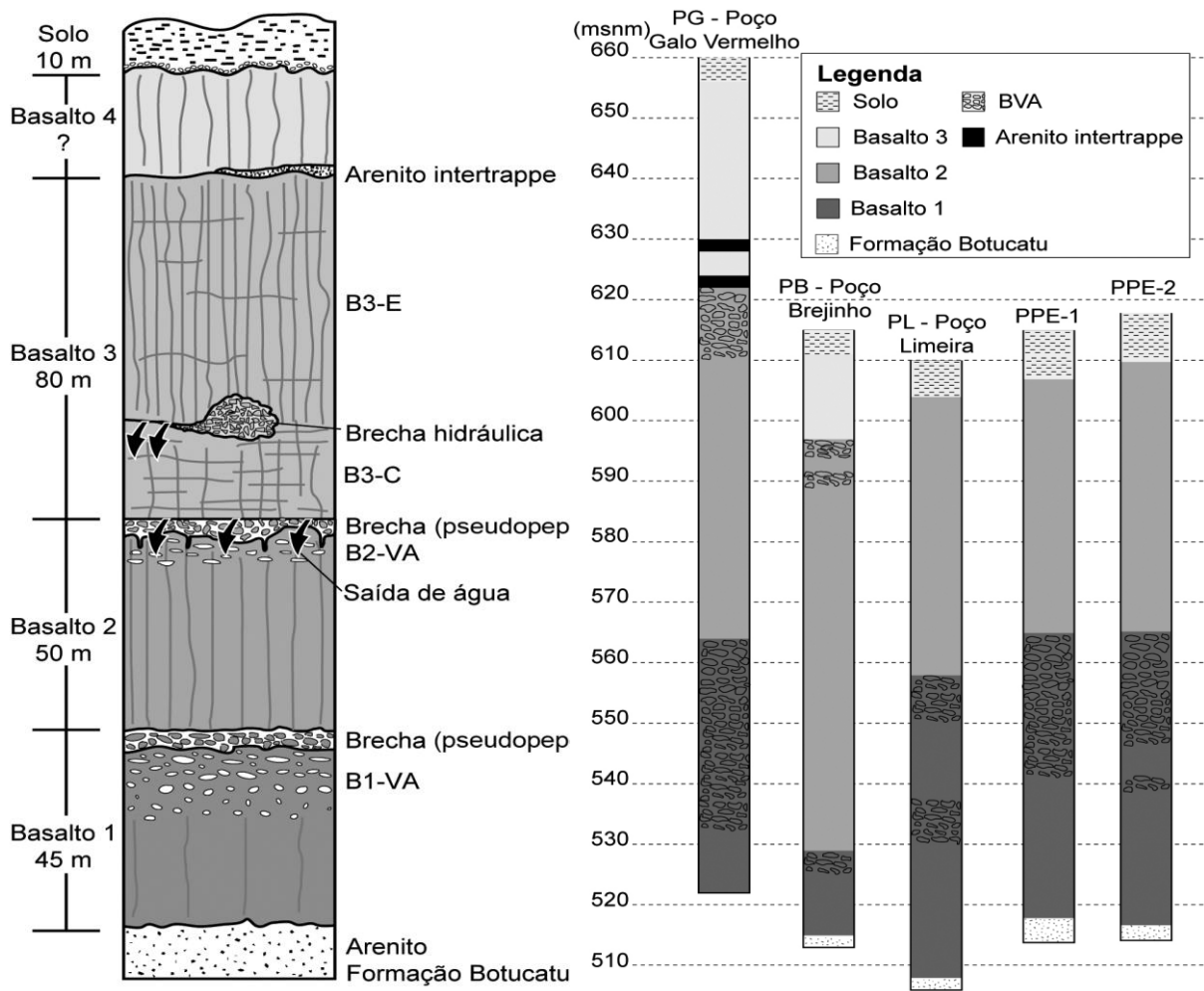
Com base na análise de afloramentos existentes, bem como poços pilotos executados na região de Bonfim Paulista, coletas de amostras e análise petrográficas e petroquímicas, FERNANDES et. al (2010) relata que a formação Serra Geral em Ribeirão Preto é constituída por quatro diferentes derrames de basalto tal como descrito adiante:

- Basalto B1: Repousa diretamente sobre o paleo relevo de duna da Formação Botucatu, com espessura média de 45m, denso, fanerítica e de granulação fina e sem colunas de resfriamento. Em sua porção superior encontra-se nível vesicular amigdaloidal bastante espesso com presença de geodos dessimétricos a métricos preenchidos por quartzo (B1-VA). Apresenta tendência de diminuição de espessura de NE para SW.
- Basalto B2: Assente sobre o Derrame B1, com espessuras entre 45 e 70m, denso, textura porfirítica ao microscópio, granulação fina a muito fina. Neste horizonte são observadas porções de colunas de resfriamento irregulares de diâmetro dessimétrico e porções sem colunas de resfriamento. Em sua porção superior podem ser encontrados 2 níveis vesiculares amigdaloidais com presença de geodos preenchidos principalmente por carbonatos (B2-VA);
- Basalto B3: Assente sobre o Derrame B2, com textura afanítica, espessuras médias de 80m, e duas porções bem definidas. Porção inferior: denominada B3C, 20m de espessura, granulação muito fina, texturas intersertal e hialopilítica e colunas de resfriamento com até 160cm de diâmetro. Porção superior: denominada B3E, 60m de espessura, com colunas finas de resfriamento de cerca de 15cm de diâmetro. Entre estas duas porções podem ser observadas fraturas sub-horizontais, superfícies lisas e estriadas, e extensão da ordem de centenas de metros e eventual ocorrência de brechas dessimétricas e surgência de água;
- Basalto B4: Recobre os basaltos do derrame B3. Foi observado na região SE de Bonfim Paulista. Devido a sua ocorrência localizada e posição estratigráfica sujeita ao intemperismo, não é possível determinar sua espessura. Trata-se de basalto afanítico

a fanerítico muito com estrutura maciça. Exibe pequenas fraturas “em colher” e fraturas subverticais de espaçamento, em geral, dessimétrico ou métrico, em parte tectônicas. As colunas, quando presentes, exibem diâmetro entre 50 cm e 1 m.

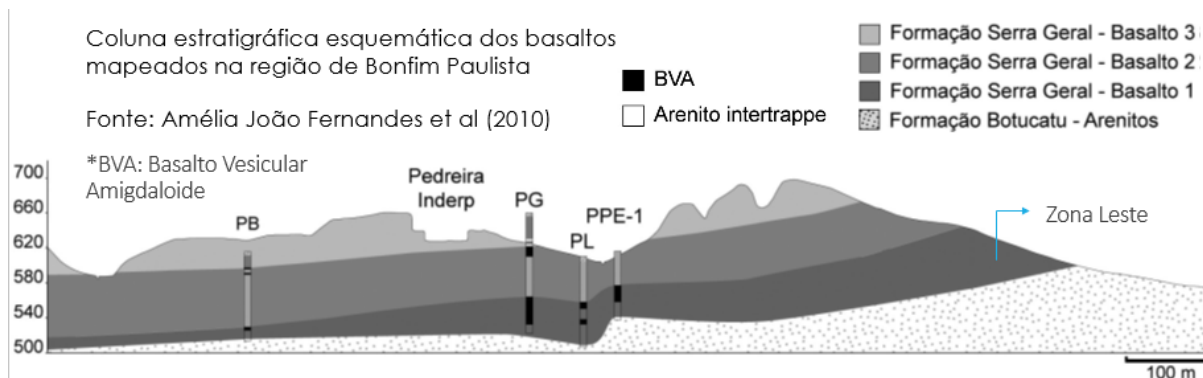
A Figura 10 apresenta coluna estratigráfica esquemática dos basaltos mapeados por FERNANDES et. al (2010):

Figura 11 - Coluna estratigráfica esquemática dos basaltos mapeados por Fernandes et. Al (2010).



A Figura 11 apresenta seção geológica proposta por FERNANDES et. al (2010) com orientação SW – NE paralela a Rodovia Antônio Machado Santana em que é possível verificar a variação das espessuras da Formação Serra Geral devido ao relevo de dunas.

Figura 12 - Seção Geológica SW-NE (paralela a Rod. Antônio Machado Santana) na região de Ribeirão Preto.



Em prosseguimento ao estudo geológico apresentado, FERNANDES et. al (2011), reavaliou o modelo hidrogeológicos subterrâneo de Ribeirão Preto, com o intuito de verificar a ocorrência de recarga do Aquífero Botucatu através das fraturas dos Basaltos mapeados para a Formação Serra Geral neste município.

Os métodos utilizados no estudo de FERNANDES et. al (2011) envolveram desde mapeamento geológico de detalhe e estudo das estruturas tectônicas rúpteis, até ensaios hidráulicos e estudos hidroquímicos e isotópicos.

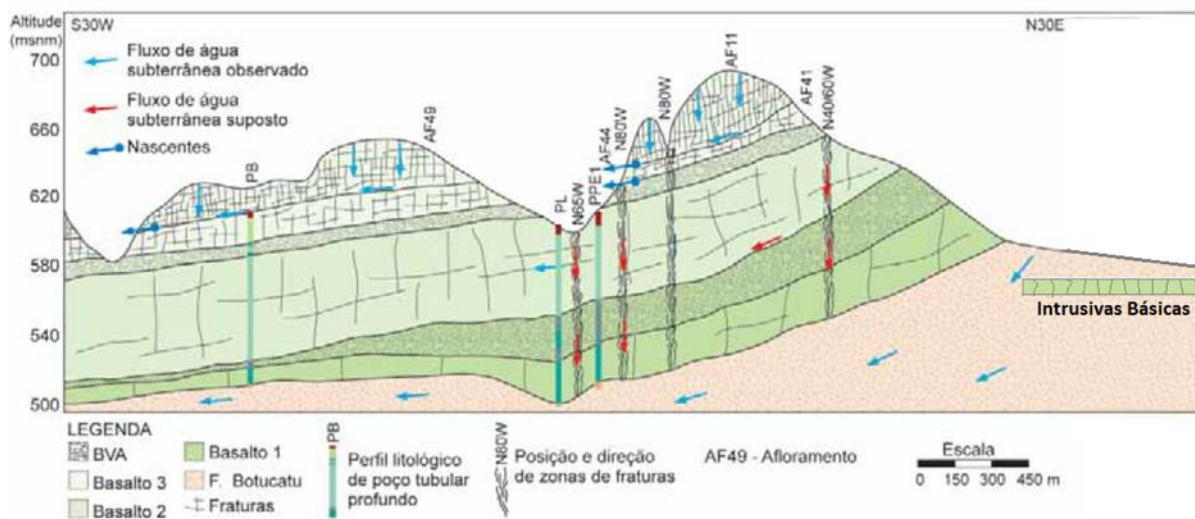
Em FERNANDES et. al (2011), concluiu-se que o fluxo vertical de água subterrânea é importante até a profundidade de 10 m e, secundariamente, até 25 m. O fluxo horizontal, mais importante até a profundidade de 50 m, ocorre ao longo de fraturas preferencialmente localizadas nos contatos entre os basaltos B2 e B3 ou próximas a estes. Assim sendo, sugere-se que a recarga do Sistema Aquífero Guarani através do Aquitardo Serra Geral é dificultada pela não propagação de fraturas nos níveis vesiculares dos basaltos, presentes nos contatos entre derrames, que funcionariam como uma barreira hidráulica de caráter regional.

Segundo FERNANDES et al (2011), a circulação de água subterrânea nos basaltos é do tipo limitada por estratos (stratabound), ou seja, muito mais intensa paralelamente aos derrames do que transversalmente a eles. A Figura 12 apresenta a adaptação do modelo hidrológico conceitual proposto por FERNANDES et. al (2011) com a inclusão das soleiras básicas junto a Zona Leste do município de Ribeirão Preto.

Diante do contexto apresentado considera-se que as áreas de ocorrência de derrames de basalto com espessura inferior a 10m ou mesmo com ocorrência de soleiras básica (com intenso faturamento vertical típico) são consideradas área de fluxo subterrâneo vertical intenso e com potencial para recarga do aquífero Botucatu.

Nesta situação faz-se necessário o uso de ferramentas de classificação do potencial de recarga, bem como da qualidade da água infiltrada com vistas de orientar as políticas públicas de proteção de mananciais e de área de recarga junto a Zona Leste.

Figura 13 - Adaptação do modelo hidrológico conceitual proposto por FERNANDES et. al (2011).



2.3 Classificação do Potencial de Recarga de Aquífero

Para a classificação do potencial de recarga do aquífero Botucatu na Zona Leste de Ribeirão Preto, utilizou-se a proposta desenvolvida por VASCONCELOS (2013).

VASCONCELOS (2013) apresentou-se um método estruturado para o diagnóstico ambiental expedito visando à segurança da recarga de aquíferos. Este método constitui-se de avaliações qualitativas e quantitativas por meio de descrições textuais e cartográficas, complementadas por planilhas ponderadas para análise rápida.

A metodologia apresentada tem como foco a delimitação e a caracterização de uma área com maior favorabilidade de recarga dos aquíferos, a ser priorizada para uma melhor conservação do solo e da água por meio dos instrumentos das políticas de meio ambiente e de recursos hídricos.

As Tabelas 1 e 2 apresentam os fatores de ponderação propostos pelo autor para devida classificação do potencial de recarga em termos de volume e de qualidade dos aquíferos analisados.

Tabela 1 - Ficha de Diagnóstico Ambiental Expedido para Recarga de Aquíferos (Quantidade).

Atributo					Índice	
POTENCIALIDADE DE RECARGA (QUANTIDADE DE ÁGUA)	Vegetação na área de recarga (infiltração menos evapotranspiração)					
	Campo; Cerrado	Cerradão; Floresta; Decídua; Caatinga arbórea	Cultura permanente; Cultura temporária	Área desmatada; Floresta semidecídua; Caatinga	Mata ciliar; Vegetação higrófila ou hidrófila; Floresta ombrófila	
	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7	
	Declividade (infiltração)					
	Plano 0-3%	Suave- Ondulado 3-8%	Ondulado 8-20%	Forte- Ondulado 20-45%	Escarpado > 45%	
	2,5	1,5	1	0,5	0,25	
	Solos (drenagem)					
	Neossolos quartzarênicos (solos arenosos profundos)	Latossolos (solos profundos não arenosos)	Cambissolos (solos rasos); Solos de horizonte B textural (solos com camada argilosa) ou plíntico (enrijecida)	Neossolos lítolicos (solos muito rasos, com afloramentos rochosos)	Solos hidromórficos e aluviais	
	6	2,5	1	0,6	0,3	
	Rochas (potencial hídrico do aquífero)					
	Arenito (porosos profundos)	Acamamento detrito- laterítico (porosos rasos)	Karst	Basáltico	Fissurado	
	3	2,2	1,4	0,9	0,7	
	Tipologia de Recarga e Surgência					
	Sumidouros e ressurgência kárstica	Vereda; Dolinas	Nascente de contato litológico ou artesianas	Nascente de fratura	Nascente intermitente (independente do tipo)	
	1,5	1,3	1,2	0,8	0,4	
	Uso do Solo (compactação e impermeabilização)					
Vegetação nativa	Cultura permanente Cultura temporária	Pastagem	Solo exposto	Urbano; Industrial		
1,5	0,8	0,5	0,3	0,1		
Técnicas de conservação do solo e da água						
Barragens de captação de água da chuva	Terraceamento	Camalhões em curvas de nível	Plantio direto	Sem técnicas		
3	1,5	1,4	1,2	1		
TOTAL						

Tabela 2 - Ficha de Diagnóstico Ambiental Expedido para Recarga de Aquíferos (Qualidade).

Atributo					Índice	
PROTEÇÃO SOBRE A RECARGA (QUALIDADE DA ÁGUA)	Fontes de poluição					
	Esgoto não tratado	Esgoto tratado; Fossa negra; Lixão; Mineração (metais)	Fossa séptica; Aterro sanitário	Pocilga; Curral; Granja; Mineração (não-metais)	Pastagem; Plantação	
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	
	Distância da fonte de poluição à surgência (autodepuração subsuperficial e subterrânea)					
	Despejo direto	1-5 metros	6-25 metros	26-50 metros ou Poluição Difusa	> 50 metros	
	0,1	0,2	0,5	0,8	1	
	Posição topográfica da fonte de poluição em relação à surgência (Profundidade do nível freático)					
	Várzea	Fundo de vale (excetuada a várzea)	Encosta	Topo de elevação	Tabuleiro em altitude	
	0,2	0,4	1	4	10	
	Transmissão no solo (autodepuração subsuperficial)					
	Solos hidromórficos e aluviais	Neossolos litólicos (solos muito rasos, com afloramentos rochosos)	Neossolos quartzarênicos (solos arenosos profundos)	Cambissolos (solos rasos); Solos de horizonte B textural (solos com camada argilosa) ou plíntico (enrijecida)	Latossolos (solos profundos não arenosos)	
	0,1	0,3	0,5	1	3	
	Transmissão do aquífero (autodepuração subterrânea)					
	Kárstico (sumidouros e ressurgências)	Kárstico (dutos) Basáltico	Aluvial	Fraturado	Poroso	
	0,3	0,5	0,6	1	3	
	Processos Erosivos					
	Voçorocas	Ravinas	Sulcos	Laminar	Sem erosão	
	0,8	0,85	0,9	0,95	1	
	Assoreamento					
	Sedimentos não permitem a água aflorar	Mais de 50% da largura do leito com sedimentos aflorantes	Bancos de sedimento aflorando no leito	Sedimentos no fundo do leito	Sem assoreamento (menos de 5% do fundo do leito)	
	0,6	0,75	0,9	1	1,2	
	Vegetação no entorno da surgência (função tampão e filtragem biológica)					
	Sem vegetação, com solo impermeabilizado ou compactado	Sem vegetação, com solo permeável	Campo; Até 5 metros de floresta; Até 10 metros de cerrado	5-30 metros de florestas; > 10 metros de cerrado	> 30 metros de floresta	
0,25	0,5	0,75	1	1,5		
Técnicas de conservação do solo e da água						
Sem técnicas	Plantio direto	Camalhões em curvas de nível	Terraceamento	Barragens de captação de água da chuva		
1	1,3	1,7	2	3		
TOTAL						

Para aplicação do sistema de classificação proposto por VASCONCELOS (2013), fez-se necessário a complementação das informações anteriormente disponíveis nos mapas elaborados neste diagnóstico do município de Ribeirão Preto segundo as bases de dados abaixo apresentadas:

Tabela 3 - Critérios adicionais para elaboração de mapas de potencial de Recarga de Aquífero.

Critério de análise	Base de dados utilizada	Observações e Hipóteses complementares
Vegetação na área de recarga	KOTCHETKOFF-HENRIQUES (2013)	
Uso do Solo		Conforme mapa de uso e ocupação
Técnicas de conservação do solo e da água		Principal atividade agrícola: Cultivo de cana de açúcar por camalhões em curvas de nível
Fontes de poluição	Base de dados de áreas contaminadas disponibilizada pela CETESB (2019)	
Processos Erosivos		- Pouco significativa a inexistente devido à baixa erodibilidade do Latossolo Roxo superficial
Assoreamento		- Pouco significativa a inexistente devido à baixa erodibilidade do Latossolo Roxo superficial

Posteriormente à definição da influência dos temas, e também dos pesos associados as suas classes que foram mantidos os mesmos do material de referência anterior para mantermos a coerência de avaliação e possibilidade de comparação com a inserção destes novos estudos técnicos e temas, foi realizada então a sobreposição das informações através da análise espacial. A fórmula utilizada consiste na somatória da influência do tema multiplicada pelo peso das classes, gerando como produtos síntese o Mapa de Fragilidade Potencial Qualitativa e Mapa de Fragilidade Potencial Quantitativa do município de Ribeirão Preto, ilustrados a seguir:

Figura 14 - Mapa de Fragilidade Potencial Qualitativo - Segurança.

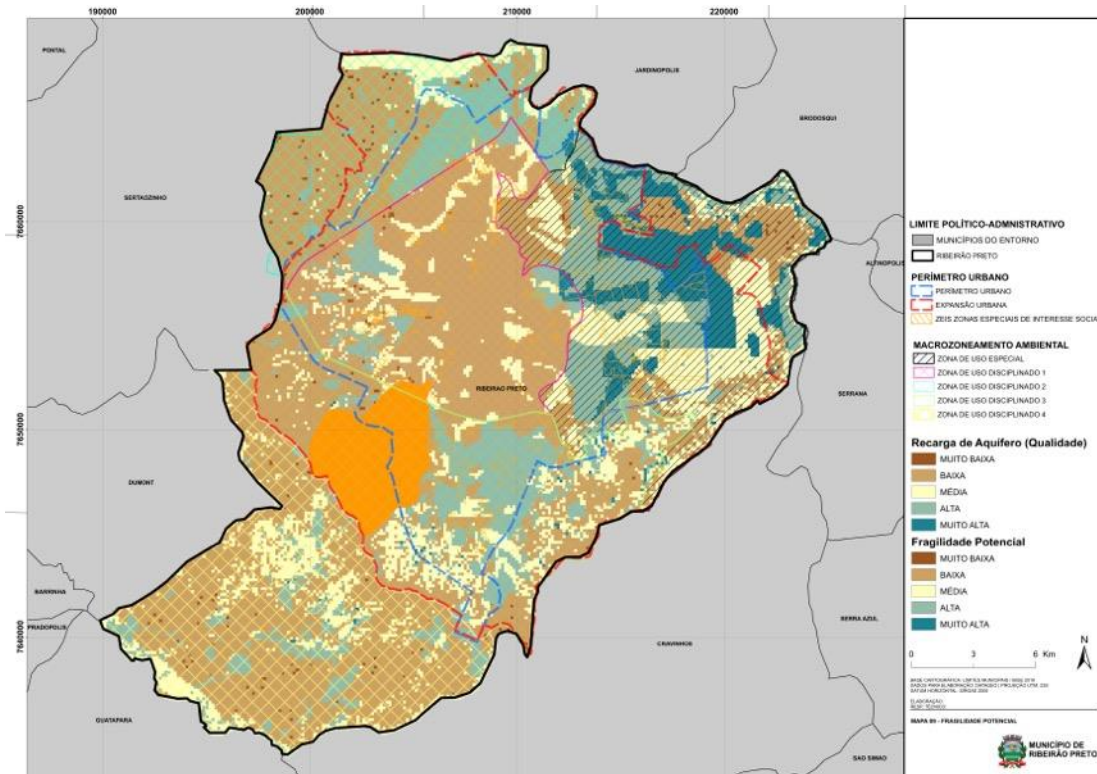
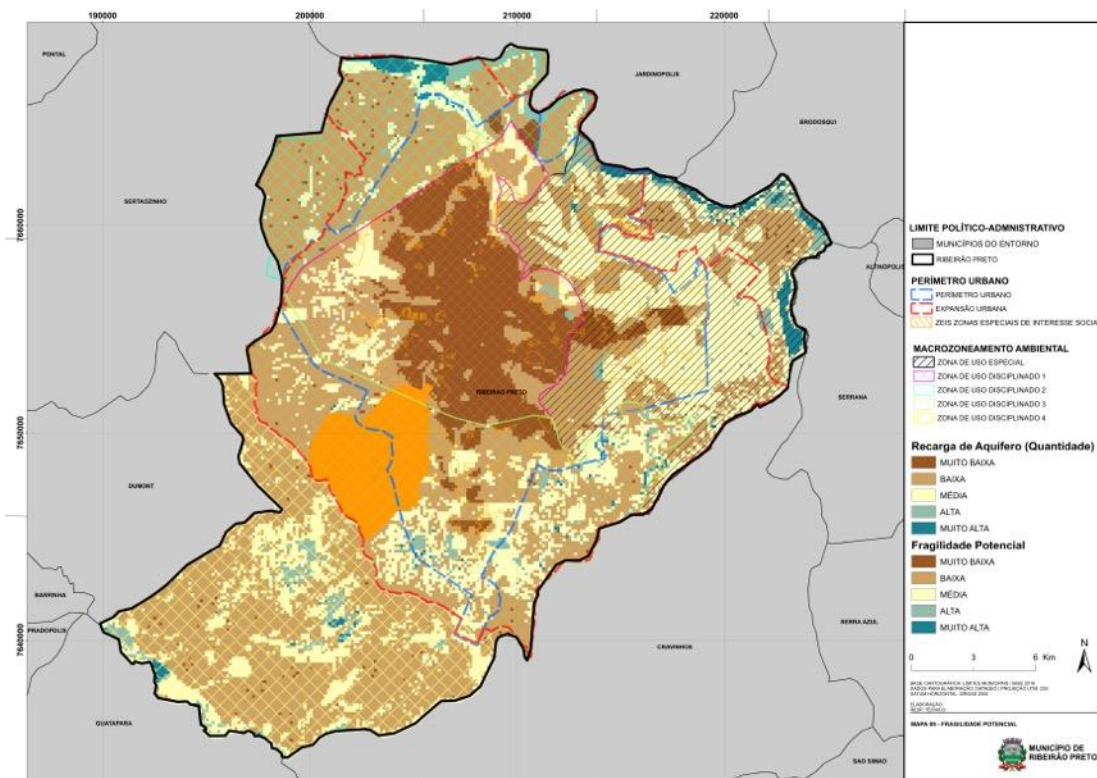


Figura 15 - Mapa de Fragilidade Potencial Quantitativo.



A diferença entre o Mapa Qualitativo e para o Mapa Quantitativo ocorre em virtude de que o Potencial de recarga foi dividido em fatores que afetam a quantidade de infiltração e recarga, enquanto outros fatores influenciam na Segurança de infiltração e recarga.

Algumas características do Mapa de fragilidade gerado anteriormente não estavam contempladas neste método proposto, como por exemplo alguns tipos de solo (gleissolos ou háplicos), então foram adicionados para adaptar à condição real dos dados obtidos dos bancos de dados disponibilizados, visto que se trata de método que permite a inclusão e/ou exclusão de atributos e fatores.

Nesta análise não foi aplicada o critério “Distancia da Fonte de Poluição”. Todavia, optou-se por manter esse critério no método apresentado, por poder ser útil em trabalhos futuros e seus critérios de ponderação estarem bem fundamentados pela literatura consultada. Sem embargo, a possibilidade de inclusão ou exclusão de critérios é uma das características que traz flexibilidade a esta metodologia. A exclusão ou inclusão de critérios poderá ser indicada pelo órgão licenciador municipal no processo de licenciamento, de acordo com a atividade a ser desenvolvida em cada local.

2.4 Potencialidades e Limitações

Uma das restrições de aplicação se refere à escala de detalhe disponível dos dados básicos e disponíveis necessários à delimitação e caracterização da área de favorabilidade de recarga do aquífero.

Reconhece-se que a metodologia proposta para instrumentos de ação local não pretende prescindir ou, mais ainda, competir com a qualidade da avaliação de campo de um hidrogeólogo experiente.

Uma análise mais detalhada tecnicamente poderia adaptar o peso de cada atributo à especificidade dos processos hidrogeológicos locais, mas entende-se que este nível de detalhamento pode ser solicitado caso a caso, e gerado conforme o interesse dos proprietários de terras para sua utilização econômica.

Inferências locais sobre sobre gradientes hidráulicos prováveis, requerem uma expertise considerável, mas trariam uma consistência muito maior quanto à delimitação e caracterização de zonas de recarga de descarga de aquíferos. O conhecimento sobre permeabilidade e transmissividade nos solos e nas rochas portadoras de aquíferos também pode revelar elementos importantes de análise, os quais são desconsiderados ou simplificados pela metodologia de ponderação.

O mesmo se ressalva em relação a fatores não considerados na lista de atributos, tais como interconexão de aquíferos, infiltração para aquíferos profundos e recarga artificial (a exemplo, por irrigação), que também podem ser detalhados e avaliados caso a caso em escalas menores.

Ainda no que se refere aos fatores não considerados, o modelo de diagnóstico para proteção de recarga apresenta um índice geral que não incorpora o volume e a constância do despejo dos poluentes, bem como seu comportamento hidrogeológico, a toxicidade e a meia vida de elementos bioquímicos específicos. Este diagnóstico pretende tratar da vulnerabilidade intrínseca (potencial) de uma localidade, mais que de sua vulnerabilidade específica (a certas fontes de contaminação), por serem fatores pontuais.

3 CONCLUSÕES

A utilização de métodos factíveis e já utilizados, aplicados aos instrumentos de gestão ambiental e de recursos hídricos deve ter em conta as limitações de tempo, recursos humanos, fontes de informação e possibilidades legais inerentes a seus respectivos contextos de aplicação. A escolha da metodologia proposta neste estudo procuraram justamente adequar-se a essas possibilidades de atuação, gerando, à partir da atualização do Mapa Geológico do município de Ribeirão Preto, um cenário composto por diversos fatores ambientais, onde seu potencial de fragilidade subsidia a tomada de decisão sobre o uso e ocupação do solo para situações diversas de acordo com especificidades da área.

O método proposto evidenciou as diferenças, apresentando um produto consistente para caracterização dessas áreas. Os resultados podem ser utilizados para recomendações da técnica de conservação do solo e da água, seja no contexto de planejamento ambiental microrregional, seja na seleção de sítios para a aplicação de políticas públicas com melhor custo-benefício para o equilíbrio hídrico deste contexto.

O perímetro de bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental, muito utilizada em diversas situações, não caberia nestes casos onde a prioridade é a conservação e preservação de aquíferos, visto que em uma mesma bacia e até nos perímetros de microbacias, há heterogeneidade de solo e geologia.

A metodologia apresenta a flexibilidade suficiente para incorporar análises mais complexas, ou mesmo adaptações para contextos específicos ou com restrição de acesso a dados e informações. De acordo com os resultados obtidos, é possível constatar os locais com maior capacidade de infiltração e também onde há maior qualidade de infiltração. Ao ilustrar a fragilidade potencial de cada local, poderão ser sugeridos cenários de ocupação

urbana, definir os usos permitidos, sugerir estudos complementares específicos e medidas mitigadoras necessárias para seu desenvolvimento nas áreas urbanas e de expansão durante os processos de licenciamento.

De acordo com o resultado da fragilidade potencial qualitativa e quantitativa, as classes Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta, poderão ser tratadas de forma diferenciada, cabendo à análise dos órgãos competentes exigir, quando necessário, novos levantamentos, monitoramentos, estudos e investigações nas áreas de cada empreendimento e atividade proposta. O presente estudo fornece ao município de Ribeirão Preto a possibilidade de criação de cenários de uso e ocupação de forma mais justa e sustentável.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VASCONCELOS, Vitor Vieira; MARTINS JUNIOR, Paulo Pereira; HADAD, Renato Moreira. Metodologia para diagnóstico rápido de áreas de recarga de aquíferos. **Geologia USP, Série científica**, São Paulo, v. 13, n. 2, jun. 2013 .

FERNANDES, A. J.; MALDANER, C. H.; SOBRINHO, J. M. A.; PRESSINOTTI, M. M. N.; WAHNFRIED, I. Estratigrafia dos Derrames de Basaltos da Formação Serra Geral (Ribeirão Preto - SP) Baseada na Geologia Física, Petrografia e Geoquímica. *Geologia USP. Série Científica*, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 73-99, 2010.

FERNANDES, A. J.; MALDANER, C. H.; ROULEAU, A.. Análise das Fraturas nos Basaltos de Ribeirão Preto, SP: Aplicação à Elaboração de Modelo Hidrogeológico Conceitual. *Geologia USP. Série Científica*, São Paulo, v. 11, n. 3, p. 43-64, 2011.

KOTCHETKOFF-HENRIQUES, O. Caracterização da vegetação natural em Ribeirão Preto – SP. Faculdade De Filosofia Ciências E Letras De Ribeirão Preto USP . Tese de doutorado , Ribeirão Preto, 221p. 2