

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

ANÁLISE ESTRUTURAL PARA ESTIMATIVA DE POTENCIAL EM AQUIFERO
FRATURADO NO MUNICÍPIO DE LOUVEIRA - SP

Júlio Chinelatto Bossi

Orientador: Prof. Dr. César Augusto Moreira

Rio Claro (SP)

2016

551.49 Bossi, Júlio Chinelatto
B745a Análise estrutural para estimativa de potencial em
aquífero fraturado no município de Louveira-SP / Júlio
Chinelatto Bossi. - Rio Claro, 2016
71 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, fots., mapas, plant.

Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Universidade
Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: César Augusto Moreira

1. Águas subterrâneas. 2. Hidrogeologia. 3. Aquífero. 4.
Cristalino. I. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

JULIO CHINELATTO BOSSI

ANÁLISE ESTRUTURAL PARA ESTIMATIVA DE POTENCIAL
EM AQUÍFERO FRATURADO NO MUNICÍPIO DE
LOUVEIRA-SP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Geólogo.

Rio Claro - SP

2016

JULIO CHINELATTO BOSSI

ANÁLISE ESTRUTURAL PARA ESTIMATIVA DE POTENCIAL
EM AQUÍFERO FRATURADO NO MUNICÍPIO DE
LOUVEIRA-SP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Geólogo.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. César Augusto Moreira (orientador)

Gr. Fernanda Teles Gomes Rosa

Me. Alex Joaquim Choupina Andrade Silva

Rio Claro, 02 de dezembro de 2016

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) orientador(a)

Dedico este trabalho as mulheres da minha vida, Aparecida Chinelatto Bossi, Giovanna Pessini, Helena Tesari, e a memória de minha avó Adenir Steck Bossi.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor César Augusto Moreira pela oportunidade de desenvolver esse trabalho, pela sua orientação e amizade.

Agradeço a meus queridos pais Maurício José Bossi e Aparecida Chinelatto Bossi, a meu irmão Frederico C. Bossi, pelo apoio, estímulo, carinho, paciência, todo o amor, experiência e sabedoria compartilhada.

Agradeço à Giovanna Pessini por seu companheirismo e apoio, durante a graduação e o desenvolvimento desse trabalho. Pelo seu amor.

Agradeço a Pedro A.F.Pessini e Jeanine Seixas pelo apoio, estímulo, auxílio e sabedoria compartilhada.


Aos funcionários do DGA/DPM pelas conversas e ajudas.

Aos meus amigos de república (Kraka-à-tôa), Nicholas Peixoto da S. Campos (Peché), José Eduardo da Silva Martins (Pantoja), Henrique Carneiro (Geregia), Pedro Augusto Leite (Pelanza).

Aos meus amigos de turma, de geologia e de Unesp.

A todos os funcionários da Unesp que tornam a vida aqui mais fácil para todos os alunos.

A todas as forças que conspiraram ao meu favor em mais essa etapa, eterna gratidão.

Para aqueles que conquistaram seus objetivos terrenos, o eterno abismo. Para aqueles que nunca terminarão sua obra, o céu. Aos eleitos na sabedoria, aos adeptos do conhecimento o ciclo nunca cessará, ao eterno aprendizado..: 

Per Scientiam ad Lux Ferre

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo da viabilidade de exploração das águas subterrâneas em aquíferos cristalinos de idade Arqueana- Proterozóico e em granitóides Neoproterozóicos, que juntos compõem o embasamento geológico da Faixa Ribeira Central abrangendo a porção sudeste do estado de São Paulo, sendo o estudo realizado especificamente no município de Louveira – SP. O método aplicado consiste na definição do potencial hídrico, obtido a partir de levantamentos estruturais, das principais feições que compõem os maciços, tanto na escala local como macro, destacando as grandes falhas e zonas de cisalhamento tectônicas regionais reativadas ou não, as quais contribuem para a delimitação de domínios geomorfológicos e fluxo das águas subterrâneas, juntamente de dados da perfuração de poços cadastrados em órgãos responsáveis e ou visitados em propriedades privadas. Dados como vazão, famílias de fraturas, profundidade, histórico, localização e uso, caracterizaram a natureza das informações adquiridas. O tratamento dos dados foi realizado pela análise de imagens de satélite, análise estrutural, geomorfológica e geológica, de acordo com a organização e distribuição dos dados. Todos os dados foram cruzados, associados as estruturas e interpretados com base nos conhecimentos levantados em trabalhos de mesma natureza. Os resultados se mostraram promissores para uma futura exploração dos aquíferos subterrâneos no município, pela definição de um padrão estrutural fortemente associado a qualidade da vazão dos poços, o que permite a definição de alvos para perfuração com ótimos resultados. Os resultados obtidos demonstraram que os diferentes litotipos e o grau de intemperismo estão diretamente associados a qualidade de vazão, sendo o xisto o mais eficiente, pelo elevado grau de intemperismo presente, porém, somente as famílias com orientação NE e caimento para NW apresentaram os maiores índices de vazão variando entre 17 m³/h e 25 m³/h, enquanto que as demais famílias não apresentaram resultados satisfatórios, com vazão adequada somente para o abastecimento local e residencial. Porém as famílias NW-SE e sub-horizontais NE-SW e NW-SE, além do sistema de falhas EW, desempenham o importante papel de contribuir com o abastecimento do sistema de fraturas NE. Estruturas de deformação como xistosidade não apresentaram relação na contribuição. O modelo hidrogeológico de riacho-fenda pode ser aplicado a região, onde a xistosidade e estruturas de deformação delimitam somente a orientação de córregos e rios, mas os únicos com vazão adequada para a contribuição no abastecimento, são os rios e córregos associados a orientação de fraturas.

PALAVRAS-CHAVE – águas subterrâneas, aquífero fraturado, vazão, potencial hídrico, abastecimento público .

ABSTRACT

This work presents a study of the feasibility on exploitation of groundwater in crystalline aquifers of old Archean-Proterozoic and Neoproterozoic granitoid, which together make up the geological foundation of the Central Ribeira Belt covering the southeast portion of the state of São Paulo, the study was carried out in the city of Louveira - SP. The applied method consists in the definition of water potential, obtained from geological structures, from the main features that make up the rocks, both locally as well as macro, highlighting the major faults and shear zones regional reactivated by tectonic or not, which contribute to the delimitation of geomorphic domains and groundwater flow, together data from drilling wells registered in responsible and or visited on private properties. Data such as flow, depth, fracture families, history, location and use, characterized the nature of the information acquired. All data were cross-referenced, associated with structures and interpreted based on the knowledge gathered in similar works. The results were promising for a future exploration of underground aquifers in the municipality, by defining a structural pattern strongly associated with good discharge quality, which allows the definition of targets for drilling with optimal results. The results showed that the different lithotypes and the degree of imemperism are directly associated to the flow quality, with the shale being the most efficient, due to the high degree of weathering present, but only the families with NE orientation and NW trim presented the highest flow rates, varying between 17m³/hour and 25m³/hour, while the other families did not present satisfactory results, with adequate flow only for the local and residential supply. However, NW-SE and sub-horizontal NE-SW and NW-SE families, in addition to the EW fault system, play the important role on counteracting the supply of the NE fracture system. Structures of deformation such as schistosity had no relation n the contribution. The hydrogeological slit stream model can be applied to the region, where the schist and deformation structures only delimit the orientation of streams and rivers, but the only ones with suitable flow for the contribution in the supply, are the rivers and streams associated with orientation of fractures.

KEYWORDS – groundwater, fractured aquifer, water public supply, feasibility study, leaf water potential.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVO.....	11
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
3.1 Ferramentas e softwares.....	12
3.1.1 Levantamento de dados pré-campo.....	12
3.1.2 Análise de imagens de satélite.....	12
3.1.3 Coleta de dados em campo.....	13
3.1.4 Softwares para análise de dados.....	14
3.2 Processamento de dados.....	14
3.2.1 Análise dos dados estruturais.....	14
3.2.2 Integração dos dados.....	14
4. ÁREA DE ESTUDO.....	15
5. GEOLOGIA REGIONAL.....	21
5.1 Província Mantiqueira.....	21
5.1.2 O Orógeno Ribeira.....	22
5.1.3 Embasamento Paleoproterozóico e Arqueano.....	25
5.1.4 Terreno Embu.....	26
5.1.5 Suíte Morungaba.....	28
6. HIDROGEOLOGIA.....	31
7. GEOLOGIA ESTRUTURAL.....	38
7.1 Contexto tectônico e estrutural.....	38
7.2 Apresentação e análise dos dados estruturais.....	40
7.3 Descontinuidades.....	49
8. DISCUSSÕES E CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS.....	64
ANEXO 1 – TABELA DE POÇOS CADASTRADOS CPRM.....	69
APÊNDICE 1 – DADOS DOS AFLORAMENTOS.....	70

1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade de recursos hídricos é algo que requer uma atenção cada vez maior por parte do gerenciamento público, diante do aumento da demanda e de uma oferta cada vez mais restrita em termos de qualidade, acessibilidade e vazões proporcionadas por recursos hídricos superficiais. A matriz energética brasileira é historicamente baseada na geração de eletricidade em desníveis proporcionados por barragens, que dentre muitos outros objetivos, também representam um recurso disponível ao abastecimento público segundo o relatório do Ministério de Minas e Energia, (MME, 2013).

Num contexto de longos períodos de estiagem, como no caso atual na região sudeste do Brasil, é natural o surgimento de um impasse acerca das necessidades energéticas e de abastecimento público. Em outra vertente, é ainda incipiente a adoção de medidas que visem mitigar questões como o desperdício em vazamentos nas redes de distribuição, ligações clandestinas ou o reuso de águas provenientes do tratamento de esgoto em atividades específicas. Este conjunto de fatores indica um cenário de racionamento energético e de abastecimento público. O recurso hídrico subterrâneo é sempre uma alternativa considerada em muitos casos, preferencialmente em municípios onde a disponibilidade do recurso superficial é escassa ou ocorre de forma complementar a captação superficial (BALEK, 1989). Particularmente relevante em termos econômicos, à captação subterrânea é um recurso bastante explorado pelas atividades industriais e pelas comunidades localizadas a grandes distâncias dos sistemas de distribuições de água (ELGZELI et al, 2013; HISCOCK, 2009).

Em regiões úmidas que se caracterizam por uma relativa abundância de água, quase sempre se dispensou o uso da água subterrânea das rochas cristalinas. Nos últimos 20 anos, porém, ocorreram grandes processos na hidrogeologia do cristalino de regiões temperadas por conta do crescimento da demanda em muitas áreas e devido ao aprimoramento da tecnologia de perfuração, que tornou bastante fácil e pouco onerosa a construção de poços de pequeno diâmetro para captação de água em rochas cristalinas (KARRENBERG, 1981; KRÁSNY, 1990), principalmente para pequenos abastecimentos. Nas zonas úmidas, uma das características mais importantes da água subterrânea reside na possibilidade de seu uso para os mais diversos fins, já que a qualidade físico-química costuma ser excelente.

Do ponto de vista da ocorrência da água subterrânea, por conta da pluviosidade mais abundante e da sua melhor distribuição no tempo, o domínio das rochas cristalinas é geralmente recoberto por um manto de intemperismo ou cobertura eluvial. No sudeste do Brasil, a espessura média da cobertura eluvial é da ordem de 40m, com um valor mediano de 30m (Manoel Filho,

1996). Esse manto e a zona fissurada subjacente, formam o que se pode denominar de um sistema livre, cujo nível de saturação ora se encontra no elúvio, ora no meio fissurado subjacente. Esse nível costuma ser pouco profundo e sua recarga é assegurada pelos excessos de água de chuva.

Aquíferos cristalinos fraturados representam muitas vezes o último recurso a ser explorado no abastecimento dos municípios, limitados por suas fronteiras e recursos, o que exige um estudo mais profundo da complexidade dos mesmos de forma a ser possível extrair o máximo potencial de captação e abastecimento, como este caso que será desenvolvido neste trabalho.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é realizar um mapeamento detalhado das estruturas contidas no embasamento cristalino, responsáveis pelo armazenamento e fluxo das águas em subsuperfície, aliado a dados de produção de poços profundos, para compreensão da complexidade e do comportamento dos aquíferos na região do município de Louveira-SP, para um planejamento sustentável destinado a exploração e ao abastecimento público.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos adotados na aquisição dos dados foram estruturados de forma a se adotar uma lógica na organização das informações, permitindo uma interpretação constante e gradativa dos dados a cada nova coleta além da complementação dos resultados.

3.1 Ferramentas e softwares

Técnicas e ferramentas utilizadas na coleta e uso de dados.

3.1.1 Levantamento de dados pré-campo

Se fez necessário o levantamento e a interpretação de dados pré campo para a definição dos alvos a serem estudados posteriormente em atividades de coleta de informações locais, os métodos empregados consistem inicialmente na aquisição de dados de poços cadastrados na base de dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), para o município de Louveira – SP, a tabela (Anexo 1) contém toda uma gama de informações, porém as utilizadas foram as coordenadas utm, cota, vazão, tipo de poço e geologia, juntamente do mapa geológico do Estado de São Paulo em escala 1:750000 em formato (.kml), ambos a tabela de poços e o mapa podem ser acessados através banco de dados GEOBANK no mesmo domínio da internet, cujo endereço encontra-se nas referências bibliográficas.

Um terceiro arquivo (.kml) extraído do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) contendo a delimitação político-administrativa dos municípios do Estado de São Paulo foi adquirido com a finalidade de delimitar a área de estudo, o link de acesso encontra-se nas referências bibliográficas.

3.1.2 Análise de imagens de satélite

Um arquivo (.kml) contendo o mapa geológico do Estado de São Paulo, juntamente das coordenadas de poços e o arquivo de delimitação político-administrativa dos municípios, foram aplicados no software Google Earth, o conjunto de informações dos pontos correspondentes aos poços juntamente da geologia, formam a base para as interpretações preliminares.

O software Google Earth foi conFIGurado com sobrelevação de três vezes permitindo uma melhor visualização da geomorfologia, para a extração de possíveis lineamentos

estruturais regionais e locais, sendo os mesmos traçados no próprio programa através das ferramentas disponíveis. Um cuidadoso mapeamento de estruturas de lineamento foi realizado para uma integração inicial com os dados de vazão dos poços e visualização do padrão de distribuição e orientação das estruturas.

Pontos preferenciais para a busca de afloramentos foram demarcados para posterior investigação durante a fase de campo.

3.1.3 Coleta de dados em campo

A coleta dos dados em campo foi realizada de forma a cobrir a maior área possível de acordo com disponibilidade de afloramentos em cada região.

Os dados estruturais de falhas e fraturas foram coletados com uma bússola modelo clar e registrados em caderneta, as coordenadas de cada ponto foram registradas em um gps Garmin Navi, em *datum WGS 84* para posterior registro no software Google Earth.

Em cada afloramento de acordo com a disponibilidade de informações disponíveis foram coletados os dados a seguir. O levantamento dos dados estruturais de cada afloramento encontra-se disponível no (Apêndice 1).

- Medidas estruturais das famílias de fraturas e falhas.
- Litotipo predominante.
- Foliações/Lineações caso presentes
- Espaçamento entre as famílias de fraturas.
- Tipo de preenchimento.
- Coordenadas geográficas do ponto.
- Espessura da cobertura de solo ou capa de intemperismo.
- Estado de alteração do afloramento.
- Nível aflorante da água.

3.1.4 Softwares para análise de dados

O software freeware OpenStereo foi utilizado para a interpretação dos dados estruturais, formulação de estereogramas, rosetas e histogramas, o mesmo encontra-se disponível gratuitamente em um domínio na internet, o link está nas referências bibliográficas.

O software freeware Google Earth foi também utilizado no cruzamento final dos dados para interpretação dos resultados e conclusão, disponível de forma gratuita em um domínio da internet, o link para download encontra-se disponível nas referências bibliográficas.

3.2 Processamento de dados

Métodos de desenvolvimento das técnicas analíticas e interpretativas.

3.2.1 Análise dos dados estruturais

Os dados estruturais foram separados em tabelas no formato .txt contendo as medidas obtidas, sendo uma tabela para cada afloramento, e uma tabela para a totalidade dos dados. Posteriormente os dados foram analisados no software OpenStereo, gerando estereogramas para a identificação das famílias preferenciais de fraturas, determinação do padrão estrutural local e para cada litotipo. Foi gerada uma roseta demonstrando a orientação preferencial dos lineamentos e sua distribuição por quadrante, e histogramas quantitativos para uma breve análise estatística.

3.2.2 Integração dos dados

Após todos os passos anteriores, todos os dados estruturais foram integrados as informações levantadas no software Google Earth e analisados juntamente com os dados da geologia regional em estudos similares, comparando-se os padrões de lineamentos regionais/locais, famílias preferências de falhas e fraturas e ao histórico de produtividade/vazão tanto de poços cadastrados, quanto levantados junto aos municípios, tudo isso com a finalidade de se criar associações entre as estruturas/litotipo e a produtividade nos poços levantados, delimitando as áreas mais adequadas para a locação de poços.

4. ÁREA DE ESTUDO

O município de Louveira (Figura 1) é um município brasileiro do estado de São Paulo. Localiza-se a uma latitude $23^{\circ}05'11''$ sul e a uma longitude $46^{\circ}57'02''$ oeste, estando a uma altitude de 690 metros. Sua população estimada em 2015 era de 43.862 habitantes, segundo disponibilizado em: (IBGE) – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pertence à Aglomeração Urbana de Jundiaí (AUJ), Possui uma área de 55,3 km².

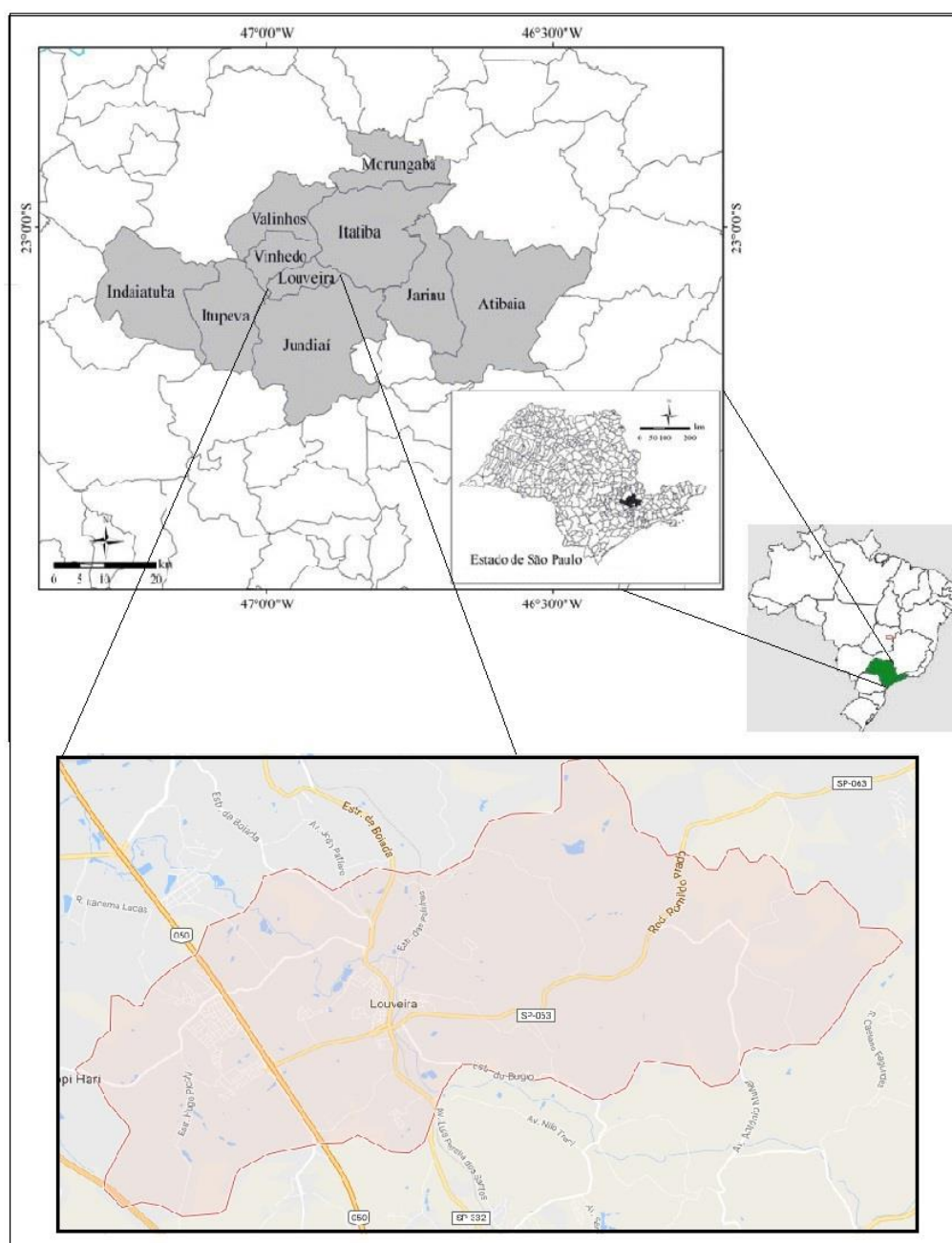


Figura 1: Localização do município de Louveira no Estado de São Paulo, Brasil.

Segundo REBOUÇAS et al. (1994), em 90% do território brasileiro, os rios nunca secam, indicando que a infiltração das chuvas que caem nestes domínios é vital. Caso contrário, diz-se que tem regime de fluxo temporário, ou seja, praticamente secam durante os meses do ano em que não chove na respectiva bacia hidrográfica. Esta é a situação nos rios do Nordeste semiárido do Brasil, cujas bacias hidrográficas foram esculpidas nos terrenos cristalinos subflorantes e praticamente, impermeáveis.

A mesma situação geológica, ocorre na região sudeste do Estado de São Paulo, onde prevalecem rochas cristalinas do embasamento arqueano e corpos graníticos proterozóicos em superfície e subsuperfície (Figura 2).

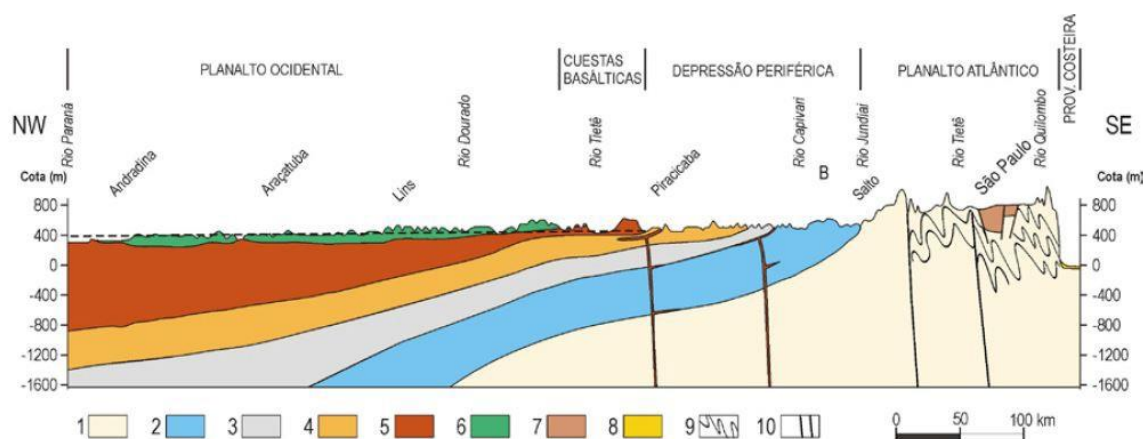


Figura 2: Perfil geológico A-B através da Bacia do Paraná, com indicação da seqüência estratigráfica das camadas, a partir de: (1) Embasamento Cristalino– rochas ígneas e metamórficas; (2) Grupo Tubarão – sedimentos glaciais e pós-glaciais; (3) Grupo Passa Dois – sedimentos marinhos; (4) Formações Pirambóia e Botucatu – arenitos fluviais a desérticos; (5) Formação Serra Geral – basaltos de inundação, e corpos intrusivos básicos; (6) Grupo Bauru – arenitos fluviais; (7) Sedimentos neogênicos; (8) Sedimentos marinhos; (9) Estruturas do embasamento; (10) Falhas. Fonte: (Modif. de Gov. Est. São Paulo. / Cons. Est. Rec. Hídricos 2005).

Alguns municípios distribuídos nestas áreas, apresentam condições satisfatórias de captação de águas superficiais em seus mananciais por apresentarem taxas de precipitação sem grandes variações de chuvas no decorrer do ano, como pode ser observado no exemplo da (Figura 3) para o município de Louveira – SP e os adjacentes.

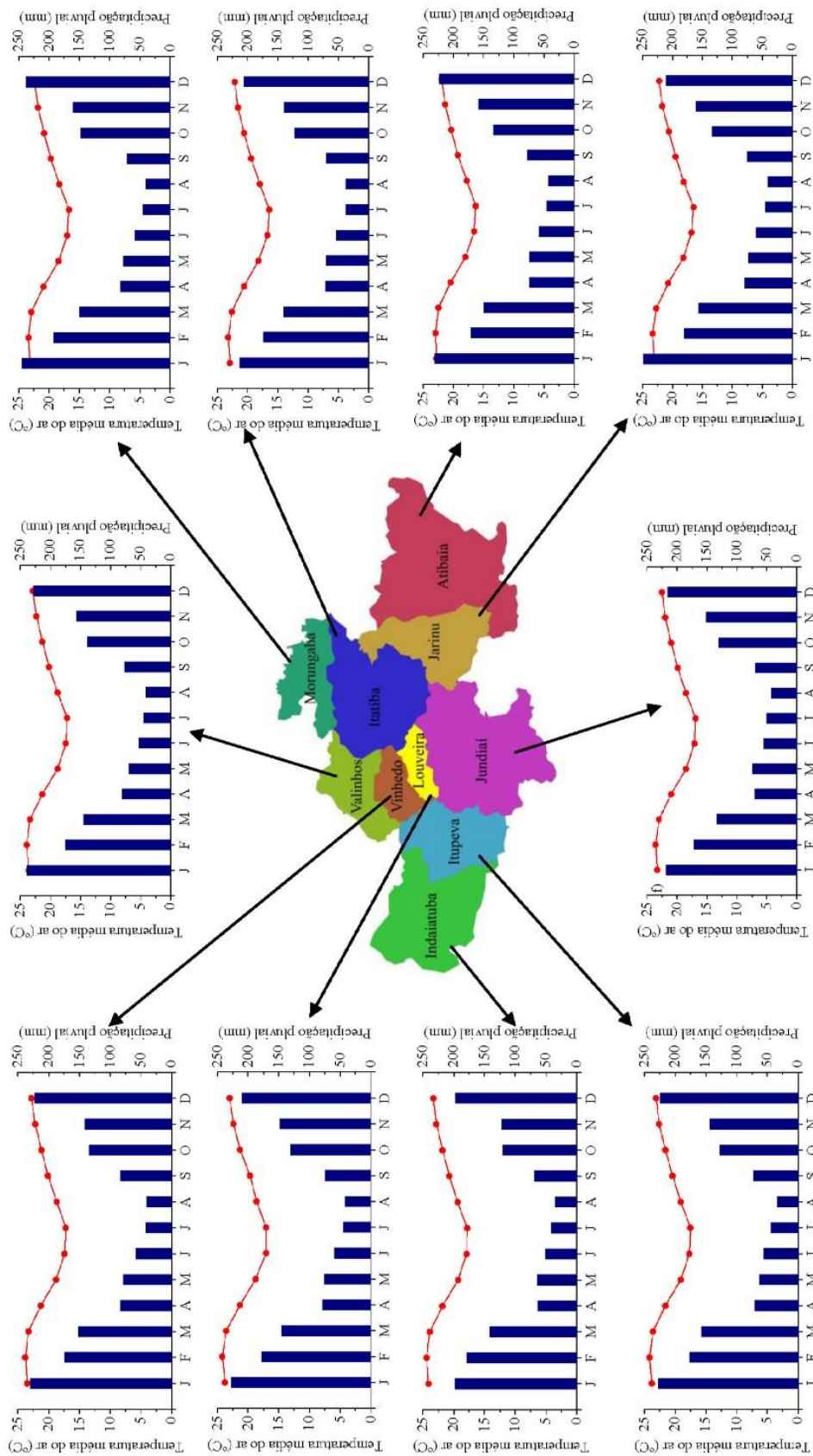


Figura 3: Variação mensal de precipitação pluvial (mm) e temperaturas médias do ar (°C) para os municípios componentes do Aglomerado Urbano de Jundiá (AUJ) Fonte: INPE (2013).

No entanto, caso ocorra uma situação de baixa precipitação, como a seca enfrentada pelo município nos anos de 2013/2014, as águas superficiais, distribuídas por córregos e rios locais secam e/ou reduzem a níveis críticos seu volume.

O município apresenta atualmente uma demanda por água que atingiu o limite do sistema hídrico responsável (Figura 5) pelo abastecimento de toda a população e indústria; situações como a seca vivenciada em 2013/2014, podem gerar níveis críticos para o abastecimento municipal.

Inicialmente medidas adotadas pelas sete cidades do Aglomerado Urbano de Jundiaí (AUJ) que se encontraram em Louveira, na manhã de sexta-feira (31 de novembro de 2014), como a instalação de novos pontos de captação, se mostra ineficiente em caso de seca prolongada, pois os mesmos pontos de captação secundários fazem parte do sistema de águas superficiais, interligados pelo lençol freático na região.

Além das complicações climáticas o município de Louveira, está sujeito ao crescimento populacional e à ocupação de novas áreas o que demanda novos recursos hídricos para o abastecimento adequado.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o crescimento populacional dos últimos 13 anos no município de Louveira mostra que a cidade cresceu mais que as demais localidades vizinhas (Figura 4). O município teve um crescimento populacional, em tese, exagerado nos últimos anos, pelo fato de ser naturalmente um polo logístico, situado no centro das principais rodovias que cortam o Estado e próximo de aeroportos de grande porte como o caso de Viracopos em Campinas-SP, futuramente o aeroporto de Jundiaí, e a linha férrea que será reativada. Assim, na procura de emprego muitos se mudaram para Louveira.

Do ano 2000 até 2013 o crescimento populacional de Louveira teve um aumento de 67,6%; isto coloca o município com a maior taxa de crescimento se comparado a municípios vizinhos como Vinhedo com 44,5% nesses 13 anos e Itatiba que teve metade do crescimento que Louveira. Segundo dados do (IBGE), Louveira já ultrapassa os 40 mil habitantes, conforme informações divulgadas na segunda-feira, 29 de agosto. Estima-se que a população de 41.700 louveirenses hoje, poderá chegar em 2020 aproximadamente nos 50 mil, tendo o maior crescimento da região, que no mesmo ano, ao contrário de Itatiba, poderá ter redução populacional.



Figura 4: Infográfico do crescimento populacional comparado entre Louveira e as cidades vizinhas, Fonte: (Folha de Notícias, 2013)

Estudos financiados pela Agência Nacional de Águas (ANA), juntamente do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), através dos Comitês de Bacias Regionais (PCJ), visam gerar planos de gerenciamento sustentável e recuperação para as bacias hidrográficas do Estado de São Paulo, além do constante monitoramento e levantamento de dados para a previsão das necessidades de consumo para cada município.

O município de Louveira segundo as análises realizadas, encontra-se em situação crítica, sendo necessária a busca por fontes alternativas de captação de água para seu abastecimento, fato este demonstrado pela (Figura 5), retirada da base de dados da Agência Nacional de Águas (ANA).

Porém, como já demonstrado, para casos de condições críticas são necessários o estudo e a busca por recursos hídricos em profundidade, gerando o conhecimento para embasar e viabilizar futuras explorações de maneira sustentável, fato este de importância estratégica para o município e seu gerenciamento a médio–longo prazo.

LOUVEIRA - SP					
Dados do Município					
Pop Urbana (2007):	27.222 habitantes	Demanda Urbana (Cenário 2015):	86 L/s		
Prestador de Serviços:	DAE - Louveira	Situação do Abastecimento (2015):	Requer novo manancial		
Sub-bacia Hidrográfica:	PIRACICABA/CAPIVARI/JUNDIAÍ	Investimento Total em Água (2025):	1 milhão		
ver Croqui Sistemas Existentes:		ver Croquis Sistemas Propostos:			
Avaliação Oferta/Demanda de Água					
Mananciais	Sistema	Participação no abastecimento do município	Situação (até 2015)	Outros Municípios atendidos	
Córrego Feta - Represa	Isolado Louveira	100 %	Requer novo manancial	---	
Soluções Propostas para Oferta de Água					
Mananciais	Sistema	R\$ mil (jul 2010)	Natureza das Obras	Observações	Outros Municípios atendidos
Rio Capivari	Ampliação Isolado Louveira	1.423	Implantação de novo sistema com captação em manancial superficial	1: Manancial atualmente explorado não atende à demanda futura, exigindo o aproveitamento de novo manancial 2: ---	---

Figura 5: Tabela atualizada do banco de dados da (ANA) contendo a atual situação de captação e abastecimento no município de Louveira – SP (ANA, 2015).

Estudos em escala de pouco detalhe já foram realizados, porém é necessário um maior detalhamento e caracterização local, possibilitando a aplicação dos dados na identificação de possíveis alvos estratégicos favoráveis para uma futura exploração das águas superficiais e subterrâneas no município.

5. GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo está inserida na margem continental sudeste brasileira, atravessando terrenos pré-cambrianos e o embasamento da Faixa Ribeira Central, mais especificamente ocorre no Terreno Embu e é composta por rochas do complexo Varginha – Guaxupé e da Suíte Granítica Morungaba, sendo cada um respectivamente abordado logo abaixo.

5.1 Província Mantiqueira

A Província Mantiqueira é um sistema orogênico Neoproterozóico instalada no Sul e Sudeste do Brasil, que se estende por cerca de 3.000 km com orientação NNE-SSW ao longo da costa atlântica. Ela compreende os orógenos Araçuaí, Ribeira, Brasília meridional, Dom Feliciano e São Gabriel (Figura 6) e faz limite com as províncias Tocantins, São Francisco e Paraná (ALMEIDA et al., 1973).

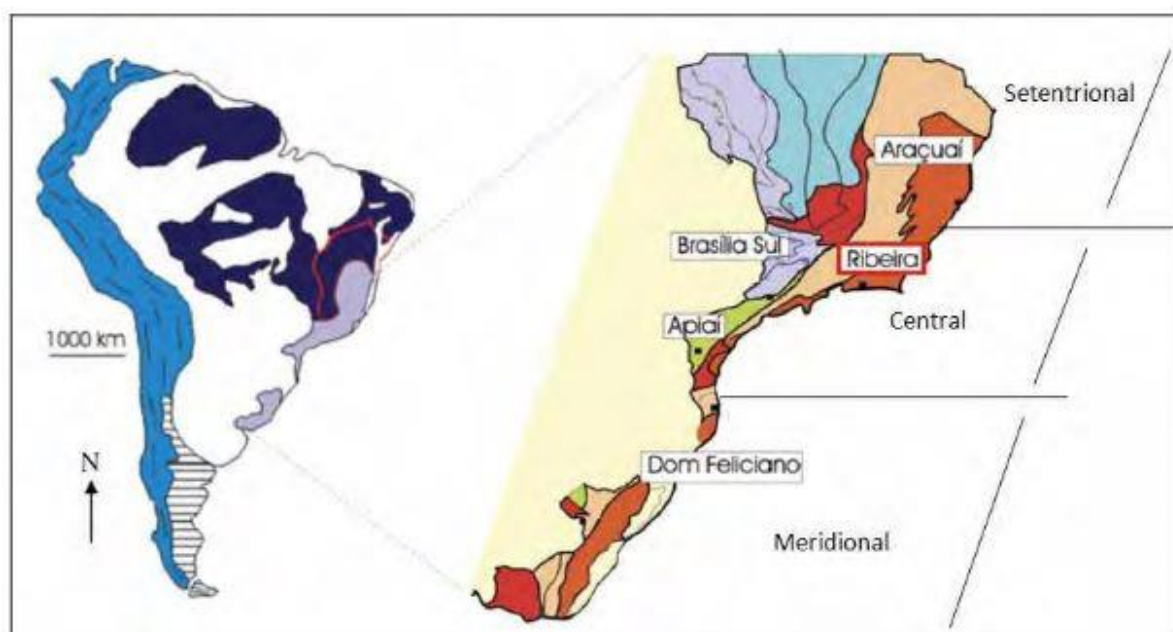


Figura 6: Mapa tectônico da América do Sul, com destaque para a subdivisão do Sistema Orogrênico Mantiqueira. Fonte: (modificado de ALMEIDA e HASUI, 1984; TROMPETTE, 1994; HEILBRON et al., 2004).

Na província registrou-se uma longa e complexa evolução neoproterozóica na América do Sul (900–520 Ma) preservando remanescentes de unidades paleotectônicas arqueanas, paleoproterozóicas e mesoproterozóicas. Constitui, juntamente com a extremidade meridional

da Província Tocantins, o arcabouço pré-cambriano do Sudeste brasileiro, por onde cruzam os diques do Lineamento Guapiara (ALMEIDA et al., 1973).

Apesar das muitas propostas de nomenclatura estratigráfica disponíveis na literatura, no entanto, uma subdivisão lito-tectônica tem sido aplicada para se referir à Província Mantiqueira como um todo (HEILBRON et al., 2004), que servirá de base nesta pesquisa.

Foram individualizados, o embasamento ortognássico paleoproterozoico, coberturas sedimentares paleo-mesoproterozóicas e seqüências sedimentares e granitoides neoproterozóicas: (a) rochas do embasamento Arqueano e/ou paleoproterozóico anteriores a 1.7 Ga; (b) seqüências metassedimentares depositadas em bacias intracratônicas paleoproterozóicas a mesoproterozóicas; (c) sucessões de margem passiva neoproterozóica, que incluem abertura e fechamento de oceanos, além de estágio de colisão continental; (d) granitoides neoproterozóicos pré-colisionais contemporâneos a processos de subducção; (e) granitoides neoproterozóicos sin- a tardi-colisionais; (f) granitoides pós-colisionais

5.1.2 O Orógeno Ribeira

A área deste estudo está compreendida no segmento central da Província Mantiqueira, mais especificamente no orógeno Ribeira. É a principal unidade da Província e um dos vários cinturões orogênicos neoproterozóicos, resultado da interação entre o cráton do São Francisco e outra(s) placas e/ou microplaca(s) e/ou arco de ilhas situado(s) a Sudeste deste cráton, bem como com a porção Sudoeste do cráton do Congo (Figura 7). Estende-se por 1400 km ao longo da margem Atlântica no Sudeste brasileiro com trend estrutural NE-SW (ALMEIDA et al., 1973; HASUI et al., 1975).

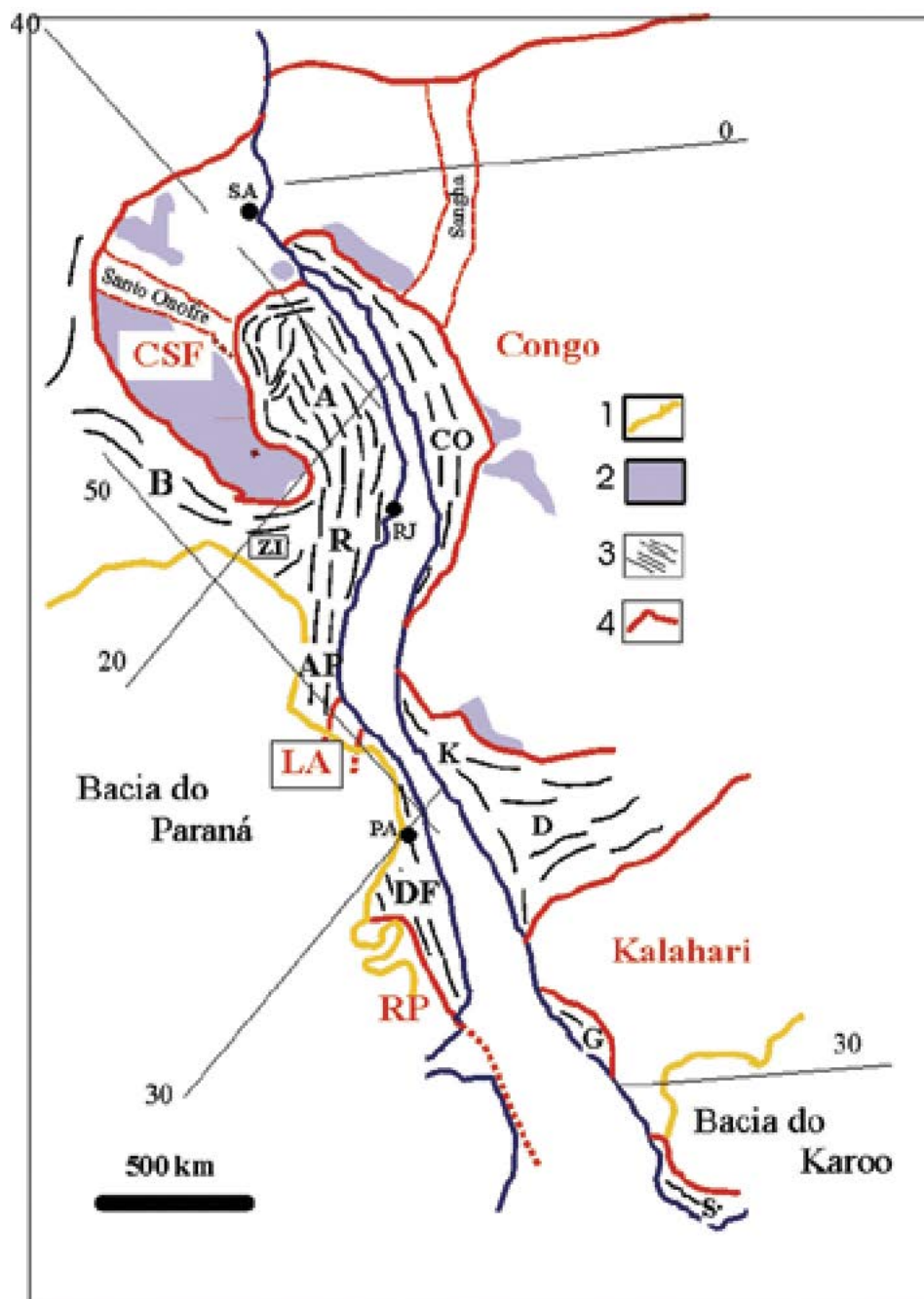


Figura 7: Localização dos orógenos do Sistema Orogênico Mantiqueira no contexto do Gondwana Ocidental. Fonte: (modificado de Trompette, 1994). 1- Bacias fanerozóicas. 2-Coberturas cratônicas. 3- Orógenos neoproterozóicos (B- Brasília, A- Araçuaí, RRibeira, ZI- Zona de Interferência, AP- Apiaí, DF- Dom Feliciano). 4- Crátons neoproterozóicos (CSF- São Francisco, LA- Luis Alves, RP- Rio de La Plata). Na África localizam-se as faixas neoproterozóicas do Congo Ocidental (CO), Kaoko (K), Damara (D), Gariep (G) e Saldania (S), relacionadas aos crátons do Congo e Kalahari (MANTESSO NETO et al., 2004).

O orógeno Ribeira está relacionado à segunda etapa de colisão continental (ca. 580 Ma) cujo empilhamento de terrenos foi de Leste para Oeste-Noroeste.

Como esta colisão foi oblíqua, a deformação principal exibe predominância de encurtamento frontal e zonas com componente transpressiva dextral. Portanto, os limites dos compartimentos tectônicos são representados por empurrões com mergulhos íngremes ($>30^\circ$), ou por zonas de cisalhamento oblíquas (EBERT, 1998).

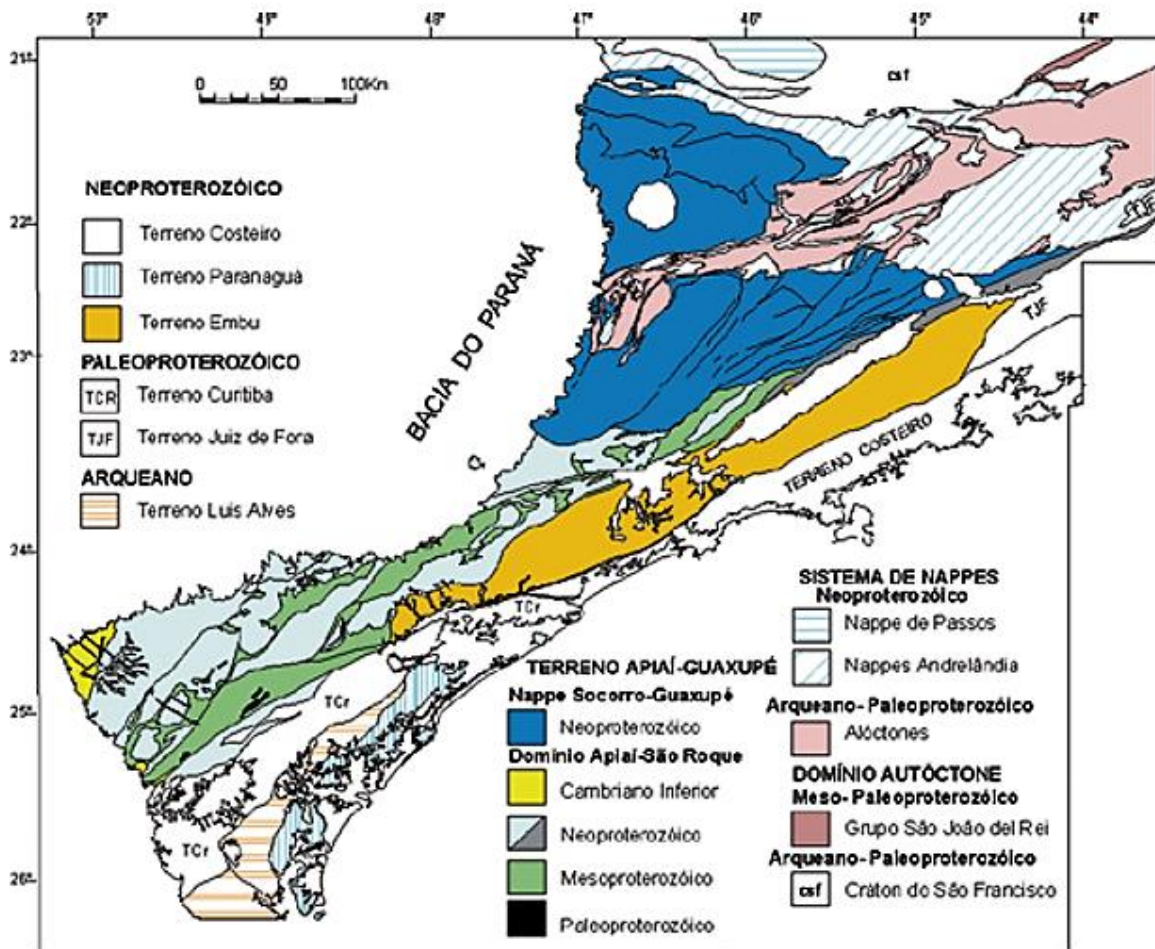


Figura 8: Mapa tectônico dos terrenos Apiaí, Guaxupé, Curitiba, Embu e Luis Alves (MANTESSO NETO et al., 2004).

5.1.3 Embasamento Paleoproterozóico e Arqueano

Quanto ao embasamento paleoproterozóico (Figuras 8 e 9), são raras as porções aflorantes e se restringem a ortognaisses peralcalinos estaterianos localmente intrudido em gnaisses tardi-riacianos. Os ortognaisses configuram corpos alongados de composição sienogranítica e idade estateriana (ca. 1,75 Ga) e associam-se a gnaisses monzogranito-granodioríticos (ca. 2,1 Ga) riacianos (KAULFUSS, 2001; CURY et al., 2002), em concordância com núcleos alongados gnáissicos migmatíticos (Betara e Tigre) de sequências mesoproterozoicas.

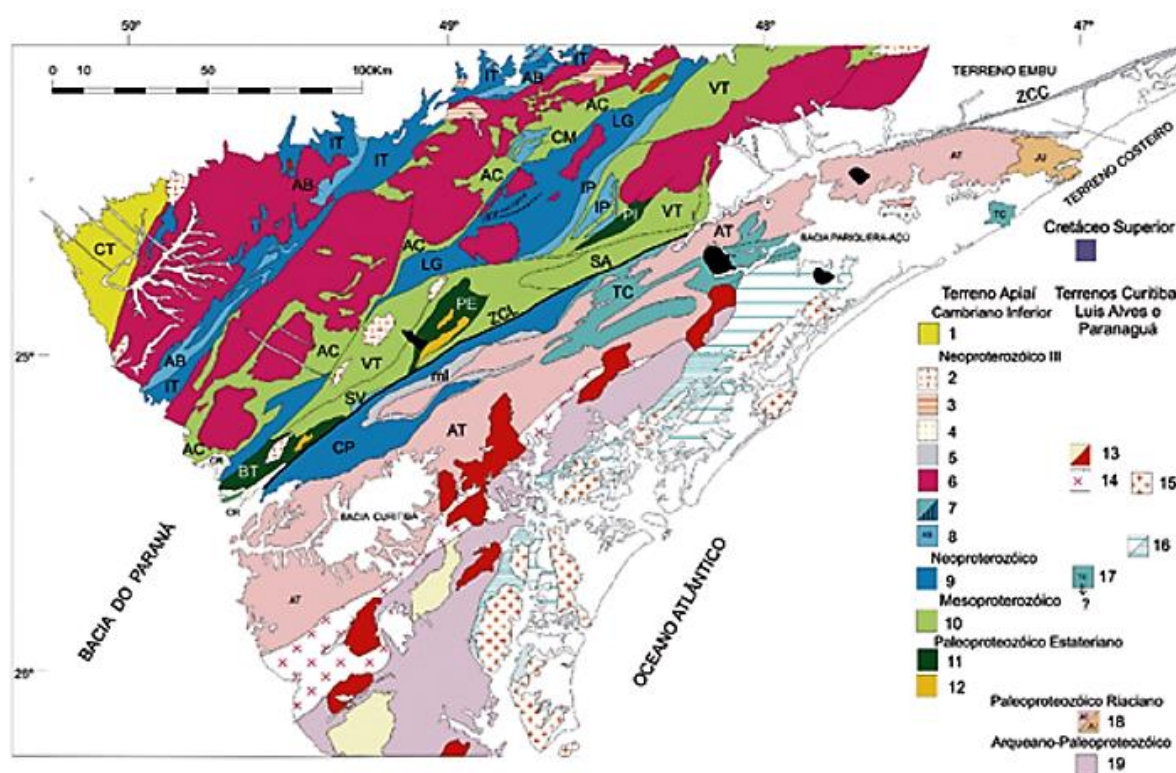


Figura 9: Mapa Geológico do Domínio Apiaí e Terrenos Curitiba e Luis Alves adjacentes. Legenda Domínio Apiaí (1-12): 1-Grupo Castro; 2-Granitos tipo-A; 3-Província Granítica Itu; 4-Fm. Camarinha; 5- Faixa milonítica; 6- Granitóides cálcioalcalinos; 7-Fm. Iporanga (IP), Sequência Córrego dos Marques (CM), Conjunto Saivá (SV); Gabro Apiaí (ap); 8-Fm. Abapã/Bairro da Estiva; 9-Gp. Itaiacoca (IT), SGP. Lageado (LG), Fm. Capiu (CP); 10-Fm. Águas Claras (AC), Fm. Votuverava (VT), Seq. Serra das Andorinhas (SA); 11-Fm. Perau (PE), Núcleo Betara (BT), Seq Piririca (PI); 12-Ortognaisses peralcalinos. Terrenos Curitiba, Luis Alves e Paranaguá (13-19); 13-Bacias extensionais vulcano-sedimentares, Suíte granítica peralcalina; 14- Granitóides cálcio-alcalinos; 15-Granitóides; 16 Metassedimentos proto-miloníticos, 17-Sequência Turvo- Cajati; 18-Complexo Atuba (AT) /Granulito Jurêia (JU); 19-Ortognaisses e granulitos Luis Alves. Fonte: (MANTESSO NETO et al., 2004).

A idade do embasamento é sugerida pelas idades-modelo Sm-Nd das coberturas metassedimentares, que levam a valores do Paleoproterozóico (REIS NETO, 1994; BASEI et al., 1997; PRAZERES FILHO, 2000; RAGATKY et al., 2003).

5.1.4 Terreno Embu

O terreno Embu (Figura 10) está limitado por espessas zonas de cisalhamento dextrais, a Norte pela Caucaia-Rio Jaguari e Sul pela Cubatão. Longitudinalmente, acunha-se no terreno Juiz de Fora, a Norte, e no terreno Apiaí-Guaxupé, a Sul (Figura 8) MANTESSO NETO et al., (2004).

O arcabouço paleoproterozóico, FERNANDES et al., (1990), alongado e inserido em zonas de cisalhamento é constituído por ortognaisse orosiriano (2,0 Ga; BABINSKY et al., 1996) e o metamorfismo principal é de fácies anfibolito VIEIRA, (1996) de idade ca. 790 Ma VLACH, (2001).

A supraestrutura metassedimentar corresponde ao Complexo Embu HASUI, (1975), agrupado em três unidades estratigráficas FERNANDES et al., (1990): (1) Unidade Rio Una: superior e composta por micaxistos e quartzitos imaturos; (2) Unidade Rio Paraibuna: clasto-química, com abundantes quartzitos e calciossilicáticas e intercalações de biotita gnaisses finos e anfibolitos; (3) Unidade Redenção da Serra: dominada por gnaisses peraluminosos, plagioclásio-biotita gnaisses/xistos porfiroclásticos, anfibolitos, gnaisses cálcio-silicáticos e mármores restritos.

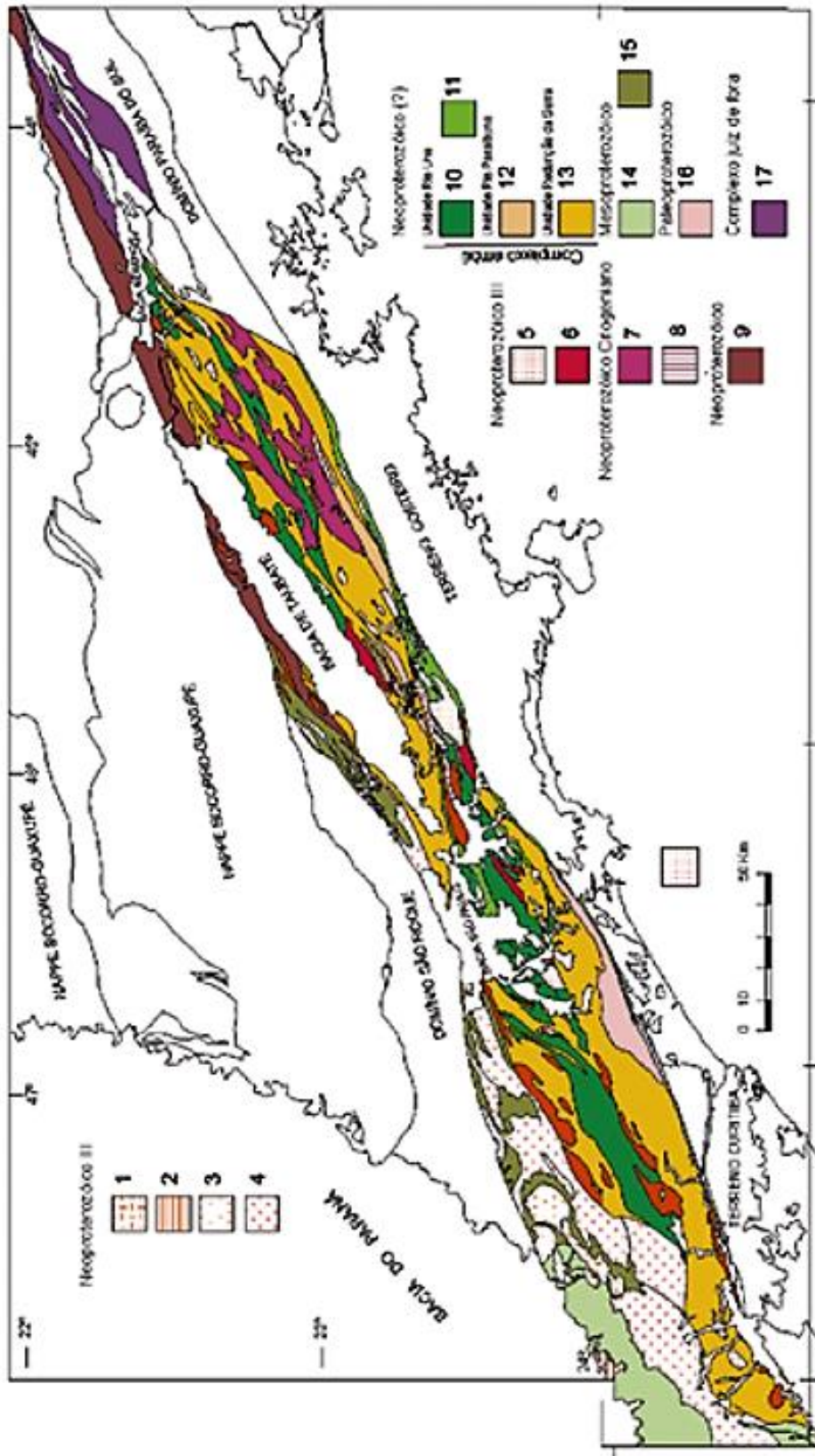


Figura 10: Mapa Geológico do Terreno Embu e Terreno Apiaí-Guaxupé, (Domínio Apiaí) adjacente. Legenda: 1-Granitos tipo-A; 2-Granitos da Província Itu; 3-Bt e/ou Bt-Ms granitos; 4-Hbl-Bt granitóides porfirítico-porfiroclásticos; 5-Bt e/ou Ms-Bt granitos crustais e granitos indiferenciados; 6-Bt granitos

crustais; 7-Ms granitos tipo-Quebra Cangalha e Bt granitos tipo-Lagoinha; 8-Bt tonalito-granitos gnáissicos tipo-S (australianos); 9-Faixa Milonítica Rio Jaguarí; Complexo Embu (10-13) 10-Unidade Rio Una- Xistos, quartzitos e rochas calciossilicáticas (Fácies anfibolito); 11-Unidade Rio Una- Xistos e quartzitos (Fácies Xisto Verde); 12-Unidade Rio Paraibuna-Gnaisses quartzosos com intercalações de Bt gnaisses finos, Sil gnaisses e rochas calciossilicáticas; 13-Unidade Redenção da Serra-Sil gnaisses com anfibolitos, Bt gnaisses, rochas calciossilicáticas e raros mármore. Transições frequentes a migmatitos; 14-Filitos rítmicos e quartzitos (Fm. Votuverava); 15-Micaxistos com transição a gnaisses e migmatitos; 16-Tonalito gnaisses migmatíticos (Complexo Rio Capivari); 17- Complexo Juiz de Fora-Enderbitto gnaisses MANTESSO NETO et al., (2004).

Percebe-se a ausência do magmatismo neoproterozóico marcado pela deficiência de granitos metaluminosos, tão expressivos nos terrenos vizinhos JANASI & ULBRICH, (1991). Predominam biotita granitos porfíricos a inequigranulares e muscovita-biotita monzogranitos equigranulares MANTESSO NETO et al., (2004).

As determinações de idades nessa região são escassas, porém, dados recentes revelam que os granitos peraluminosos foram gerados ao longo de pelo menos 200 milhões de anos, em contínuos eventos de reciclagem da crosta continental (JANASI et al., 2003). Entretanto, a maioria das ocorrências graníticas do terreno Embu foi gerada entre 600 e 590 Ma, após o pico de magmatismo e metamorfismo nos domínios a Oeste e Norte (terreno Apiaí-Guaxupé) (MANTESSO NETO et al., 2004).

5.1.5 Suíte Morungaba

Segundo Vlach (1993), os granitóides de Morungaba (biotita granitos predominantes, dioritos muito subordinados) afloram na região de Morungaba, leste do Estado de São Paulo, por uma área com cerca de 330 km², ao longo de uma faixa (~ 15 x 35 km²) com orientação NNE. São intrusivos em seqüências orto- e parametamórficas de idades meso- a neoproterozóicas da Nappe de Empurrão Socorro-Guaxupé, ao Sul, e da Faixa Alto Rio Grande, ao Norte. A Suíte compõe o magmatismo brasileiro tardi- a posorogênico do Cinturão Iru, no período entre 610 e 590 aproximadamente 20 Ma, cerca de 10-50 Ma após o magmatismo sinorogênico regional. Na área setentrional, a unidade mais antiga é o Plúton Areia Branca, com forma irregular a alongada; apresenta corpos concordantes de (leuco) monzogranitos peraluminosos, as fácies mais máficas aflorando em zonas marginais. A Suíte é formada por inúmeros corpos laminares alongados a curvilaminares NW-W/E-NE ou mais irregulares, intercalados concordantemente com as rochas encaixantes; tem forma irregular a alongada NE-

NNE; incluem, monzogranitos peraluminosos e, pelo outro, quartzo monzodioritos, quartzo monzonitos, monzo- e sienogranitos microporfíricos e porfíricos marginalmente peraluminosos.

Os granitóides de Morungaba (Figura 11) afloram nos Domínios geológicos Amparo (ao norte) e Jundiá (ao Sul), regionalmente limitados pela Nappe de Empurrão Socorro-Guaxupé (NESG, Campos Neto et al., 1984c Campos Neto, 1985; ver também Ebert, 1984 e Janasi & Ulbrich, 1985; 1991).

Os terrenos do Domínio Jundiá, denominados Terrenos da NESG, são alóctones e compreendem seqüências metassedimentares pouco conhecidas, com contribuição vulcânica variada, agrupadas no Complexo Piracaia, uma unidade de idade ainda indefinida entre o Meso e o Neoproterozóico (Campos Neto et al, 1984a; Campos Neto, 1991). Estas seqüências estão metamorfizadas em graus alto a muito alto e, em direção aproximada N/NW' são expostos progressivamente seus níveis mais inferiores.

A norte, os seus segmentos infracrustais mais profundos estão sobrepostos tectonicamente aos terrenos meso- e supraquistais do Domínio Amparo. No Domínio Amparo, os Terrenos da Faixa Alto Rio Grande (FARG), são definidos por Hasui & Oliveira (1984), Vasconcellos (1988) e Campos Neto (1991), reúnem, por um lado, associações ortognáissicas do embasamento antigo (Arqueano -Paleoproterozóico), retrabalhadas em graus variáveis em eventos subsequentes (Complexo Amparo, Suíte Serra Negra), (Artur, 1988) e, por outro, seqüências supracrustais de cobertura, de médio a alto grau metamórfico, referíveis aos Grupo Itapira (para sudoeste), e aos correlatos Grupos Andrelândia, São João del Rey e Carrancas (para nordeste) em graus metamórficos mais baixos; as idades são referidas ao Mesoproterozóico.

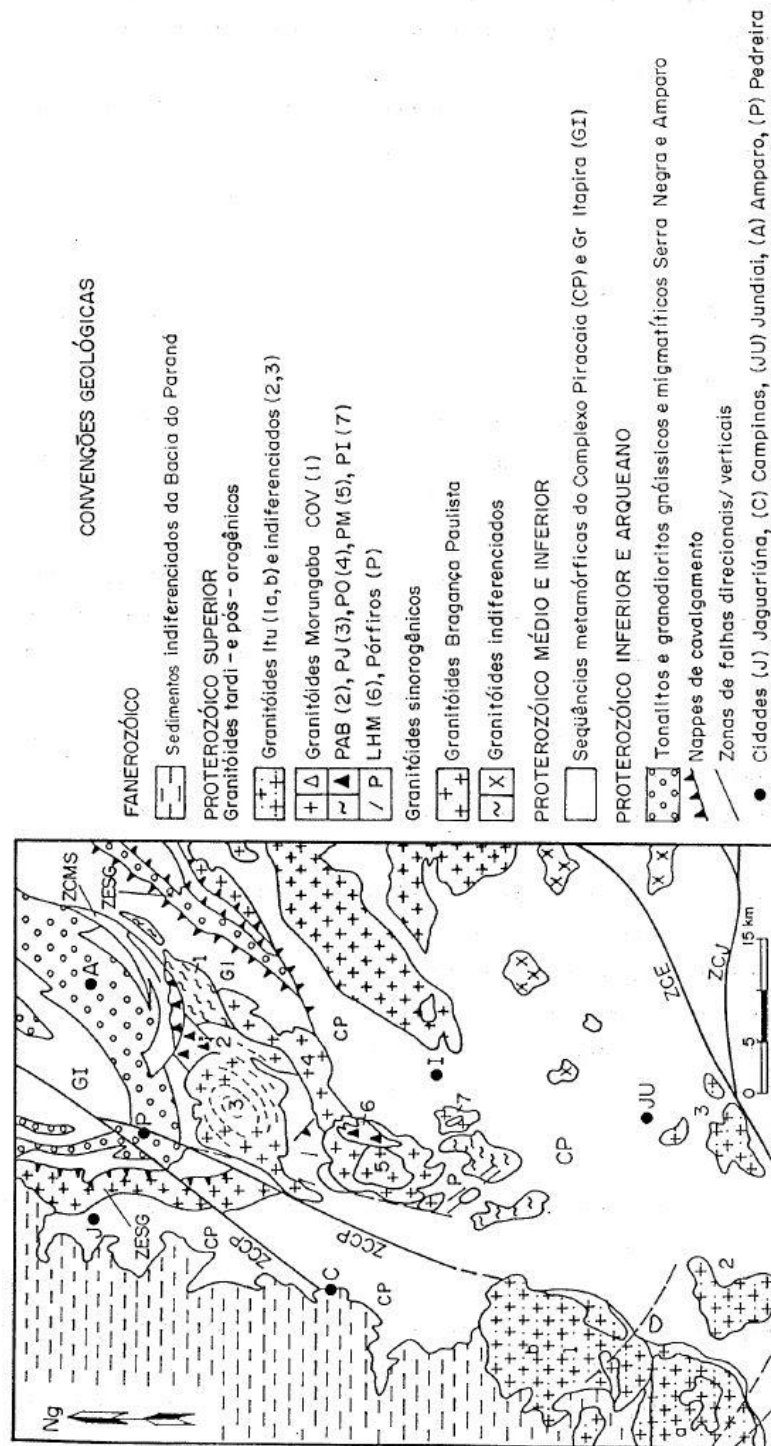


Figura 11: Mapa geológico simplificado da região leste do Estado de São Paulo. Fonte: Vlash, (2001). Plúton Areia Branca, PAB; Complexo Ouro Verde, COV; Plúton Jagua, PJ; Plúton Meridional, PM; Plúton Oriental, PO; Plúton Itatiba, PI, Ocorrências Meridionais, LMh; Grupo Itapira, GI; Complexo Praca CP; Zona de Cisalhamento Campinas-Pedreira, ZCCP; Zona de Cisalhamento Monte Sião, ZCMS; Zona de Empurrão Sorocó-Guaxupé, ZESG.

6. HIDROGEOLOGIA

Os sistemas aquíferos do Estado de São Paulo podem ser divididos em dois grandes grupos, de acordo com a forma de armazenamento e percolação da água subterrânea: os aquíferos fraturados e os aquíferos de porosidade granular (Figura 12). Os aquíferos fraturados abrangem o Embasamento Cristalino, os basaltos da Formação Serra Geral e os diabásios associados, cobrindo uma área com cerca de 90.000 km² (São Paulo, 1984). Os sistemas aquíferos de porosidade granular ocorrem nas rochas sedimentares da Bacia do Paraná e em sedimentos cenozóicos de ocorrência mais restrita.

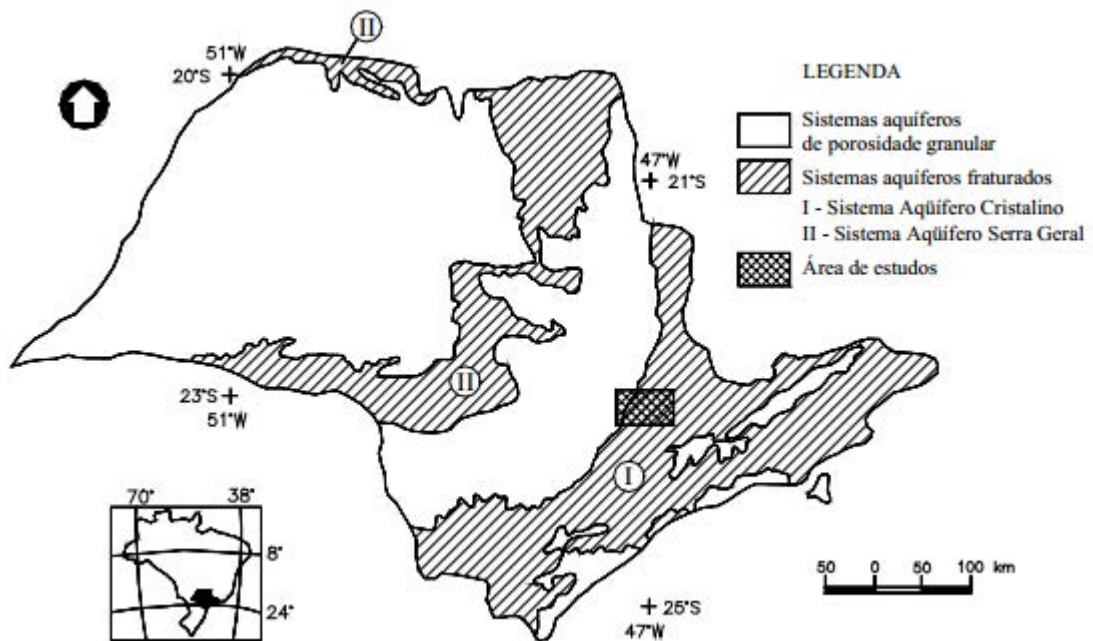


Figura 12: Sistemas aquíferos do Estado de São Paulo (baseado em São Paulo, 1984).

Na bacia do rio Capivari, predomina o Sistema Aquífero Cristalino (Figura 13).

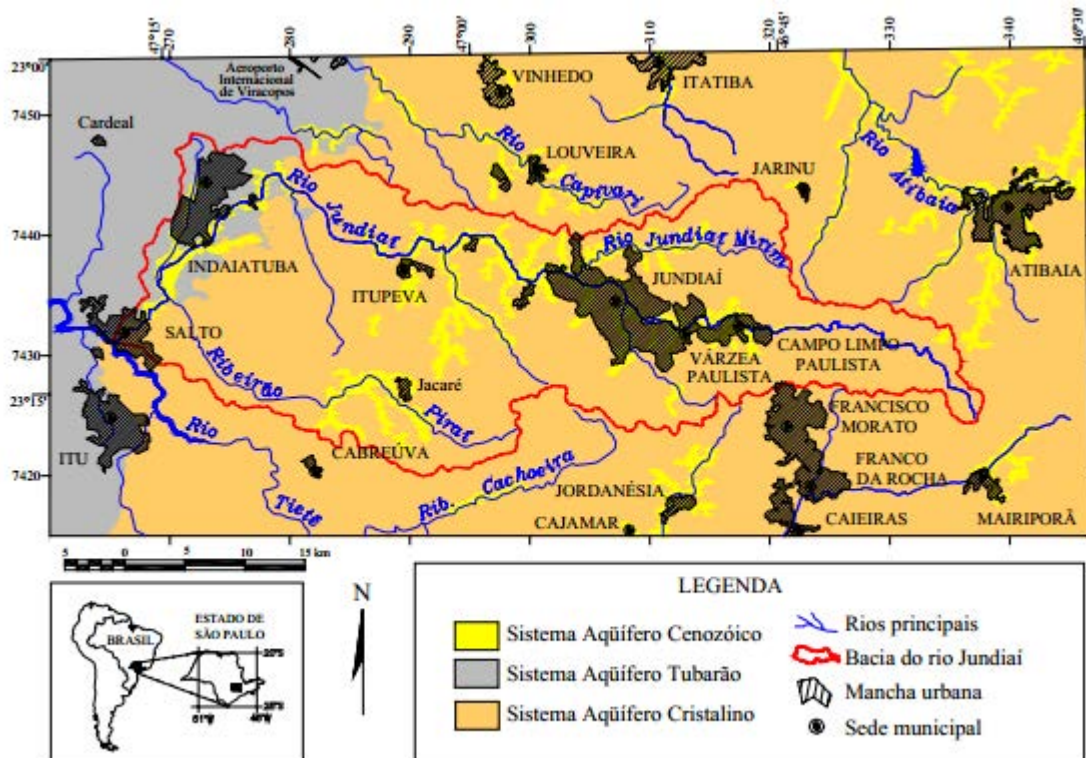


Figura 13: Distribuição dos aquíferos na bacia do rio Capivari e áreas adjacentes, (baseado em São Paulo, 1984).

O Sistema Aquífero Cristalino envolve as rochas do Embasamento Cristalino ou Embasamento Pré-Cambriano, cuja produtividade está condicionada à ocorrência de descontinuidades como falhas e juntas e, em certos casos, contatos litológicos. É classificado como livre a semiconfinado, descontínuo e heterogêneo. A transmissividade é bastante variável, de 0,1 m²/dia a 100 m²/dia. A rocha alterada ou manto de intemperismo pode constituir aquíferos de porosidade granular que, segundo Lopes (1994), são responsáveis pela maior parte do escoamento básico da bacia. O comportamento do aquífero fraturado ainda não é muito bem compreendido, o que resulta em muitos poços improdutivos ou com baixa produtividade.

A extrema variabilidade dos parâmetros hidrogeológicos dos aquíferos fraturados constitui seu aspecto mais marcante. A condutividade hidráulica, por exemplo, varia algumas ordens de grandeza dentro de um mesmo litotipo e em curtas distâncias. A escassez de dados sobre a distribuição e extensão das estruturas geológicas e a falta de análise estrutural antes da perfuração resultam em poços com condições extremas de produtividade, ou seja, a vazão de um poço tanto pode ser nula quanto pode chegar a mais

de 50 m³/h (São Paulo, 1972), dependendo de sua localização em relação às estruturas geológicas.

No Brasil, o aquífero que ocorre na rocha fraturada tem sido denominado “aquífero fraturado”, “aquífero fissural” ou “aquífero cristalino”. Neste trabalho adota-se o termo aquífero fraturado, tradução direta do termo correspondente na literatura internacional. O termo aquífero cristalino pode causar confusão com o Sistema Aquífero Cristalino, denominação da unidade hidroestratigráfica que ocorre nos terrenos pré-cambrianos da Região Sudeste do Brasil, onde se insere a área de estudos. Como grande parte da área está situada sobre os terrenos pré-cambrianos do leste paulista, este capítulo visa a caracterização dos aquíferos encontrados em rochas cristalinas, de acordo com a classificação apresentada acima.

As rochas cristalinas formam amplos cinturões pré-cambrianos em diferentes partes do mundo, no Brasil, sob o ponto de vista hidrogeológico, esses terrenos são importantes em grande parte das regiões Nordeste e Sudeste. Ambas são problemáticas em termos de disponibilidade hídrica; a primeira devido ao clima semi-árido e a segunda pelo uso intenso para abastecimento urbano-industrial, (Singhal e Gupta, 1999)

A atenção voltada para a água subterrânea em rochas fraturadas é relativamente recente. Sua baixa permeabilidade e as dificuldades na perfuração dos poços fizeram com que o potencial desses aquíferos fosse, por muito tempo, menosprezado. Porém, nas últimas décadas, com a necessidade crescente de água para abastecer centros urbanos e áreas rurais, as rochas fraturadas passaram a ser investigadas com mais afinco. Em vários países em desenvolvimento da Ásia, África e América Latina, tem sido dada grande ênfase ao suprimento de água potável à vasta população que habita terrenos cristalinos. Isto traz a necessidade de desenvolver métodos eficientes e de baixo custo para a exploração e gerenciamento dos aquíferos que ali ocorrem, (Neves, 2002).

Nos aquíferos fraturados, principalmente naqueles sob clima úmido, existem duas importantes subzonas aquíferas: a rocha fraturada e o manto de intemperismo. O manto atua como aquífero de porosidade granular e influi nas condições de circulação, armazenamento e infiltração da água subterrânea antes de atingir a rocha fraturada não alterada.

Os terrenos pré-cambrianos permaneceram expostos aos processos intempéricos por tempo prolongado, dando origem ao manto de alteração ou manto de intemperismo (Figura 14).

Esta camada constitui o regolito, que inclui o solo residual e o saprólito. O saprólito é derivado da alteração e desagregação *in situ* e o solo residual se desenvolve a partir do saprólito subjacente por dissolução e lixiviação, combinados com outros processos químicos, físicos e biológicos.

Na África Tropical, o aquífero do manto de alteração ocorre amplamente distribuído em áreas com densidade de população rural relativamente alta. Ele fornece pequenas quantidades de água para uso doméstico e para irrigação em pequena escala (Chilton e Foster, 1995). Sua exploração é rasa, obtida com tecnologia simples e de baixo custo, fatores importantes onde a água superficial normalmente é insuficiente em termos de qualidade e quantidade.



Figura 14: Modelo do perfil de alteração e seu controle sobre os aquíferos em rochas cristalinas (Lachassagne et al., 2001).

No Brasil, as duas áreas de ocorrência de aquíferos em rochas cristalinas: a região Nordeste e a região Sudeste, têm comportamento distinto devido às diferenças climáticas. No Nordeste, o clima semi-árido não favorece o desenvolvimento do manto de intemperismo para compor um aquífero. Por outro lado, ele se desenvolve de forma expressiva no Sudeste, onde é explorado apenas em pequenas propriedades para uso doméstico. O relativo desenvolvimento econômico da região permite a exploração por meio de poços profundos e as quantidades exigidas para abastecimento, principalmente industrial, são bem maiores. Além disso, as possibilidades de contaminação do aquífero presente no manto de intemperismo têm sido um empecilho para o seu aproveitamento.

As (Figuras 15 e 16) representam um caso típico de capeamento de solo, o qual contém o aquífero freático superficial, o capeamento varia de uma espessura de 5m a 40m, dependendo do litotipo associado, para os granitos e xistos temos solos mais espessos, enquanto que para os migmatitos, gnaisses e metassedimentos temos solos menos espessos.



Figura 15: Afloramento representativo da área de estudos, apresentando espessa cobertura de solo muito característica na região.



Figura 16: Afloramento da área de estudos, com espessa cobertura de solo com blocos de granitóide esparsos, junto de protólito logo abaixo.

A imagem abaixo (Figura 17), representa um modelo do perfil geológico-constructivo típico dos poços tubulares profundos que exploram água do aquífero cristalino na área de estudo.

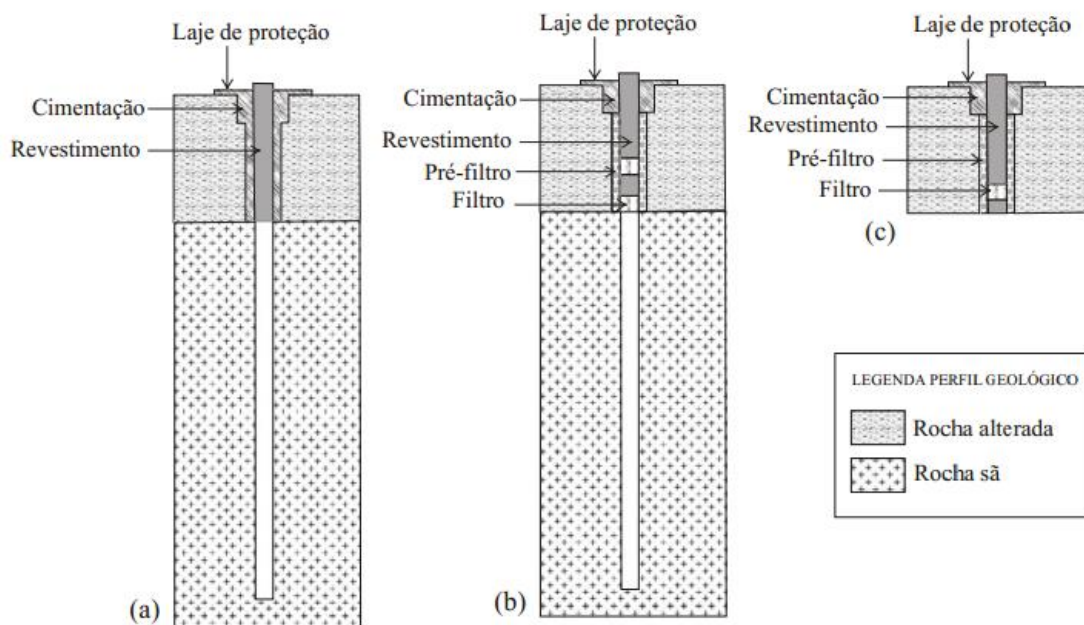


Figura 17: Perfis geológico-constructivos típicos dos poços tubulares profundos que exploram (a) apenas a rocha sã, (b) tanto a rocha sã quanto o manto de intemperismo e (c) apenas o manto de intemperismo do Sistema Aquífero Cristalino na bacia do rio Capivari e áreas adjacentes (sem escalas). Fonte: SIAGAS.

7. GEOLOGIA ESTRUTURAL

Este capítulo se refere ao estudo das estruturas geológicas rúpteis e do resultado de sua atuação na compartimentação morfoestrutural da área. Para tanto, são utilizados dois enfoques: a descrição estrutural regional, a partir de informações em escala de mapa, e o estudo estrutural local, a partir de dados primários coletados em campo, em escala de afloramento, e a partir da análise destes dados, são definidos os domínios estruturais.

7.1 Contexto tectônico e estrutural

A evolução tectônica do Sudeste do Brasil é bastante complexa, resultado da superposição de esforços tectônicos desde o Pré-Cambriano até o Cenozóico. Neste longo intervalo de tempo, estruturas geológicas se formaram sob diferentes condições de temperatura e pressão e sob diferentes regimes de esforços.

Os itens a seguir abordam os eventos tectônicos e as estruturas geológicas geradas sob regimes de esforços anteriores ao atual, isto é, na vigência da Paleotectônica, além dos processos mais recentes, ligados à atuação da Neotectônica.

Todas as unidades pré-cambrianas da região mostram feições estruturais decorrentes de tectônica de cavalgamento e de tectônica transcorrente, as quais evoluem de condições dúcteis para condições rúpteis.

Durante a tectônica de cavalgamento, as rochas, hoje exumadas, encontravam-se em níveis crustais mais profundos, em estado dúctil, e sobre elas foram geradas foliações e dobras associadas a cavalgamentos e a zonas de cisalhamento dúctil de alto ângulo (Figura 18).

A foliação é a estrutura planar da fase dúctil mais marcante nas rochas metamórficas da região. O termo, se considerado sem conceituação genética, envolve também a xistosidade, a clivagem de fratura e a foliação de crenulação ou clivagem de crenulação (Cavalcante et al., 1979). Tais estruturas são formadas por um sistema de superfícies planares ou onduladas, paralelas a subparalelas e bastante próximas umas das outras. Os planos são mais conspícuos e mais próximos uns dos outros nos litotipos xistosos, nos filitos e nos milonitos. A foliação pode ser paralela ou inclinada em relação ao bandamento composicional, sendo que o paralelismo é muito comum ao longo das

zonas de cisalhamento. Nestas zonas, a deformação dá origem aos milonitos e a foliação é referida como foliação milonítica.

Nas proximidades da Zona de Cisalhamento Jundiuvira, os planos sofrem inflexões e tendem a se tornar subverticais e paralelos à zona (Hasui et al., 1977). Ao Sul desta zona, a foliação predominante tem direção NE, inflectindo para NNE e E-W em torno de corpos granitóides e junto às falhas.

O bandamento composicional e a foliação são comumente afetados por dobras de tipos e dimensões variadas, que podem ser observadas desde escalas submilimétricas a escalas quilométricas. As dobras já foram minuciosamente descritas em termos de fases de dobramento, acompanhadas de metamorfismo e migmatização. Porém, alguns autores têm adotado modelos de deformação progressiva, que consideram que as diferentes foliações e dobras são geradas progressivamente dentro de um mesmo evento deformacional (Oliveira et al., 1985; Morales et al., 1985; Hasui, 1983). Para Hasui et al. (1988), tais feições são originadas de um processo de cisalhamento simples eminentemente dúctil ligado a um evento de transporte horizontal de massas com dobramentos superimpostos de direções NE-SW e NW-SE. Este conjunto de rochas dobradas teria sido posteriormente retrabalhado por zonas de cisalhamento dúctil de alto ângulo.

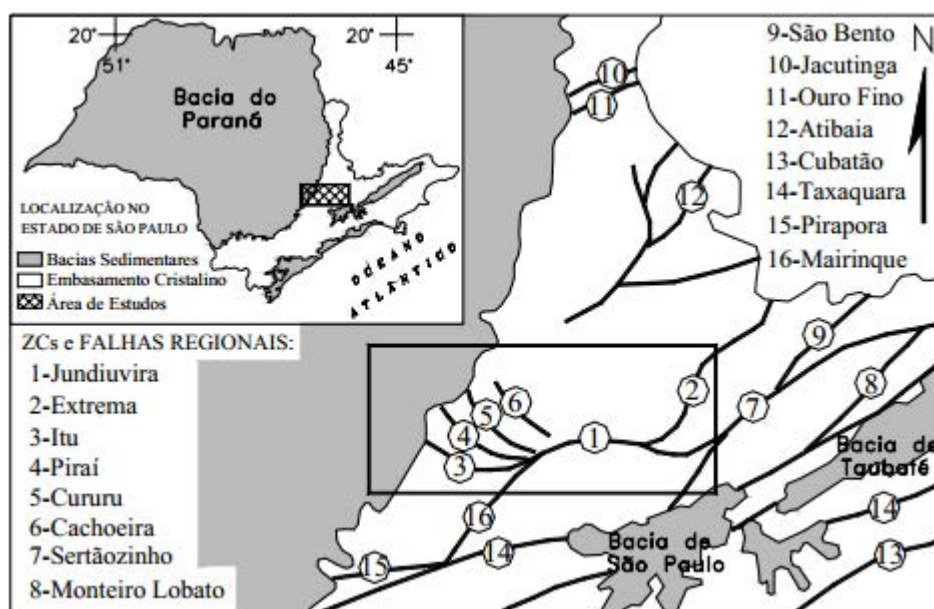


Figura 18: Zonas de cisalhamento e zonas de falha regionais (adaptado de Hasui et al., 1981).

7.2 Apresentação e análise dos dados estruturais

O processo para se verificar a distribuição das estruturas na tentativa de se definir padrões e posteriormente domínios estruturais, partiu do estudo e delimitação dos principais lineamentos regionais, os quais demonstram o comportamento das micro estruturas em escala de afloramentos, a (Figura 19) a seguir apresenta os principais lineamentos extraídos na fase da análise de imagem de satélite, demonstrando os padrões predominantes, extraídos de acordo com critérios geomorfológicos, como drenagens e orientação dos corpos. É possível observar que falhas NW chegam a delimitar os corpos de granitóides a sul de cada um, demonstrando a influência deste padrão sobre todo o pacote de rochas que compõem a área delimitada no estudo, inclusive evidenciados pela geomorfologia local.

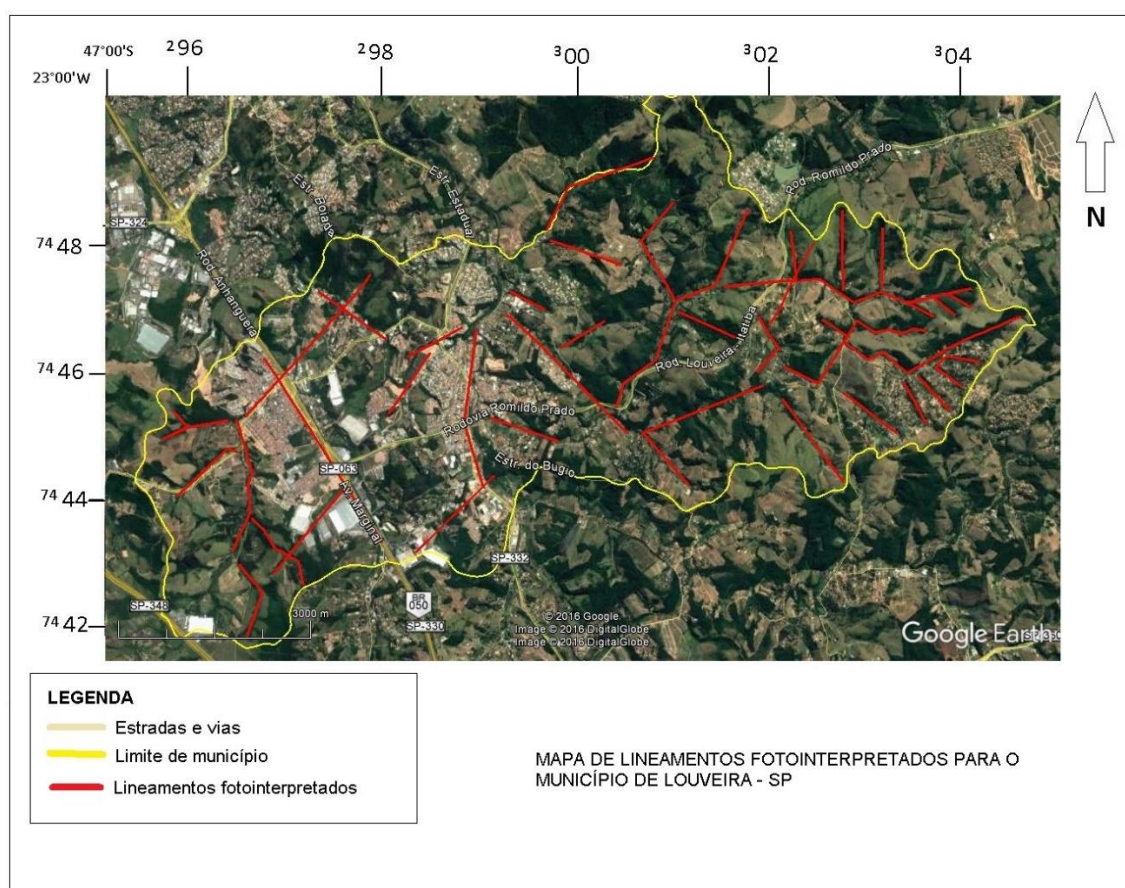


Figura 19: Mapa do padrão de lineamentos fotointerpretados através da geomorfologia do terreno no município de Louveira-SP.

As (Figuras 20, 21 e 22), contendo a distribuição das medidas estruturais por cada ponto, totalizando 130 medidas estruturais, demonstram um padrão que determina basicamente dois possíveis domínios estruturais, um para os granitóides Neoproterozoicos e um para o embasamento Arqueano/Paleoproterozoico.

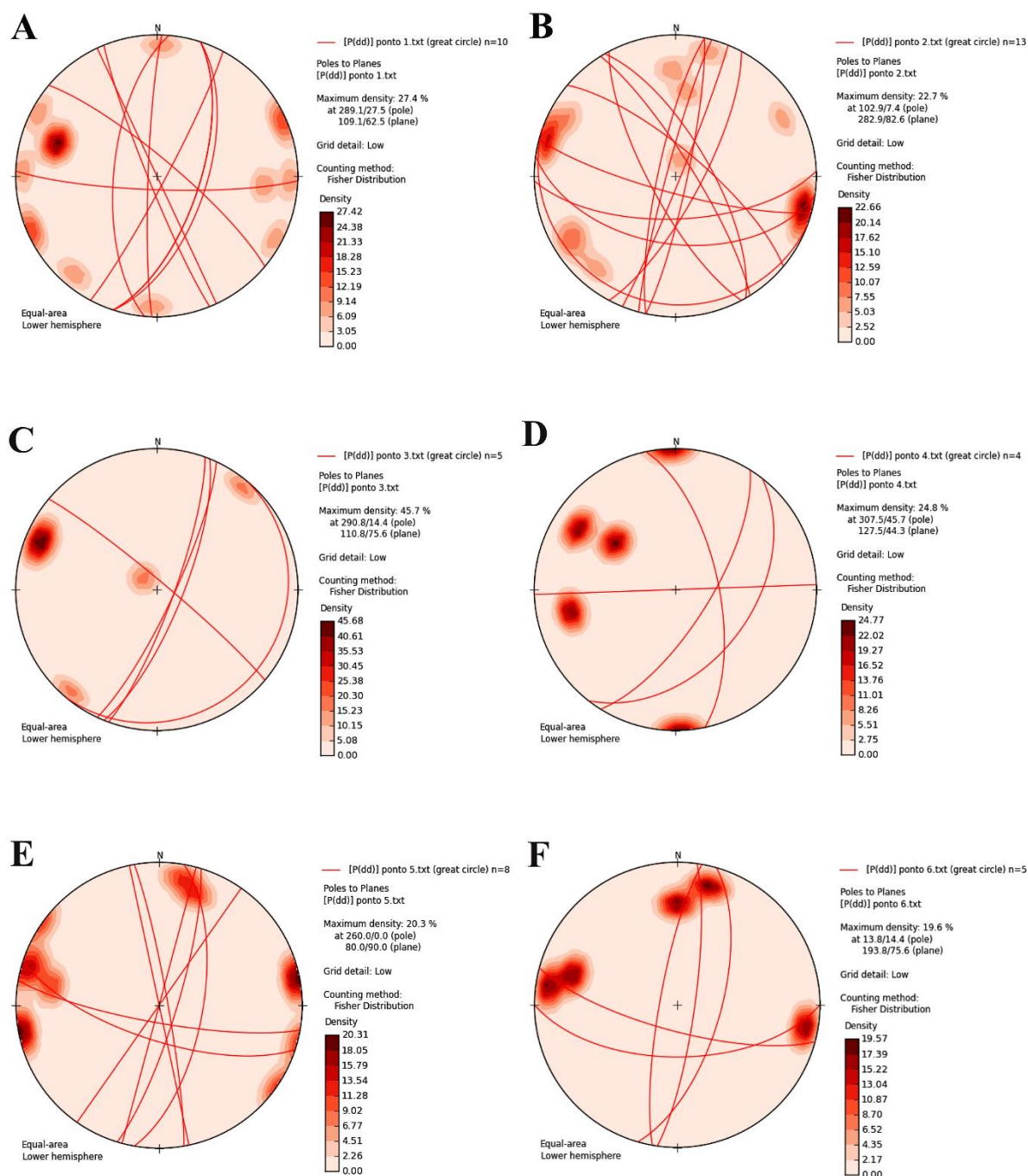


Figura 20: Cada ponto corresponde respectivamente a uma letra na seguinte ordem (Afloramento/Letra), Afloramentos: (1/A), (2/B), (3/C), (4/D), (5/E), (6/F).

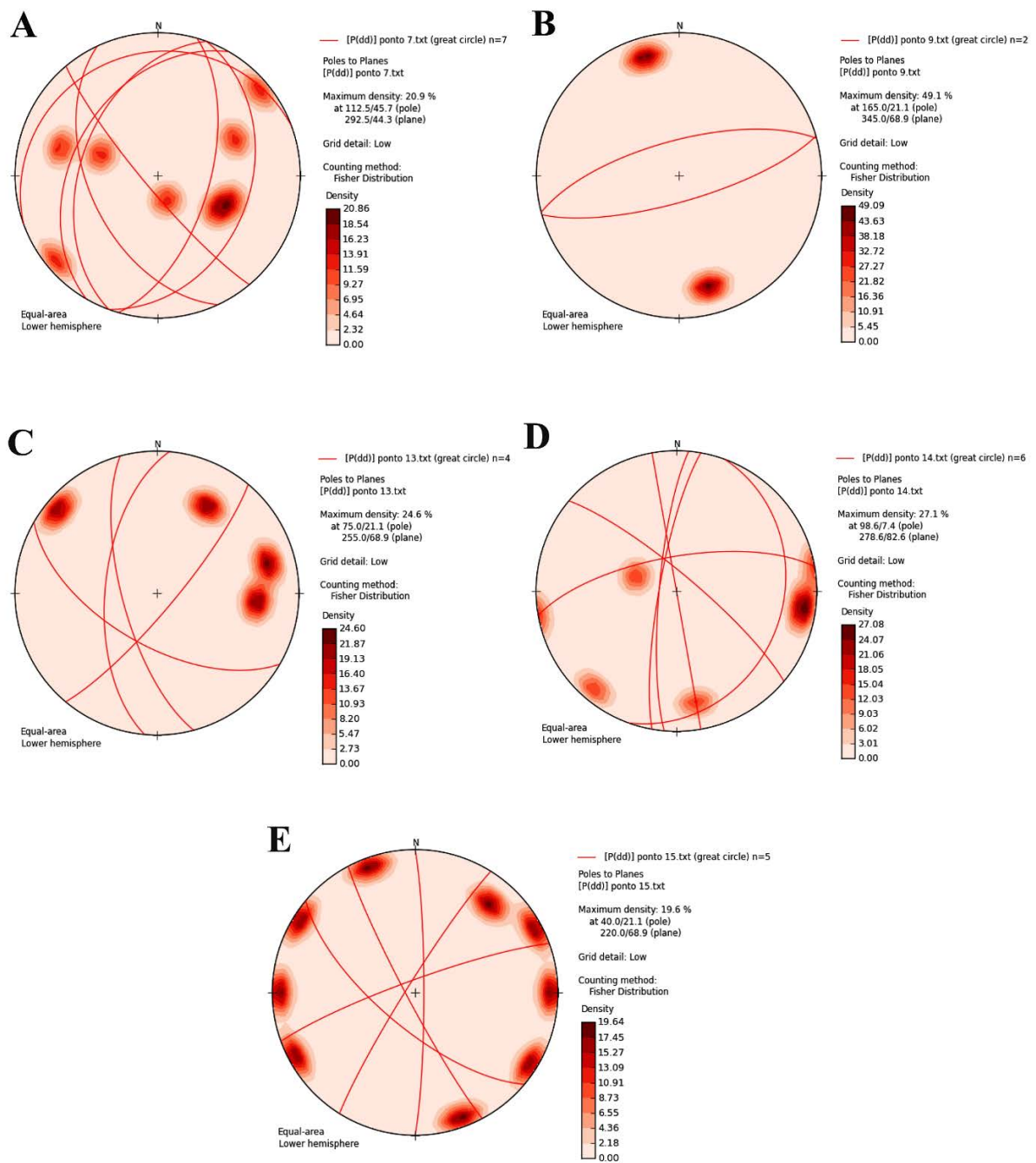


Figura 21: Cada ponto corresponde respectivamente a uma letra na seguinte ordem (Afloramento/Letra), Afloramentos: (7/A), (9/B), (13/C), (14/D), (15/E).

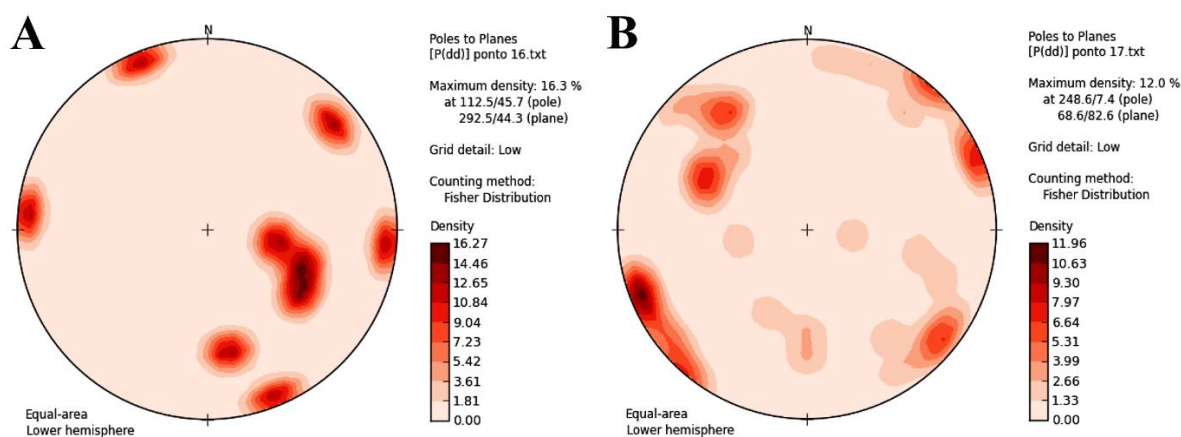


Figura 22: Cada ponto corresponde respectivamente a uma letra na seguinte ordem (Afloramento/Letra), Afloramentos: (16/A), (17/B)., por conta do elevado número de medidas os pontos 16 e 17, não apresentam círculos maiores na confecção dos estereogramas.

Conforme representado, será apresentada uma a uma as três famílias a seguir:

A família de direção NW-SE apresenta caimento preferencial para NE, e com fraturas de abertura entre 1mm e 1cm, preenchidas com quartzo, sedimentos arenosos e matéria orgânica, em zonas profundas de 20 a 30 metros apresenta quase nenhum espaçamento, enquanto que mais próximo a superfície apresenta maior espaçamento inclusive com penetração de raízes da cobertura vegetal, ampliando muitas vezes o conjunto de fraturas a vários centímetros. A família NW-SE ocorre preferencialmente em terrenos Arqueanos/Paleoproterozóicos conforme observado no campo, não sendo estatisticamente relevante nos granitoides Neoproterozóicos.

A família NW-SE apresenta penetrabilidade limitada principalmente quando interceptada pela família NE, cuja penetrabilidade (continuidade dentro do maciço) é superior.

Córregos e rios de pequeno porte ocorrem alinhados a este lineamento, porém não sendo os principais rio e córregos de captação do município por não apresentarem condições adequadas de vazão, volume e qualidade.

A família NNE-SSW, apresenta caimento preferencial para NW, espaçamento e preenchimento similar a família NW-SE, inclusive, ocorrem falhas NE e EW, com rejeito centimétrico evidente em afloramento, alinhadas ao lineamento NE, mais evidentes em porções intemperizadas por serem as vezes as únicas estruturas possíveis de se identificar.

A famílias NW e EW, demonstram serem responsáveis pela captura e delimitação dos principais rios e córregos da região, inclusive o mesmo responsável pelo abastecimento do

município por oferecerem condições excelentes de vazão, volume e qualidade da água, porém os córregos e rios de maior vazão estão associados aos lineamentos NE, NNE, (Figura 24).

As relações entre as estruturas da área podem ser visualizadas no seguinte modelo (Figura 23), onde ocorre a interação entre as famílias principais e famílias secundárias sub-horizontais, ocasionadas por alívio de pressão o maciço, conforme a exumação e erosão.

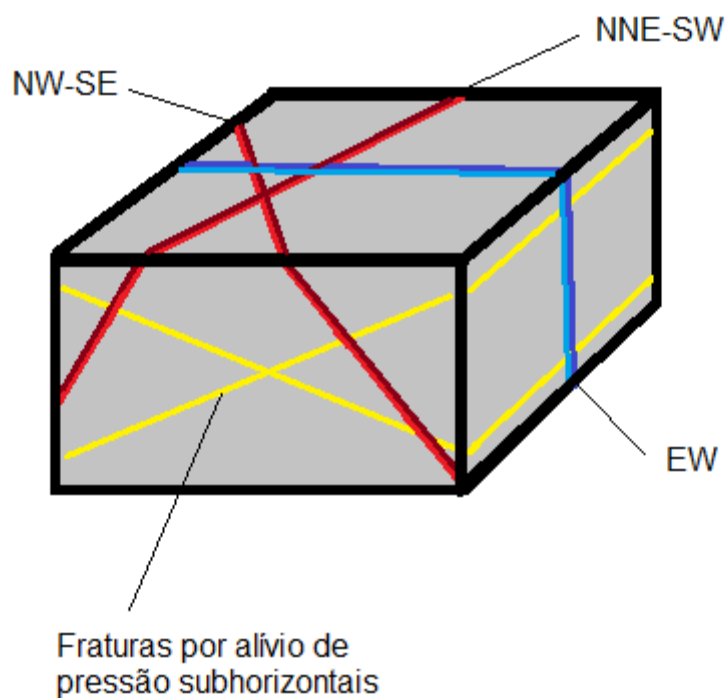


Figura 23: Modelo geométrico de fraturas para a região do município de Louveira-SP.



Figura 24: Afloramento de metarenito com destaque para a orientação NE e NW.

As falhas EW (Figura 25), com caimento sub vertical, recortam o pacote todo interceptando todas as famílias em níveis rasos e profundos, e apresentam excelente espaçamento de até 10 cm em algumas áreas rasas do município, formando um sistema de captação e alimentação dos lineamentos NE, com captação de água tanto da família NW-SE,

quando das outras famílias secundárias e de pouca representação estatística no conjunto, como famílias sub-horizontais que ocorrem de forma esparsa.

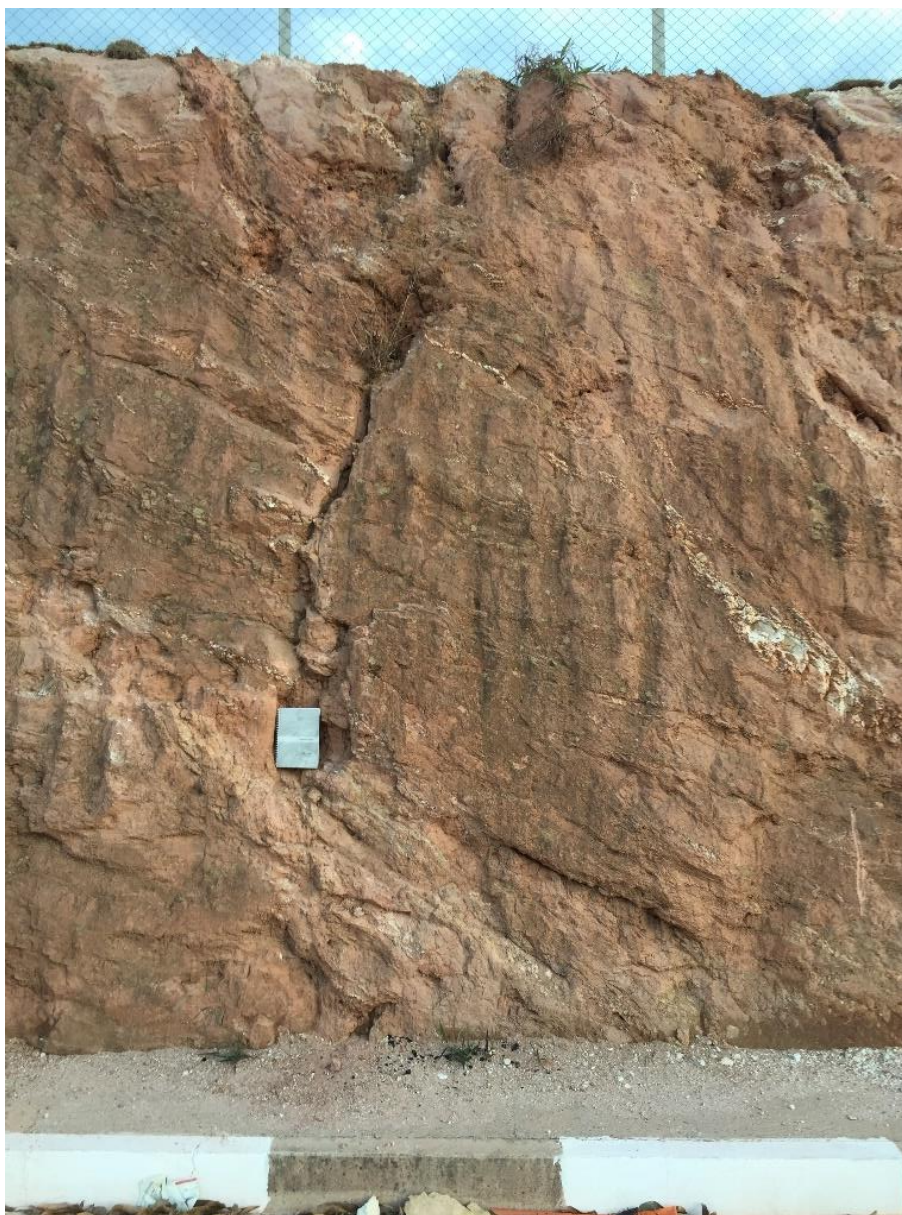


Figura 25: Afloramento correspondente ao ponto 21, apresentando falha de orientação EW, em metasedimentos intemperizados e com foliação sub-horizonta.

A (Figura 26), expõe um estereograma, com a totalidade das medidas estruturais (130), confirmando a relação e o padrão na distribuição das famílias.

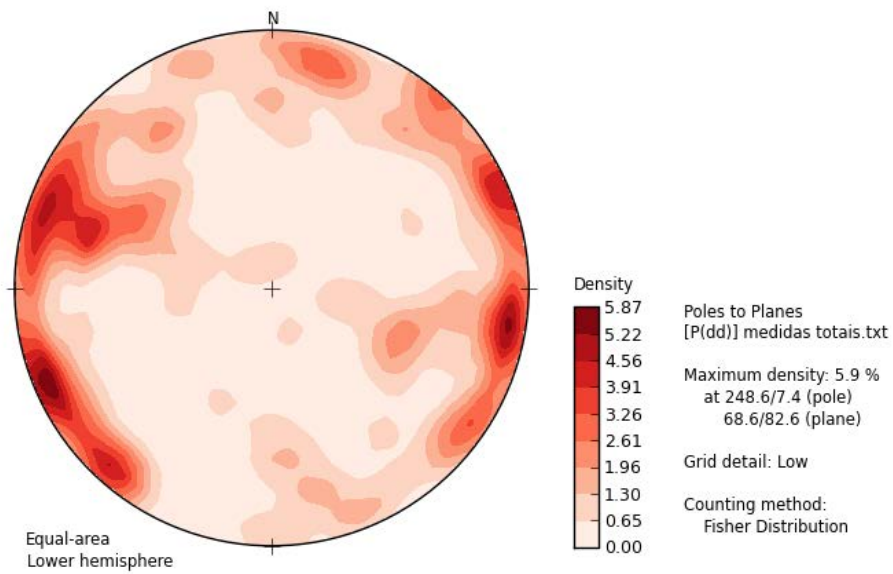


Figura 26: Estereograma da totalidade de medidas apresentando 3 famílias preferenciais, NNE-SW, NW-SE e uma EW.

A (Figura 27) consiste em um diagrama de roseta, da totalidade das medidas, representando a distribuição em porcentagem e orientação dos planos de fraturas e falhas.

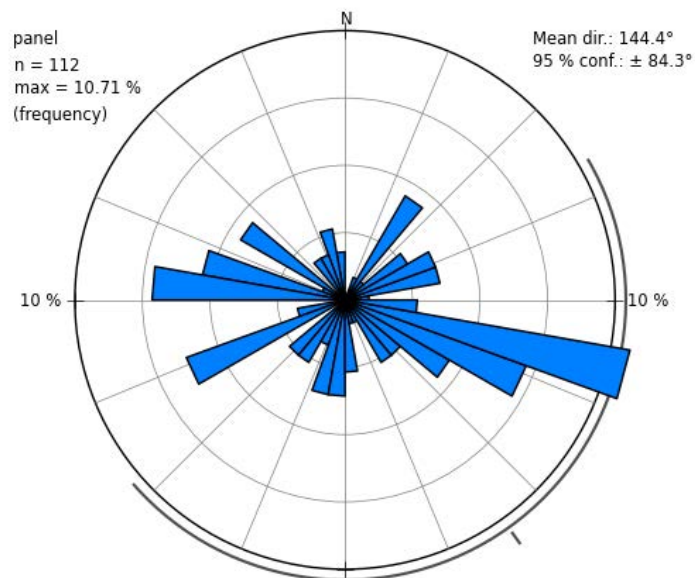


Figura 27: Roseta da totalidade das medidas, representando a distribuição em porcentagem e orientação dos planos de fraturas e falhas.

O histograma (Figura 28), representa a totalidade das medidas, demonstrando a quantificação e distribuição das famílias de fraturas para o município de Louveira-SP.

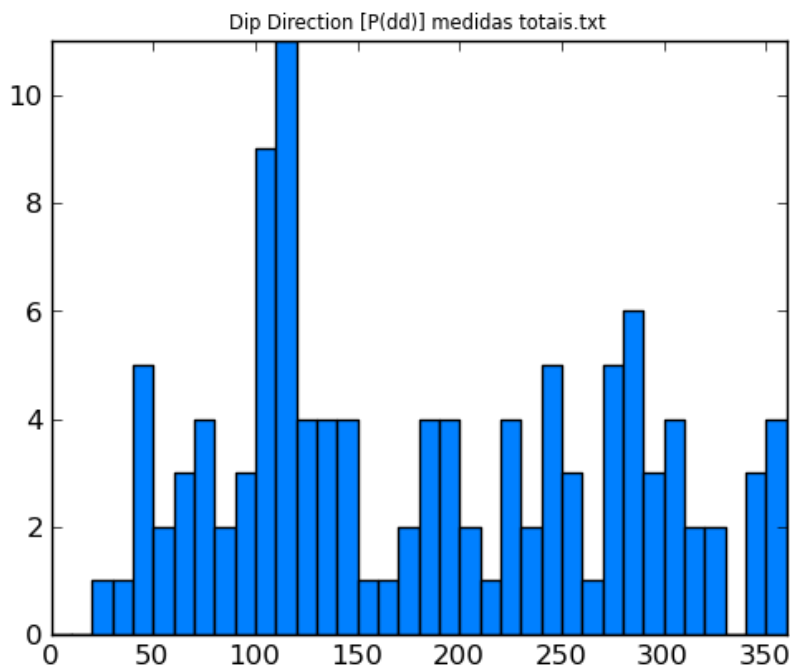


Figura 28: Histograma da totalidade das medidas, demonstrando a quantificação e distribuição das famílias de fraturas para o município de Louveira-SP.

A tabela a seguir (Figura 29) apresenta a relação entre a família, a abertura das fraturas e o preenchimento.

FAMÍLIA	ABERTURA	PREENCHIMENTO	CAMPO DE TENSÃO
NW-SE	1mm-1cm	Quartzo, Sedimentos arenosos, Matéria.orgânica	Tração
NNE-SW	1mm-1cm	Quartzo, Sedimentos arenosos, Matéria.orgânica	Cisalhamento
EW	1mm-10cm	Sedimentos arenosos, Matéria.orgânica	Cisalhamento

Figura 29: Tabela correlacionando cada família com sua caracterização.

7.3 Descontinuidades

As descontinuidades estão diretamente ligadas ao comportamento heterogêneo e anisotrópico dos aquíferos fraturados. Embora as rochas cristalinas ocupem grandes extensões em área e em profundidade, o controle estrutural não permite que o sistema de fluxo se estenda por grandes distâncias (Singhal e Gupta, 1999). Porém, algumas zonas densamente fraturadas, ou mesmo de rocha totalmente fragmentada, podem se estender por dezenas de quilômetros, formando grandes condutores hidráulicos (Gustafsson e Krásný, 1994).

Descontinuidade é um termo genérico que pode ser utilizado para designar fraturas, planos de acamamento, clivagem, foliação e zonas de cisalhamento. Do ponto de vista genético, as descontinuidades podem ser agrupadas nas seguintes categorias:

a. Planos de acamamento: é a descontinuidade mais importante da rocha que confere anisotropia e influencia o fluxo da água pela zona vadosa; b. Foliação e clivagem: a foliação em rochas metamórficas tem uma profunda influência no movimento da água subterrânea, possuindo quase o mesmo papel do acamamento das rochas sedimentares; c. Fraturas: As fraturas são planos ao longo dos quais houve perda parcial ou total da coesão da rocha. Elas se destacam, mais do que as outras descontinuidades, no controle do fluxo da água subterrânea.

Banks et al. (1992) separam as fraturas e as zonas de fraturas em três grupos: c1. Fraturas individuais que formam superfícies relativamente planas, sem cominuição ou formação de brechas; c2. Zonas de fraturas com mais de uma família ou conjunto de fraturas com espaçamento reduzido, onde há apenas um grau limitado de cominuição e alguma formação de brecha, mas onde os planos de fraturas individuais são ainda reconhecíveis; c3. Zonas de fraturas com alto grau de cominuição (*crush zones*), onde os planos de fraturas individuais não podem ser distinguidos. Essas zonas tipicamente contêm brecha de falha formada por clastos de tamanhos variados, de matacões a farinha de rocha. Frequentemente não há limites nítidos entre esses tipos de fraturas. Uma zona de fratura do tipo “c1”, por exemplo, pode ser truncada por zonas de fratura do tipo “c2”, onde a frequência de fraturas diminui com o aumento da distância da zona fraturada principal. As zonas de fratura dos tipos “c2” e “c3” são tipicamente feições que dão origem às anomalias topográficas e geofísicas. A abertura original das fraturas depende do arranjo de tensões que as gerou. Do ponto de vista genético, as fraturas de tração são mais produtivas do

que as de cisalhamento. As fraturas de tração são mais abertas, enquanto as de cisalhamento têm abertura menor e são frequentemente preenchidas.

O comportamento das fraturas de cisalhamento pode ser complexo, dependente da intensidade da deformação (Banks e Robins, 2002) e da natureza da rocha (Figura 30). Além disso, a evolução tectônica com superposição de vários eventos é um importante fator a ser investigado, pois pode haver tanto fechamento quanto abertura de fraturas preexistentes, conforme a mudança no regime de tensões.

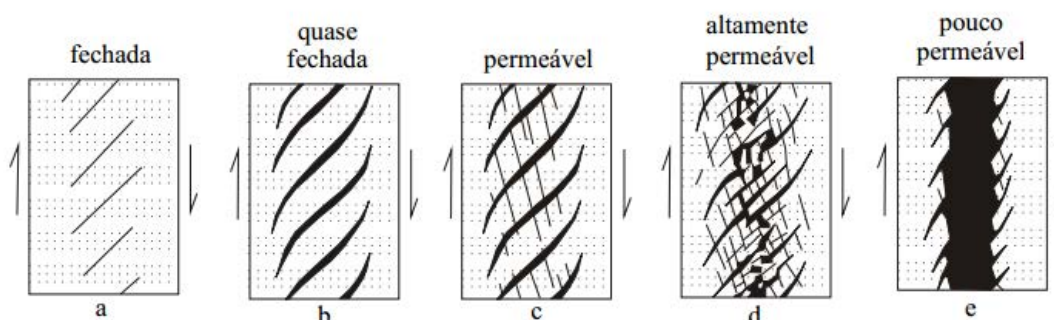
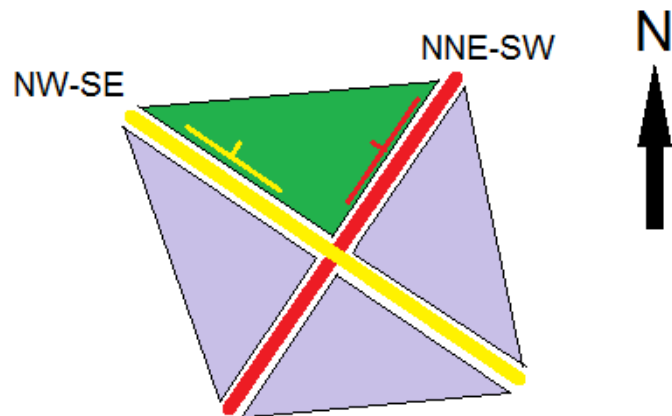


Figura 30: Estágios de desenvolvimento de uma zona de fraturas de cisalhamento (Banks e Robins, 2002).

O sucesso na perfuração de poços em aquíferos cristalinos depende de o furo interceptar um número de fraturas suficientemente transmissivas que estejam associadas a um sistema de fraturas fortemente interconectadas (Banks, 1992). Juntas planares subhorizontais, quando interconectadas por juntas sub-verticais formam uma importante fonte de água para poços rasos (Carruthers et al., 1991). Estas juntas são mais abertas e têm pequeno espaçamento próximo à superfície, mas sua frequência e abertura decrescem em profundidade.

Ao se observar e correlacionar o contexto e a distribuição das estruturas na região, estabelece-se um zonamento preferencial de intersecção entre os planos gerados pela disposição e organização das estruturas, conform e pode ser observado na (Figura 31), uma interpretação prévia do contexto de intersecção das famílias, associado ao conjunto de falhas EW, permite atribuir o valor c1 e c2, ao zoneamento de coloração verde.

O modelo se encaixa no contexto local, pois os campos de tensões se aplicam mutuamente, tanto ao regime de tração quanto ao regime de cisalhamento, os quais os corpos foram submetidos em diferentes estágios da evolução tectônica.



LEGENDA

- Zona preferencial de intersecção dos planos
- Zona não preferencial de intersecção dos planos
- Família de fraturas NNE-SW com caimento para NW
- Família de fraturas NW-SE com caimento para NE

Figura 31: Zoneamento preferencial gerado pelo padrão de interferência das famílias de fraturas, aplicado ao estudo de potencial, correspondem a superfícies potenciométricas.

Na área de estudos as observações estão de acordo com os trabalhos prévios, realizados em áreas próximas e de natureza similar. No que diz respeito ao agrupamento de estruturas estudadas, apresentam preferencialmente dois domínios estruturais, delimitados basicamente um pela presença de granitóides de idade Neoproterozóico e gnaisses, migmatitos, xistos, calcissilicatadas e arenitos de idades Arqueano / Paleoproterozóico, cada qual apresentando seu característico padrão de interferência entre as famílias de fraturas, porém todo o conjunto sendo influenciado pela neotectônica, gerando lineamentos NW, NEE, e EW comuns aos domínios, os polígonos de delimitação dos domínios estruturais, basicamente correspondem ao mapa geológico preliminar da área como pode ser visualizado na (Figura 32).

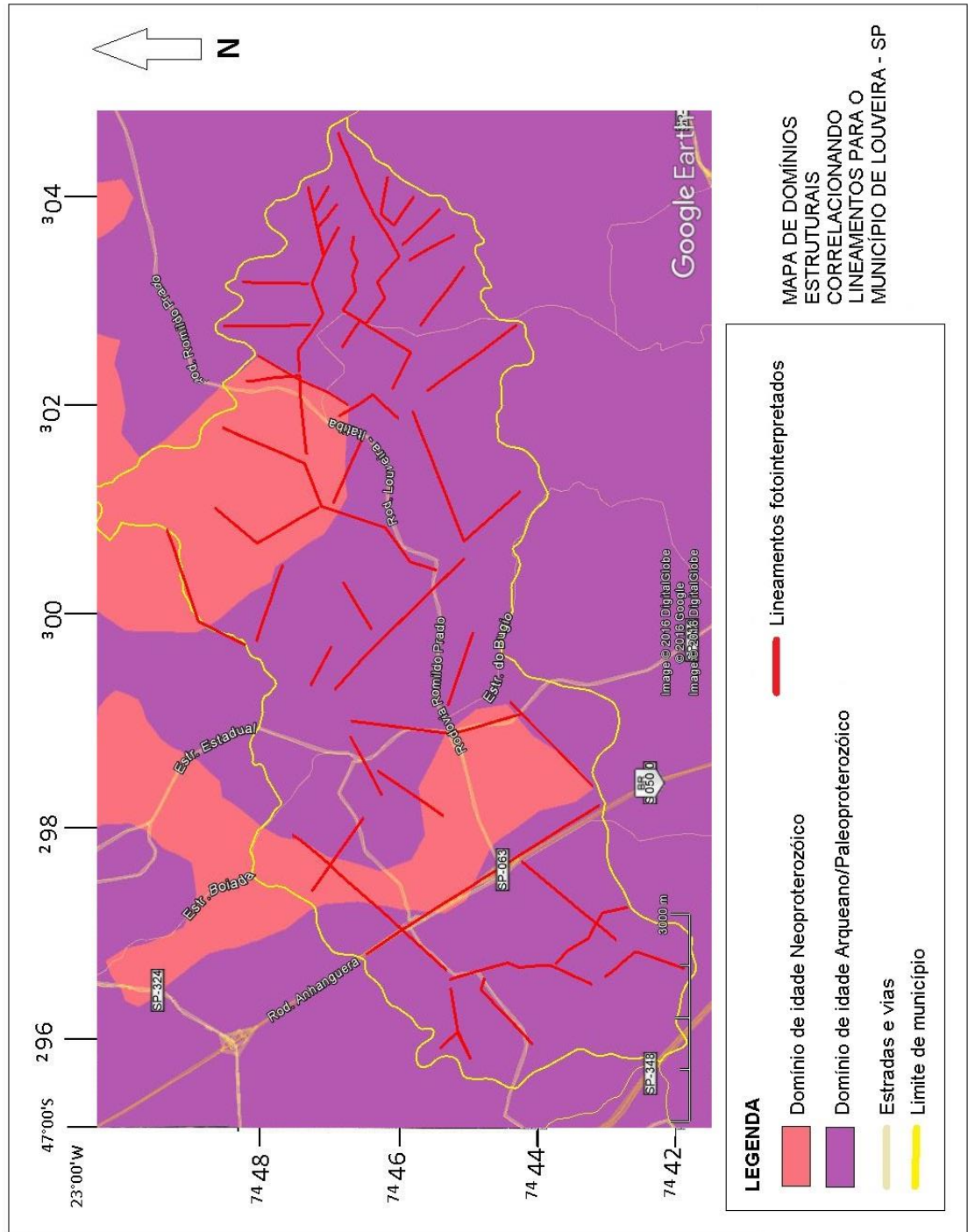


Figura 32: Padrão de lineamentos juntamente dos domínios estruturais no município de Louveira-SP.

8 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Por suas características litológicas, as rochas cristalinas se constituem em um meio aquífero de condições hidrogeológicas heterogêneas e anisotrópicas. A porosidade intersticial destas rochas é muito reduzida, ficando sua permeabilidade restrita às condições de percolação através dos planos de descontinuidades (Rebouças 1978, Costa 1980). Desta forma, a vazão obtida em cada poço tubular está relacionada ao número e às condições de abertura das fraturas atravessadas pelas perfurações

Na porção nordeste do Estado de São Paulo, Del Rey (1991) constata que os poços localizados em relação a fraturas direcionadas em N10-40E e N60-80E apresentam, em média, vazões três vezes maiores do que se registram em outras direções e capacidades específicas duas vezes superiores. Estas estruturas teriam se originado por esforços orientados segundo N10W subhorizontal (distensivo), N80E sub-horizontal (compressivo) e um terceiro subvertical (intermediário).

Na região de Campinas próxima ao município de Louveira, Fernandes (1997) analisa a produção de poços de água subterrânea, vinculando seu posicionamento em relação a lineamentos estruturais e domínios tectônicos, onde considera os eventos tectônicos rúpteis mais atuantes em pequenas áreas pré-selecionadas. Os lineamentos relacionados às maiores produções são os de direção NW, NNE e, subordinadamente, EW.

As (Figura 33), permite uma correlação inicial entre os lineamentos, as zonas com poços de maior produtividade e os domínios estruturais, na legenda do mapa, poços de vazão inadequada constituem poços com vazão entre 0 e 10m³/h, enquanto que poços acima desses valores, caracterizam contexto de vazão adequada.

Quanto ao contexto geomorfológico da região, ao se analisar as relações dos poços mais produtivos com o mapa topográfico e de lineamentos, percebe-se que os poços mais produtivos estão situados próximos a lineamentos EW e NE e sempre posicionados no lado oeste dos mesmos. Estes lineamentos se associam a uma feição morfológica do terreno onde, de um lado da encosta tem-se uma vertente mais íngreme e do lado oposto uma vertente de declividade mais suave. Tais feições já foram descritas na região de Jundiá, cidade localizada a sul do município de Louveira, e interpretadas como sendo correspondentes a escarpas de falhas normais formadas por reativação de descontinuidades preexistentes, segundo Neves (1999). Na vertente mais íngreme, ou seja, na escarpa de falha, afloram gnaisses do embasamento cristalino

e a vertente oposta, com textura e declividade mais suave, é recoberta por coberturas coluvionares. Estas coberturas são controladas por lineamentos estruturais que compartimentam também o relevo, ou seja, possivelmente por feições estruturais de planos antigos reativados.

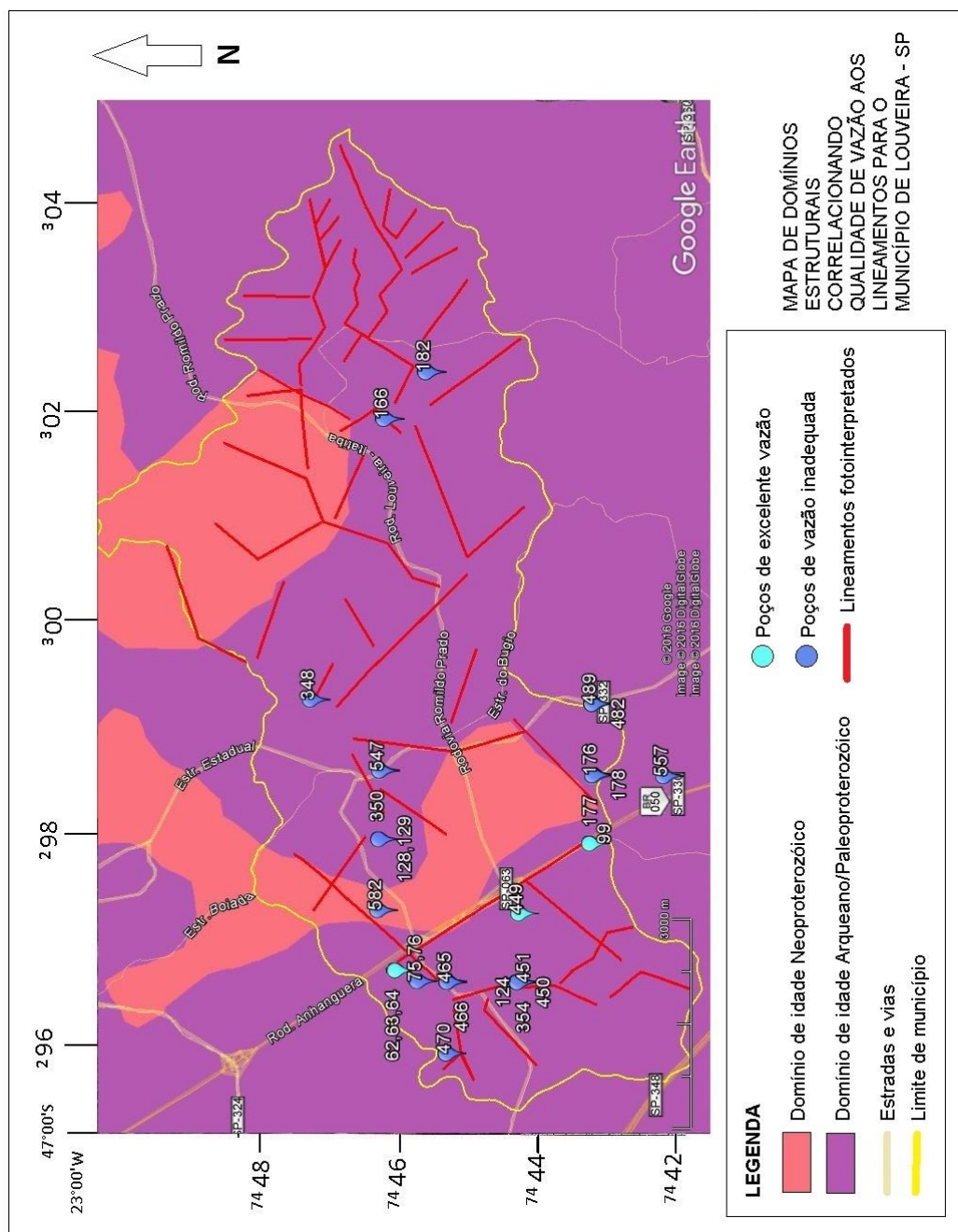


Figura 33: Mapa de poços cadastrados, associando lineamentos, ao litotipo, domínio estrutural e qualidade de vazão.

A área do município apresenta, diferente potencial de vazão para cada litotipo, excluindo o domínio estrutural dos granitoides Neoproterozoicos, que vai de nulo a muito baixo com vazões de 0 a 3m³/h, segundo dados apresentados no (Anexo 1), não evidenciando potencial para exploração no abastecimento público/industrial, somente, residencial.

Pôde ser observado, que nas áreas de ocorrência de xistos ocorre um incremento no espaçamento das falhas e fraturas conforme se aproxima da superfície, possivelmente caracterizado pela baixa resistência ao intemperismo do mesmo, e os poços localizados sobre os xistos são os que apresentam os maiores índices de vazão (demarcados em vermelho no Anexo 1) e eficiência no abastecimento contínuo. Mesmo com uma foliação (N 190/10, N 200/10 e N 180/10) sub-horizontal penetrante no xisto, ela não possui representatividade na percolação da água em subsuperfície, possivelmente pelo nulo espaçamento entre os planos, apresentando somente correspondência com a orientação de pequenos córregos em superfície.

Os poços em verde claro na (Figura 33), correspondem aos poços 62, 99 e 449, e apresentam respectivamente as vazões de 17,6m³/h, 20m³/h e 24m³/h, sendo estas as maiores do município em poços não freáticos, ocorrendo em xistos e complementados pelos lineamentos NE e EW, sendo possível observar um padrão entre a vazão, os lineamentos NE, e a geomorfologia do vale o qual estão posicionados.

Os demais litotipos apresentam, vazões variáveis e inconstantes para o abastecimento do município, sendo que os poços alocados próximos a vales e ao lineamento NE, apresentam vazões interessantes entre 5 e 9m³/h, mas inferiores em relação aos poços apresentados no texto acima. Poços como o 182, 89, 124, 128, 129, 448 estão dentro desta categoria, um mapa com o número dos poços mais elaborado pode ser visto na (Figura 34), eles apresentam contexto semelhante aos poços de alta vazão, porém, estão em condições de maior cota e alguns não necessariamente sobre os metasedimentos.

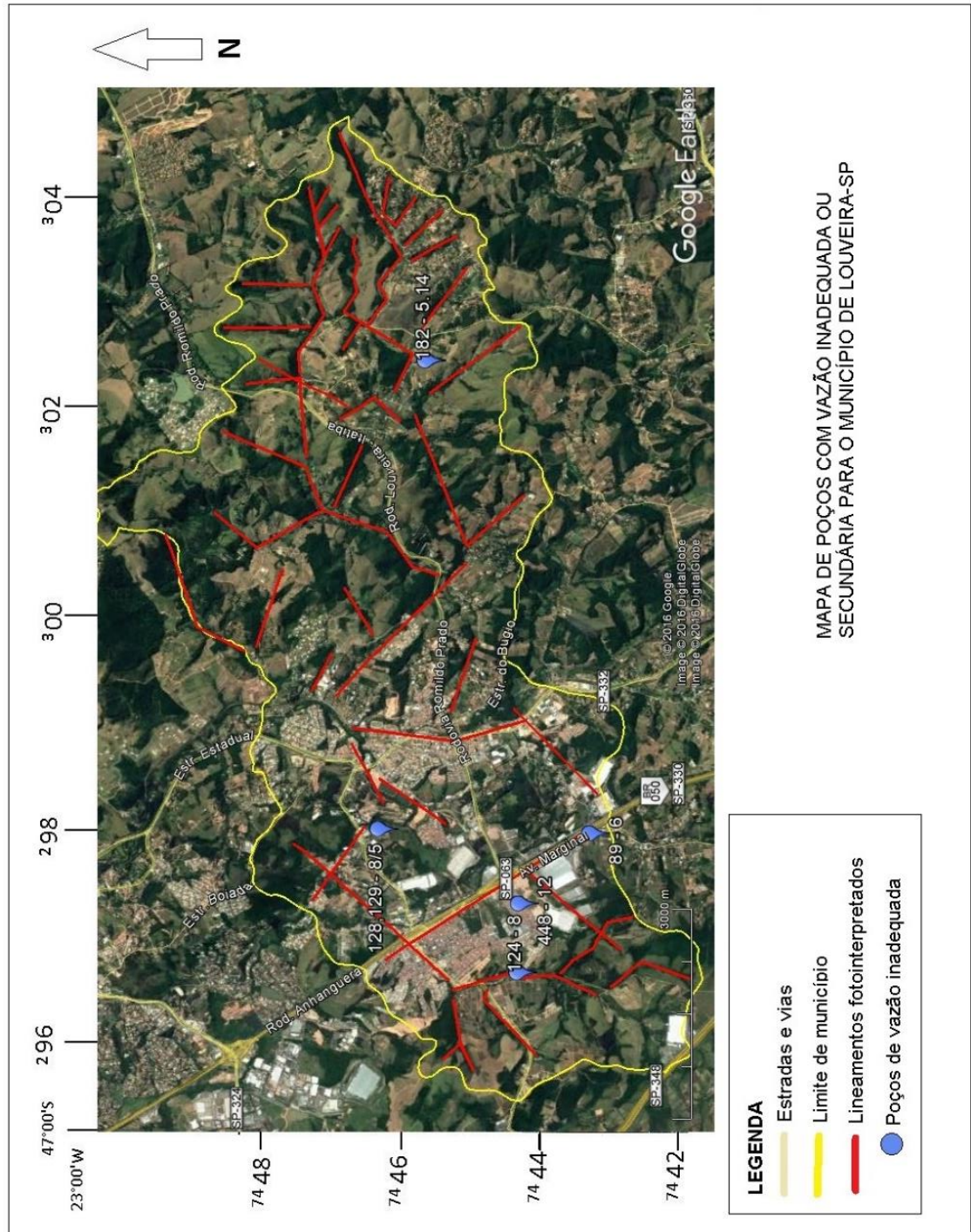


Figura 34: Mapa de poços, em situação favorável com vazão intermediária, apresentando as respectivas numerações de cadastro e vazão média.

Dois modelos complementam a caracterização diagnóstica da relação entre as estruturas, foliação, fraturas, falhas, evidenciando a significância das estruturas na modelagem do relevo em superfície e subsuperfície, eles serão explicados logo abaixo.

Um importante fato a se observar, é a relação que existe entre a xistosidade e a geomorfologia na orientação de cursos da água na área, uma vez que se define o xisto como o

litotipo de maior contribuição para o sistema. A situação corresponde claramente a um modelo que foi objeto de caracterização por Avelino da Silva (2000) e Nascimento da Silva *et al.* (2001), o modelo Calha Elúvio-Aluvionar (Figura 35). Neste modelo, a drenagem e a calha de sedimentos não evidenciam controle por fraturas subjacentes ou aflorantes. Desse modo, trechos retilíneos da drenagem podem estar controlados pela foliação da rocha.

Os aspectos diagnósticos do modelo incluem: seção espessa de aluviões e regolito ao longo de drenagens retilíneas ou curvilíneas, ou mesmo em áreas mais amplas, topograficamente rebaixadas, zona intemperizada (por vezes coincidindo com zonas de foliação fortemente penetrativa) no substrato, ausência de relação direta com zonas fraturadas paralelas à drenagem e clima são requeridas para desenvolver uma cobertura mais espessa, como ocorre na região. Por conta deste sistema não possibilitar uma infiltração eficiente, ele contribui diretamente com o abastecimento de outros sistemas de falhas, quando os intercepta, superficialmente. O modelo que representa o principal sistema de estruturação dos aquíferos fraturados na região, e é conseqüentemente abastecido pelos sistemas secundários citados logo acima, consiste no clássico, modelo Riacho-Fenda (Siqueira, 1967) (Figura 36), no qual trechos retilíneos de riachos coincidem com zonas fortemente fraturadas, isto permite que as fraturas sejam periodicamente recarregadas pela drenagem. “Cotovelos” e trechos retilíneos de riachos constituem sítios favoráveis, identificáveis em fotografias aéreas e imagens de satélite, sendo diagnósticos do modelo quando subsidiados por intenso faturamento nos afloramentos, compatível com a orientação da drenagem, como também ocorre na região.

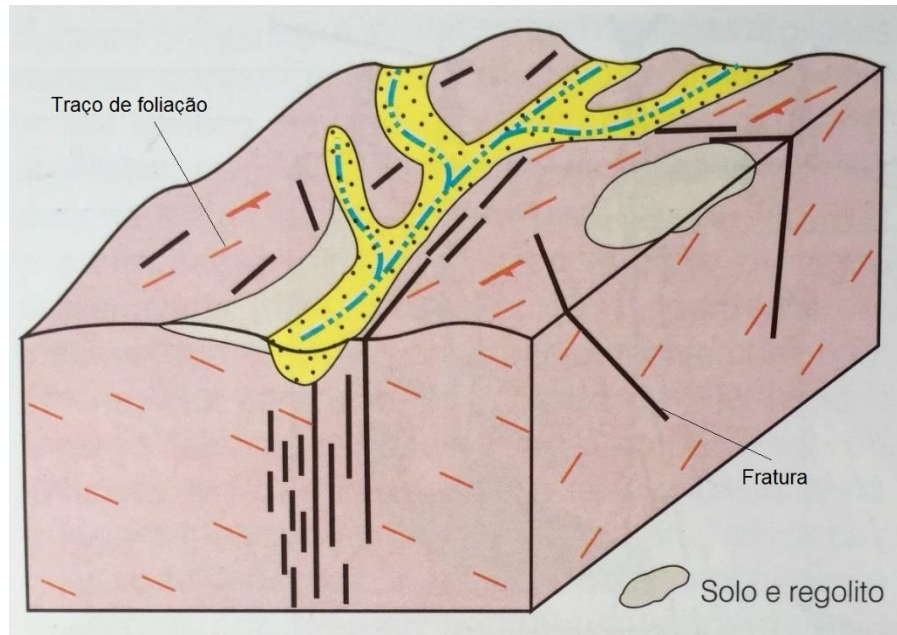


Figura 36: Modelo Riacho-Fenda, onde ocorre intenso faturamento paralelo ao trecho retilíneo da drenagem. A água está armazenada preferencialmente nas fraturas, que são periodicamente recarregadas pela drenagem. Esse sistema corresponde a família NE no município, sendo o principal componente dos sistemas de poços com vazão superior a 10m³/h. Fonte: Avelino da Silva (2009) e Nascimento da Silva et al. (2001).

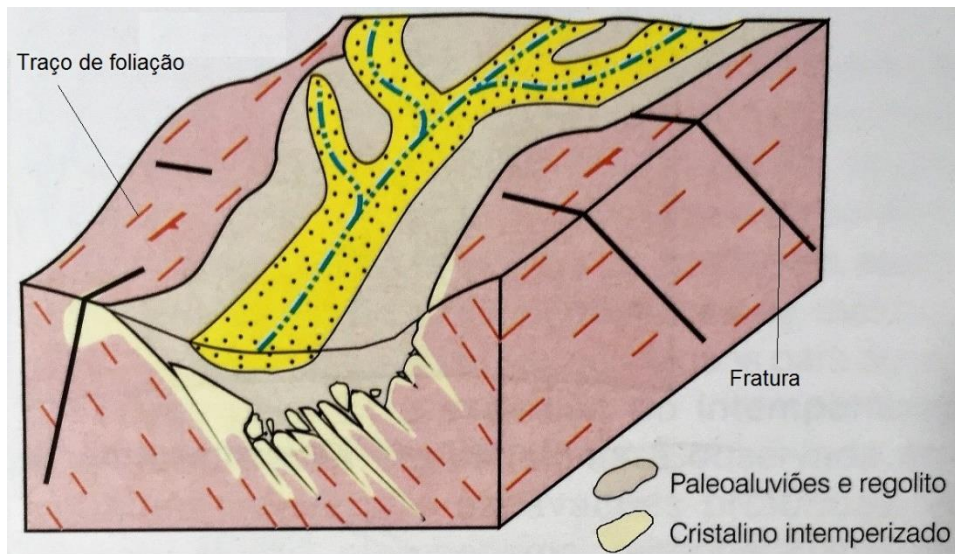


Figura 35: Modelo Calha Elúvio-Aluvionar, nesse modelo, a drenagem não evidencia controle por fraturas paralelas, trechos retilíneos podem estar controlados pela foliação do substrato cristalino, como ocorre nos xistos. Fonte: Avelino da Silva (2009) e Nascimento da Silva et al. (2001).

Gerando-se uma correlação entre os seguintes fatores:

- 1) Geomorfologia propícia: Encosta de vales NW, entre as cotas 600m e 750m
- 2) Litotipo favorável: Xisto fortemente intemperizado e metasedimentos
- 3) Estruturas favoráveis: Intersecção entre as famílias NW, NE e as falhas WE
- 4) Dados de poços: Índice de vazão e produtividade
- 5) Levantamento histórico: Dados climáticos, de exploração dos mananciais, e desenvolvimento da ocupação urbana.

Se obtém como resultado um mapa de zoneamento (Figura 30) para áreas preferenciais na delimitação de alvos para perfuração de poços, com boas chances de apresentarem uma vazão adequada para o projeto de abastecimento público.

As Figuras 31 e 32, por fim, complementam o mapa de zoneamento, associando, os lineamentos, aos domínios estruturais, demonstrando a área de abrangência, integração e influência de cada um dos fatores citados acima.

O zoneamento pôde ser compartimentado em duas zonas, uma zona preferencial primária e uma zona preferencial secundária, sendo que a zona primária representa o alvo de maior probabilidade em se obter bons resultados na perfuração de poços, resultado esse que se dá principalmente pela relação entre os fatores citados acima, e a prevalência de xisto intemperizado, enquanto que a zona secundária, apresenta as mesmas condições geomorfológicas, estruturais, porém em associação com outras litologias não tão propícias, como metarenitos, gnaisses e migmatitos também intemperizados em graus variados.

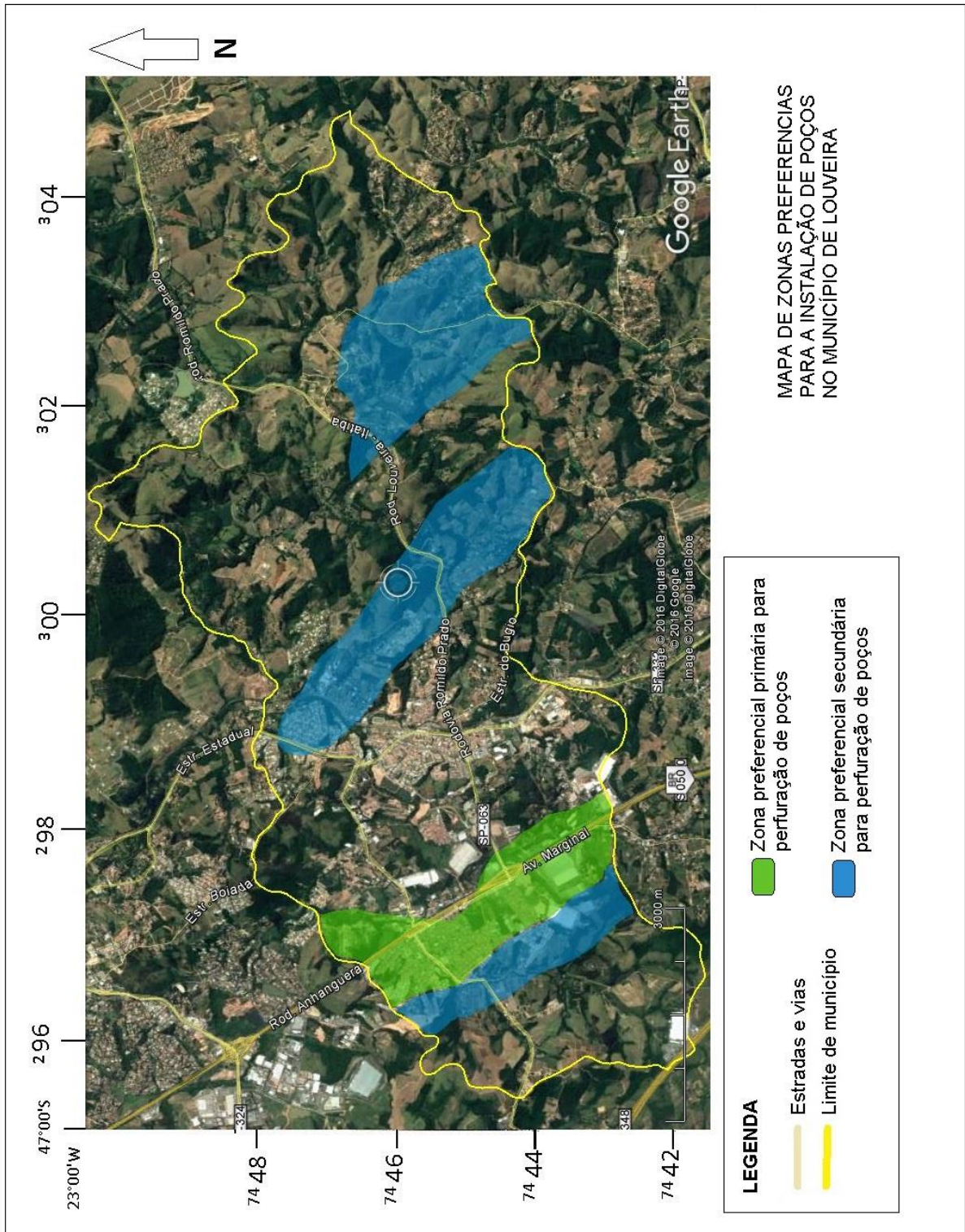


Figura 30: Mapa final de zoneamento das áreas mais propícias para a perfuração de poços.

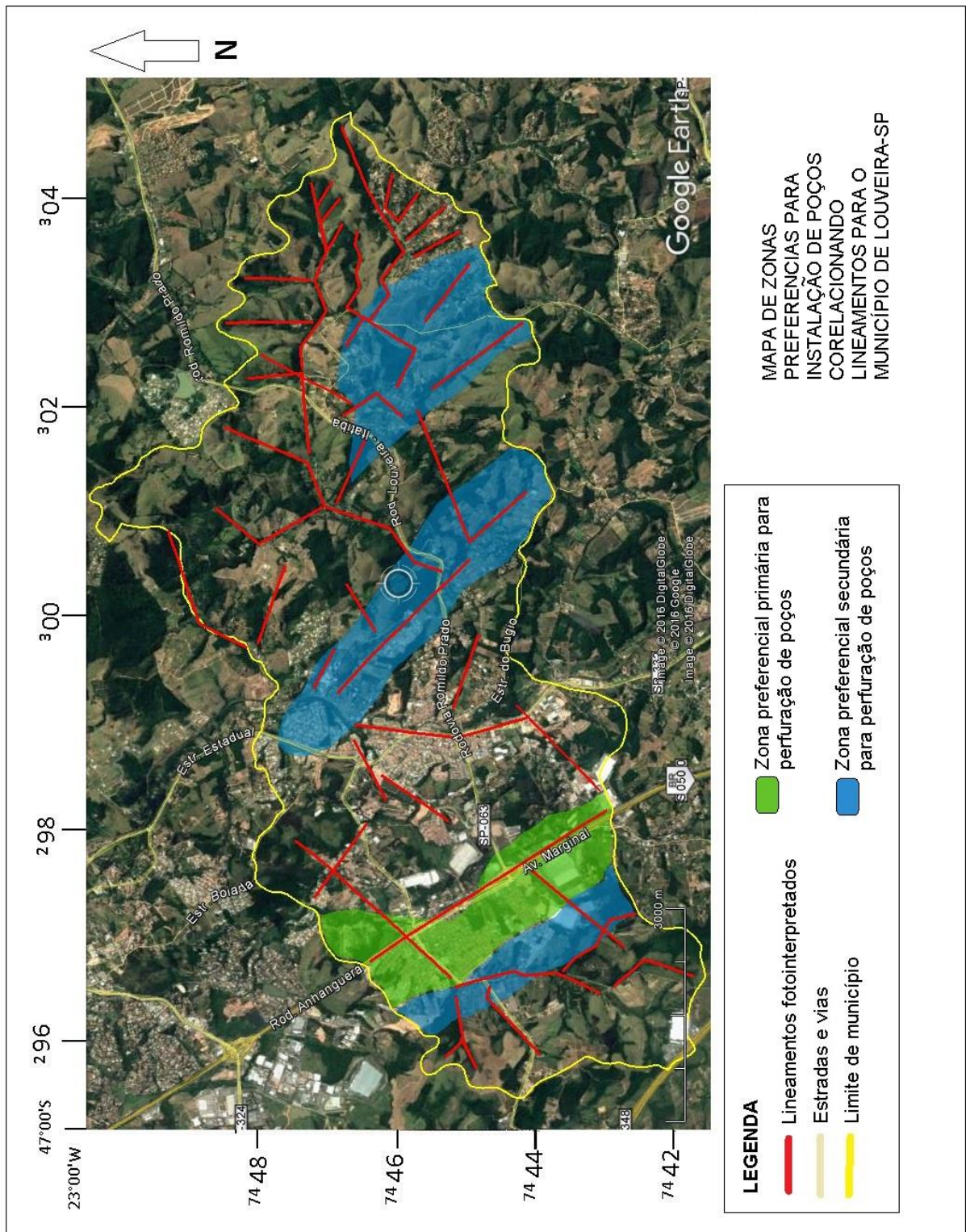


Figura 31: Mapa final de zoneamento das áreas mais propícias para a perfuração de poços correlacionando com os lineamentos fotointerpretados.

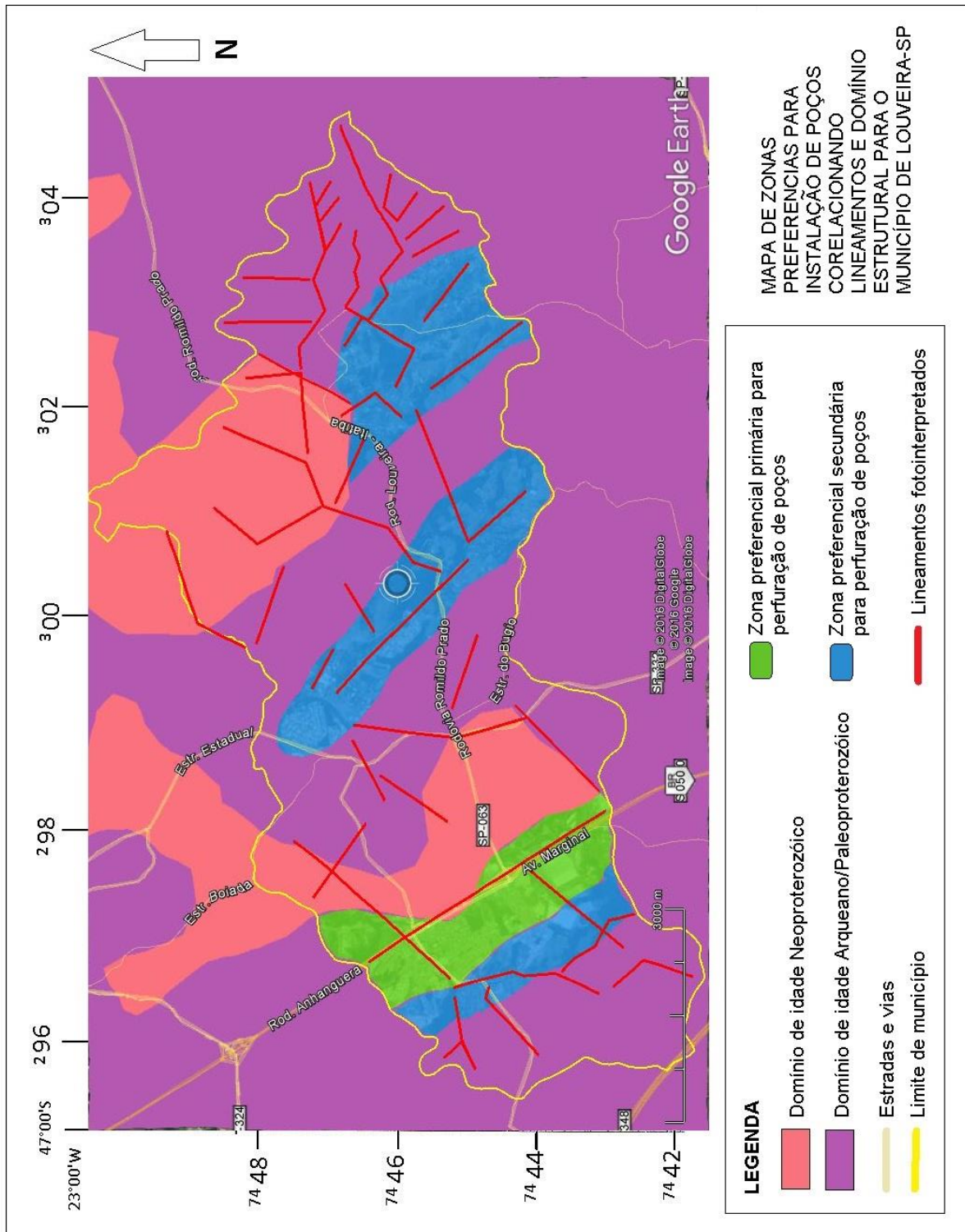


Figura 32: Mapa final de zoneamento das áreas mais propícias para a perfuração de poços correlacionando com os lineamentos fotointerpretados e os domínios estruturais.

Com base nos resultados apresentados anteriormente e o desenvolvimento deste trabalho, foi possível constatar a relevância dos métodos empregados, para estudos de análise e interpretação da distribuição geométrica das estruturas, e o impacto que

representam na produtividade dos poços. A análise integrada de dados de sensoriamento, dados de campo e levantamento bibliográfico, possibilitou um melhor entendimento da distribuição das estruturas, o que tornou possível determinar domínios geológicos estruturais e correlacioná-los com os demais dados.

Os resultados atingiram seu objetivo prático aplicado, com alvos definidos para tanto um posterior estudo com a aplicação de outros métodos complementares, como geofísica, quanto para aplicação direta na prospecção de águas e alocação de poços dentro do município, os demais métodos de pesquisa diretos e indiretos complementarizam os resultados com informações mais precisas. A maior limitação na coleta de dados na área consiste na escassez de afloramentos com as estruturas preservadas. Os resultados obtidos, demonstraram uma forte relação entre a qualidade da produtividade dos poços e o conjunto de estruturas, juntamente do litotipo e a geomorfologia, porém, sendo mais determinante a presença de certos padrões estruturais, que na área basicamente correspondem a 3 famílias, uma EW e uma NW que alimentam um sistema NE, responsável pela maior produtividade dos poços, quando o mesmo ocorre em xistos, e apresentando índices de vazão secundária nos demais litotipos do embasamento Arqueano/Paleoproterozóico. Nos granitóides Neoproterozóicos a produção é quase nula, não representam alvos adequados para exploração.⁷

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA F.F.M.; AMARAL G.; CORDANI U.G.; KAWASHITA K. The Precambrian evolution of the South America cratonic margins. In: **Ocean Basins and Margins** (Edited by A.E.M. Nairn and E.G. Stehli), p.411-446. Plenum Publ. Co, New York, USA. 1973.
- ARTUR, A.C. **Evolução policíclica da infraestrutura da porção Sul do Estado de Minas Gerais e regiões adjacentes do Estado de São Paulo**. 1988. 231f. Tese de Doutorado - IG-USP, 1988.
- ALMEIDA F. F. M.; HASUI, Y. **O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo, Blücher. 1984.
- ANA- Agência Nacional das Águas (Tabela atualizada do banco de dados da (ANA) contendo a atual situação de captação e abastecimento no município de Louveira – SP.<<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Resultados.aspx>>. Acesso em 04 abril 2016)
- BABINSKI, M.; CHEMALE JR.; F., HARTMANN, L. A.; VAN SCHMUS, W. R.; SILVA, L. C. Juvenile accretion at 750-700 Ma in southern Brazil. **Geology**, 24(5):439-442. 1996.
- BALEK, J. **Groundwater resources assessment**. New York. Elsevier. 1989.
- BANKS, D.; ODLING, N. E.; SKARPHAGEN, H.; ROHR-TORP, E. Permeability and stress in crystalline rocks. **Terra Nova**, 8(3), 223-235. 1996.
- BARDIN-CAMPAROTTO, L. **Boletim Técnico Circuito das Frutas**. Book, p. 51, 2013.
- BARDIN, L.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; MORAIS, J.F.L. **Estimativa das Temperaturas máximas e mínimas do ar para a região do Circuito das Frutas, SP**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, p.618-624, 2010.
- BASEI M.A.S.; SIGA JR. O.; REIS NETO J.M.; HARARA O.M.; PASSARELLI C.R.; MACHIAVELLI, A. 1997. Geochronological map of the Precambrian terrains of Paraná and Santa Catarina States, southern Brazil: Tectonic implications. In: **SBG, South American Symposium on Isotope Geology**, 1, Campos do Jordão, 1997. Extended Abstracts..., Campos do Jordão, p. 44-46. 1997.
- BLACK, J. H. **Hydrogeology of fractured rocks**: a question of uncertainty about geometry. Applied Hydrogeology, n. 3, p. 56-70, 1994.
- BRADBURY, K. R.; MULDOON, M. A. Effects of fracture density and anisotropy on delineation of well-head protection áreas in fractured-rock aquifers. **Applied Hydrogeology**, n. 3, p. 17-39, 1994.
- CAVALCANTE, J.C.; CUNHA, H.C.S.; CHIEREGATI, L.A. et al. *Projeto Sapucaí*. Brasília: MME/DNPM, 1979. 299 p. (Relatório Final).
- CAMPOS NETO, M.C. **A porção ocidental da Faixa Alto Rio Grande**: ensaio de evolução tectônica. Tese de Doutorado. IG-USP. Inédita. 270 p. 1991.
- CAMPOS NETO, M.C. Evolução do pré-Cambriano paulista e regiões adjacentes. Simp. Reg. Geol. 5. São Paulo. SBG, 2:661-671. 1985.
- CAMPOS NETO, M.C.; BASEI, M.A.S.; ALVES, F.R.; VASCONCELLOS, A.C.B.C. A Nappe de cavalgamento Socorro, SP-MG. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**. No. 33. Rio de Janeiro, 1984. SBG, 6:1.908-1.922.
- COBRAPE. **Plano das Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010-2020**. p. 780, 2010.
- COLABORADORES, V. **Mapa de águas subterrâneas do estado de SP**. p. 119, 2005.

- COSTA, W.D. A hidrogeologia do cristalino à luz da mecânica das rochas. In: **Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 1, Anais. Recife, ABAS, v. 1, p. 375-83. 1980
- COSTA, W. D. **Análise dos fatores que atuam no aquífero fissural: área piloto dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte**. Tese de Doutorado em Geociências - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1986.
- COSTA, W.D. **Análise dos fatores que influenciam na hidrogeologia do cristalino**. R. Água Subterrânea, Recife, v. 1, n. 4, p. 14-47, 1965.
- CHILTON, P.J.; FOSTER, S.S.D. Hydrological characterization and water-supply potential of basement aquifers in tropical Africa. *Hydrogeology Journal*, New York, v. 3, n. 1, p. 36-49, 1995.
- CURY, L.F.; KAULFUSS G.A.; SIGA JR., O.; BASEL, M.A.S.; HARARA, O.M.; SATO K. Idades U-Pb (zircões) de 1.75 Ga em granitoides alcalinos deformados dos Núcleos Betara e Tigre: Evidências de regimes extensionais do Estateriano na Faixa Apiaí. **Geologia USP: Publicação Especial**, 2: 95-108. 2002.
- DA SILVA, C.C.N.; CORIOLANO, A.C.; DE SÁ, E.J.; DE MEDEIROS, W.E.; AMARO, V.E. Integração de dados estruturais, de sensores remotos e de geofísica na prospecção hidrogeológica em terrenos cristalinos: estudo de casos no Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. In: **Encontro Nacional Perf. Poços**, 12; Simpósio de Hidrogeologia, 4, 2001, Olinda, Anais.[S.I.: s.n] 2001. p445-454.
- DEL REY, A.C. Fraturamento no Nordeste do Estado de São Paulo e sua associação ao comportamento hidrogeológico regional. In: **Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos**, 3, Bol. Resumos. Rio Claro, SBG, p. 197-8. 1991.
- EBERT, H. **Aspectos da geologia da região de São João del Rei**: Os Paraibides entre São João del Rei e Itapira e a bifurcação entre Paraibides e Araxaides. São Paulo. SBG. Suplemento Especial (In Memoriam), 12:1-100. 1984.
- EBERT, H.D.; HASUI, Y. Transpressional tectonics and strain partitioning during oblique collision between three plates in the Precambrian of southeast Brazil. In: Holdsworth, R. E.; Strachan, R. A. Dewey, J. F. (eds) **Continental Transpressional/Transtensional Tectonics**, Geological Society, London, Special Publications 135, PP.:231-252, 1998.
- ELGZELI, Y.M. et al. Impacts of heavy groundwater pumping on hydrogeological conditions in Libya: Past and present development and future prognosis on a regional scale. *Acta Geologica Polonica*, v. 63, n. 2, p. 283-296, 2013.
- ELGZELI, Y. M.; ONDOVCIN, T.; HRKAL, Z.; KRÁSNÝ, J.; MLS, J. 2. **Impacts of heavy groundwater pumping on hydrogeological conditions in Libya**: Past and present development and future prognosis on a regional scale. *Acta Geologica Polonica*, 63(2), 283-296. 2013.
- FERNANDES, A.J. **Tectônica Cenozóica na Porção Média da Bacia do Rio Piracicaba e sua Aplicação à Hidrogeologia**. Tese de Doutorado,IG/USP,São Paulo,244 p. 1997.
- FERNANDES, A.J.; CAMPOS NETO, M.C.; FIGUEIREDO, M.C.H. 1990. O Complexo Embú no leste do Estado de São Paulo: limites e evolução geológica. In: **SBG, Congresso Brasileiro de Geologia**, 36, Natal, 1990. Anais., Natal, v. 6, p. 2755-2763, 1990.
- FOLHA DE NOTÍCIAS (Folha Notícias, *Crescimento Populacional de Louveira*, <<http://folhanoticias.com.br/porta/noticia.php?id=14720>>. Acesso em 05 abril 2016)
- GOVERNO do Estado de São Paulo. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo : escala 1:1.000.000 : nota explicativa / [coord. geral Gerônimo Rocha]. São Paulo, Depto. Águas Energia Elétr. – Inst. Geol. – Inst. Pesq. Tecnol. Est. S. Paulo – Comp. Pesq. Rec. Min., 119p. **Publicação especial PETROBRAS-UFPR**, 16p. 2005.

GEOBANK (Banco de dados do Serviço Geológico do Brasil - CPRM, <<http://geobank.cprm.gov.br/>>. Acesso em 04 abril 2016)

HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; COIMBRA, A. M. The Ribeira folded belt. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5. n. 4, p. 247-266, 1975.

HASUI, Y.; OLIVEIRA, M.A.F. Província Mantiqueira. Setor Central. In: Almeida' F.F.M. & Hasui. (Cds), O Pré-Cambriano do Brasil. Edgard Blücher Ltda. São Paulo. pp. 308-344. 1984.

HEILBRON M.; PEDROSA-SOARES A.C.; CAMPOS NETO M.; SILVA L.C.; TROUW R.A.J.; JANASI V.C. A Província Mantiqueira. In: V. Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B. Brito Neves (eds.) **O Desvendar de um Continente: A Moderna Geologia da América do Sul e o Legado da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo, Ed. Beca, cap. XIII, p. 203-234. 2004.

HISCOCK, K. **Hydrogeology: principles and practice**. 1. ed. Oxford. Blackwell publishing, 2009.

INPE (Banco de dados pluviométricos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, <<http://bancodedados.cptec.inpe.br/estatisticas/>>. Acesso em 05 abril 2016).

IBGE (Banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, <<http://downloads.ibge.gov.br>>. Acesso em 04 abril 2016).

IBGE (Pesquisa demográfica estatística populacional <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/estudos_especiais.php>. Acesso em 05 abril 2016).

JANASI, V.A.; ULBRICH, H.H.G.J. **Avaliação das informações disponíveis para granitoides do Estado de São Paulo**. Simp. Reg. Geol., 1.São Paulo, 1985.S8G,1:733-t46. 1985.

JANASI, V.A.; ULBRICH, H.H.G.J. **Late Proterozoic granitoid magmatism in the State of São Paulo, Southeastern Brazil**. Precambrian Res., 51:351.-37 4. 1991.

JANASI, V.A.; ALVES, A.; VLACH, S.R.F.; LEITE, R.J. Granitos peraluminosos da porção central da Faixa Ribeira, Estado de São Paulo: Sucessivos eventos de reciclagem da crosta continental no Neoproterozóico. **Geologia USP: Publicação Especial**, 3:13-24. 2003.

KAULFUSS, G.A. **Geocronologia dos núcleos de embasamento Setuva, Betaraé Tigre, norte de Curitiba, Paraná**. São Paulo, IGc-USP, Dissertação Mestrado, 115 p. 2001.

LACHASSAGNE, P.; WYNS, R.; BERARD, P. et al. Exploitation of high-yields in hardrock aquifers: Downscaling methodology combining GIS and multicriteria analysis to delineate field prospecting zones. *Ground Water*, Westerville, EUA, v. 39, n. 4, p. 568-581, 2001.

LOPES, M.F.C. *Condições de Ocorrência de Água Subterrânea nas Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari*. 1994. 83 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas, 1994.

MANOEL FILHO, J. **Modelo de dimensão fractal para avaliação de parâmetros hidráulicos em meio fissural**. 1996. 197 f. Tese de Doutorado – Instituto de Geociências. USP, São Paulo, 1996.

MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNERIO, C.D.R.; BRITO-NEVES, B.B.DE. orgs.2004. **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Ed. Beca. 673p.

MME, E. P. E (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA). **Balanco Energético Nacional 2013 - Relatório Final**. p. 284. 2013.

NEVES, M. A.; PEREIRA, S. Y.; MORALES, N. Comportamento do Aquífero Fissural na Microbacia do

- Córrego da Cachoeira, Município de Vinhedo (SP). In: **Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, v. 12, p. 1–17, 2002.
- NEVES, M.A. – **Tectônica Cenozóica da Região de Jundiá (SP)**. Dissertação de Mestrado, IGCE/UNESP, Rio Claro, 135 p.1999.
- ODLING, N. Fluid flow in fractured rocks at shallow levels in Earth's crust: an overview. In: **Deformation enhanced melt segregation and metamorphic fluid transport**. S.I.: s.s,1998. Miner. Soc. Series Books. 1998.
- OPENSTEREO (Software de análise estrutural <<http://www.igc.usp.br/index.php?id=openstereo>>. Acesso em 04 abril 2016)
- PRAZERES FILHO H.J. **Litogeoquímica, geocronologia (U-Pb) e geologia isotópica dos complexos graníticos Cunhaporanga e Três Córregos, Estado do Paraná**. São Paulo, IGc-USP, Dissertação Mestrado, 181 p. 2000.
- RAGATKY, D.; DUARTE, B.P.; TASSINARI, C.C.G. Geochemical and isotope characteristics of the Morro do Pão granitoid, southern Brazil. In: **SBG, South American Symposium on Isotope Geology**, 4, Salvador, 2003. Extended Abstracts. Salvador. v. 1. p. 256-259, 2003.
- REBOUÇAS, A.C. Potencialidades hidrogeológicas dos basaltos da bacia do Paraná no Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, 30, Anais. Recife, v. 6, p. 2963-76. 1978.
- REBOUÇAS, A. C.; RICCOMINI, C.; ELLERT, N.; DUARTE, U.; MELLITO, K.M.; SENF, L.A.; DE SOUZA, J.C.S. Diagnóstico Hidrogeológico da RMSP: uso e proteção. In: **Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 8, 1994, Recife. Anais. Recife: ABAS. p. 93-102. 1994.
- REIS NETO, J.M. **Faixa Itaiacoca: registro de uma colisão entre dois blocos continentais no Neoproterozóico, São Paulo**. São Paulo, IGc-USP, Tese Doutorado, 253 p. 1994.
- SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica. *Estudo de Águas Subterrâneas*. São Paulo, 1972.
- SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica. *Caracterização dos Recursos Hídricos no Estado de São Paulo*. São Paulo, 1984. 175 p.
- SILVA, A.J. **Estruturas de acumulação de água em rochas cristalinas: estudo geofísico e geológico de casos no Estado do Rio Grande do Norte**. 2000. 92 f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) -Centro de Geociências. Univ. Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000.
- SINGHAL, B.B.S.; GUPTA, R.P. *Applied Hydrogeology of Fractured Rocks*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1999. 400 p.
- TROMPETTE R. R. **Geology of Western Gondwana (2000-500 Ma): Pan-African-Brasiliano Aggregation of South America and Africa**. Balkema, Rotterdam, 350p., 1994.
- VASCONCELLOS, A.C.B.C. **O Grupo Andrelândia na região a Norte de Ouro Fino, MG**. 1988. 199f. Dissertação de Mestrado - IG-USP, 1988.
- VLACH, S.R.F. **Geologia e petrologia dos granitóides de Morungaba/SP**. Tese de Doutorado em Mineralogia e Petrologia - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- VLACH, S.R.F. Microprobe monazite constraints for an early (ca. 790 Ma) Brasiliano orogeny: The Embú Terrane, Southeastern Brazil. In: SERNAGEOMIN, **Simposio Sudamericano en Geología Isotópica**, 3, Pucón 2001. Extended Abstracts, Pucón, p. 265-268. 2001
- VAN DER SPOEL, E.; ROZING, M. P.; HOUWING-DUISTERMAAT, J. J.; SLAGBOOM, P. E.; BEEKMAN, M.; CRAEN, A. J.; VAN HEEMST, D. **Association analysis of insulin-like growth factor-1 axis parameters with survival and functional status in nonagenarians of the Leiden Longevity**

Study. Aging. Albany, New York, 7 (11), 956. 2015.

ANEXO 1 – TABELA DE POÇOS CADASTRADOS CPRM

APÊNDICE 1 – DADOS DOS AFLORAMENTOS

ponto 1	198 70	poço
	190 80	
108 61	107 80	ponto 12
248 85	105 90	
108 65	125 90	poço
65 90	78 90	
118 85	100 65	ponto 13
182 82	80 85	
40 80		210 60
272 85	ponto 6	275 60
108 65		130 80
275 65	180 60	255 70
	280 80	
ponto 2	195 75	ponto 14
	98 80	
285 85	106 65	260 90
60 70		280 80
102 83	foliação	40 80
112 87		110 25
118 75	180 70	275 80
282 80		350 70
200 10	ponto 7	
195 80		ponto 15
188 50	230 82	
40 75	340 15	poço
178 65	290 45	
242 75	300 40	302 85
58 80	245 50	220 70
	110 35	242 85
ponto 3	106 60	340 83
		90 85
112 75	ponto 8	
130 10		foliação
115 80	lago	
40 85		200 10
110 80	ponto 9	
		ponto 16
ponto 4	164 75	
	345 70	95 85
78 65		305 50
122 70	ponto 10	158 85
128 45		350 55
178 90	poço	280 30
		230 75
ponto 5	ponto 11	290 45
ponto 17		

<p>48 80 38 88 148 65 142 65 202 80 310 80 70 80 133 85 110 45 323 60 55 80 310 75 118 50 250 85 250 88 25 40 115 50 188 80 290 65 278 20 120 55 302 80 225 90 327 78 145 60 220 90 140 75 65 85 70 80 135 45 282 50 360 58 360 45 242 90 80 30 220 70</p> <p>ponto 18</p> <p>drenagem correço aflorante</p> <p>ponto 19, 20 e 21</p> <p>solo com falhas WE</p>		
---	--	--