**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DA
FORMAÇÃO SERRA GERAL EM LONDRINA - PR**

André Celligoi

Orientador: Prof. Dr. Uriel Duarte

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

**SÃO PAULO
1993**

Para Maria Antonia e Marcelo

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004741

RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DA
FORMAÇÃO SERRA GERAL EM LONDRINA - PR

André Celligoi

Orientador: Prof. Dr. Uriel Duarte

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

	nome	ass.
Presidente:	Dr. U. Duarte	
Examinadores:	Dr. A. Pacheco	
	Dr. F. Taioli	

SÃO PAULO
1993

ÍNDICE

	PAG
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2. OBJETIVOS	3
1.3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	3
1.4. ASPECTOS CLIMÁTICOS	4
2. ASPECTOS METODOLÓGICOS	7
2.1. PESQUISA DA DOCUMENTAÇÃO EXISTENTE	7
2.2. TRABALHO DE CAMPO	9
2.3. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	9
3. QUADRO GEOLÓGICO REGIONAL	11
4. CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL	20
4.1. LITOLOGIA	20
4.2. ESTRUTURAS	21
5. HIDROGEOLOGIA	24
5.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE O MODO DE OCORRÊNCIA	24
5.2. CONDICIONANTES HIDROGEOLÓGICOS EM LONDRINA	25
5.2.1. LITOLÓGICOS	25
5.2.2. ESTRUTURAIS	28
5.2.3. GEOMORFOLÓGICOS	33
5.3. MÉTODOS DE EXPLORAÇÃO	35
5.4. ASPECTOS DE RECARGA	38
5.5. CADASTRAMENTO DOS POÇOS	39

PAG

5.5.1. DADOS DOS POÇOS	41
5.5.2. CARACTERÍSTICAS DO AQUÍFERO	44
5.5.3. DADOS DE PRODUÇÃO	47
5.6. PRODUÇÃO DOS POÇOS COM CRITÉRIO HIDROGEOLÓGICO	54
5.7. CONOTAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DOS LINEAMENTOS E-W	59
6. HIDROGEOQUÍMICA	63
6.1. ASPECTOS GEOQUÍMICOS DAS ROCHAS	63
6.2. ASPECTOS GEOQUÍMICOS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	65
6.2.1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA	65
6.2.2. POTABILIDADE	71
7. ÁREAS APROPRIADAS À LOCAÇÃO DE POÇOS PROFUNDOS	73
8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	75
9. BIBLIOGRAFIA	77
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

	PAG
1 - QUADRO DO ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA NA CIDADE DE LONDRINA	2
2 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E ACESSOS	5
3 - GRÁFICOS DA DISTRIBUIÇÃO MENSAL DOS PRINCIPAIS ELEMENTOS METEOROLÓGICOS SEGUNDO AS MÉDIAS CLIMATOLÓGICAS NO PERÍODO 1958-1980 PARA A LOCALIDADE DE LONDRINA - PR	6
4 - MAPA GEOLÓGICO	12
5 - MAPA DE ISÓPACAS DAS ROCHAS VULCÂNICAS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL	14
6 - ENXAME DE DIQUES DO ARCO DE PONTA GROSSA	16
7 - COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO PARANÁ	17
8 - ARCABOUÇO ESTRUTURAL DA BACIA DO PARANÁ	18
9 - DIAGRAMAS SCHMIDT-LAMBERT HEMISFÉRIO INFERIOR DE (A) FREQUÊNCIA DOS PÓLOS E (B) ATTITUDE DAS CONCENTRAÇÕES PRINCIPAIS DAS FAMÍLIAS DE JUNTAS	23
10 - FIGURA ESQUEMÁTICA DE VARIAÇÃO TEXTURAL E ESTRUTURAL DE UM DERRAME BASÁLTICO	26
11 - ORIENTAÇÃO E MAGNITUDE RELATIVA PROVÁVEIS DA PERMEABILIDADE DE ROCHAS BASÁLTICAS JOVENS	29
12 - FRATURAS DE EXTENSÃO(A) E ALÍVIO(B) CAUSADAS EM ESPÉCIMES ROCHOSOS ENSAIADOS POR COMPRESSÃO	30
13 - DIAGRAMAS DE ROSETA SEGUNDO A FREQUÊNCIA E EXTENSÃO DOS LINEAMENTOS	32
14 - ESQUEMA DE PAISAGEM EM DEGRAUS E O APARECIMENTO DE FONTES	34
15 - ESTRATIGRAFIA DOS SOLOS AO LONGO DE UMA TRANSVERSAL	36
16 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DAS PROFUNDIDADES DOS POÇOS	42
17 - FREQUÊNCIA DA ESPESSURA DE SOLO E ROCHA ALTERADA	43

PAG

18 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DAS PROFUNDIDADES DAS ENTRADAS DE ÁGUA	46
19 - FREQUÊNCIA DO NÍVEL ESTÁTICO DOS POÇOS	48
20 - SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA DO AQUIFERO SERRA GERAL EM LONDRINA	49
21 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DAS VAZÕES DOS POÇOS TUBULARES	50
22 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DAS CAPACIDADES ESPECÍFICAS DOS POÇOS	53
23 - PANORAMA DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM LONDRINA	56
24 - VAZÃO DOS POÇOS COM E SEM CRITÉRIOS HIDROGEOLÓGICOS	57
25 - CAPACIDADES ESPECÍFICAS DOS POÇOS COM E SEM CRITÉRIO HIDROGEOLÓGICO	60
26 - DISTRIBUIÇÃO DAS VULCÂNICAS DO NORTE DO PARANÁ NOS DIAGRAMAS DE DE LA ROCHE (A) E ÁLCALI-SÍLICA (B)	64
27 - DISTRIBUIÇÃO DOS PLAGIOCLÁSIOS DAS VULCÂNICAS BÁSICAS A ÁCIDAS DO PARANÁ	66
28 - DISTRIBUIÇÃO DOS ÓXIDOS PRINCIPAIS NAS ROCHAS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL	67
29 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL EM LONDRINA	70
30 - CONCENTRAÇÕES DE FLUORETO NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEA DO AQUIFERO SERRA GERAL EM LONDRINA	72

ÍNDICE DAS TABELAS

	PAG
1 - TIPOS DE FRATURAMENTOS E SUAS ATITUDES	31
2 - DISTRIBUIÇÃO DOS POÇOS POR ATIVIDADE	40
3 - DISTRIBUIÇÃO DOS POÇOS POR REGIÃO	40
4 - PROFUNDIDADE DOS POÇOS POR REGIÃO	41
5 - PROFUNDIDADE TOTAL X PROFUNDIDADE DE ENTRADA DE ÁGUA MAIS PROFUNDA	45
6 - VAZÕES DOS POÇOS POR REGIÃO	51
7 - CAPACIDADES ESPECÍFICAS POR REGIÃO	52
8 - VAZÃO DOS POÇOS COM E SEM CRITÉRIO HIDROGEOLÓGICO	55
9 - CAPACIDADE ESPECÍFICA DOS POÇOS COM E SEM CRITÉRIO HIDROGEOLÓGICO	59
10 - VAZÕES DOS POÇOS SEGUNDO OS ALINHAMENTOS	61
11 - CAPACIDADE ESPECÍFICAS DOS POÇOS SEGUNDO OS ALINHAMENTOS	61
12 - DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS PRINCIPAIS E PADRÕES FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	69

ÍNDICE DE ANEXOS

- 1 - MAPA DAS PRINCIPAIS DRENAGENS**
- 2 - CADASTRAMENTO DOS POÇOS**
- 3 - MAPA DE POÇOS CADASTRADOS**
- 4 - MAPA DE ESTRUTURAS LOCAIS E VAZÕES DOS POÇOS**
- 5 - MAPA DE ESTRUTURAS LOCAIS E CAPACIDADES ESPECÍFICAS**

AGRADECIMENTOS

Os meus sinceros e especiais agradecimentos ao meu orientador, Prof Dr. Uriel Duarte pela constante orientação e amizade desde o início do trabalho.

Ao Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, na pessoa do seu chefe, Prof. Dr. Aldo da Cunha Rebouças, e a este pelo auxílio nas discussões sobre o trabalho.

Aos professores: Dr. Asit Choudhuri, Dr. Evaristo Ribeiro Filho, Dr. Alberto Pacheco e Dr. José Milton Benetti Mendes pelos constantes incentivos durante o curso, e a este em especial pelas discussões e sugestões durante a fase final do trabalho.

À Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e à Superintendência de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Paraná (SUREHMA), pelo fornecimento dos dados disponíveis.

Às companhias perfuradoras: WALDEMAR GEORG, COPAM, LAPA e FALCÃO-OLSEN pela concessão dos dados de seus cadastros de poços.

Ao Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina, na pessoa da Prof^a. Kumagae K. Stier, chefe do Departamento, e em especial aos colegas da área de Geologia e Pedologia pelo companheirismo, apoio e sugestões a este trabalho.

E aos meus familiares pelo carinho e compreensão durante todo este período.

RESUMO

A cidade de Londrina-PR, durante os últimos anos, tem demonstrado um grande crescimento populacional e econômico. Tal situação tem levado grande parte da população a utilizar a água subterrânea como fonte de abastecimento.

Devido às características litológicas das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, sobre as quais a Cidade se localiza, a circulação e armazenamento da água subterrânea ficam restritos às descontinuidades das rochas, as quais constituem as zonas aquíferas. Tais descontinuidades compõem-se de feições litológico-estruturais intrínsecas de derrames vulcânicos, como diaclasamentos horizontais e verticais e estruturas vesiculares, bem como fraturamentos e/ou falhamentos de origem tectônica que afetaram essa região da bacia sedimentar do Paraná.

Foi realizada uma análise cadastral, que permitiu que poços tubulares e seus dados de produção fossem plotados em um mapa, a fim de obter-se um quadro geral da disposição dos mesmos e avaliação da tendência para as vazões e capacidades específicas na área.

A distribuição de poços e seus respectivos parâmetros de produção indicou que diversos pontos, quando locados junto aos grandes lineamentos estruturais, possuem vazões de até 140 m³/h, enquanto que a média por poço nessa região é de 17,5 m³/h. Evidenciou-se, assim, que os poços locados mediante estudos e critérios hidrogeológicos podem possuir características de produção mais efetivas do que os demais.

Estudos hidrogeoquímicos foram também realizados, tendo por finalidade principal o conhecimento das características físicas e químicas das águas subterrâneas. Os elementos maiores das águas analisadas foram plotados no diagrama de Piper, fornecendo uma tendência de águas bicarbonatadas cálcicas. Essa composição evidencia uma relação ampla com a natureza química dos derrames vulcânicos.

Mediante os resultados obtidos, foi possível o estabelecimento de áreas apropriadas para a locação de poços tubulares profundos nas rochas da Formação Serra Geral, em Londrina.

ABSTRACT

During the last years, the town of Londrina has suffered a great populational and economic growth. Such situation has led the population to use the groundwater as source of their supply.

Londrina lies on the basaltic rocks of the Serra Geral formation. Due to the lithologic features of these rocks, the circulation and storage of the groundwater are confined to the discontinuities that are concerned to the aquifer zones. Such discontinuities are lithological and structural features of volcanic flows, such as horizontals and verticals fracturing, vesicular structures, and also fracturing or faulting as result of tectonic activities which affected this region.

A survey was carried out of yield data of tubular wells. The data were plotted in a map aiming a general view about the localization pattern and evaluation of the trend for the discharge rates and specific capacities.

The wells arrangement and their respective yield data indicated that, when drilled near of large structural lineaments, presented discharge rates up to 140 m³/h, while the average in this region is 17,5 m³/h. This shows that higher yield can be achieved when hidrogeological studies and planned drilling are carried out.

Hidrogeochemical studies were also done, objecting the main physical and chemical characteristics. The major elements plotted in the Piper diagram, showed that the waters were calcic bicarbonated. This composition shows a wide relation with the chemical nature of volcanic flows in this particular region.

This study has stablished favorable areas for deep tubular wells location in rocks of the Serra Geral formation in Londrina.

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A região de Londrina - PR localiza-se na porção sudeste da Bacia Sedimentar do Paraná, na qual afloram localmente as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, abrangendo diversos distritos e formando o maior centro urbano e industrial do norte do Estado do Paraná.

O rio Tibagi, que se desloca de sul para norte, orienta a rede de drenagem desta área para oeste e sudoeste, recebendo diversos cursos d'água que atravessam a região metropolitana de Londrina, como os ribeirões Lindóia, Coati, Cafezal e Cambé, sendo este último represado em um trecho para a formação do lago Igapó (ANEXO 1).

A distribuição de água para Londrina é feita pela Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR através de águas subterrâneas e de captações superficiais, sendo estas responsáveis por cerca de 83 % do volume de água distribuído e que provém da rede de drenagem descrita acima (FIGURA 1).

Entretanto o desenvolvimento econômico e populacional desencadeou uma demanda progressiva de água para o consumo doméstico e industrial, já insuficiente atualmente, em termos de quantidade. Dessa forma, o aproveitamento da água subterrânea na cidade de Londrina, durante os últimos anos, tem sido utilizado cada vez em maior quantidade como fonte complementar no sistema de abastecimento, tanto pelo setor industrial, quanto por particulares, incluindo entre outros, condomínios residenciais e atividades ligadas ao comércio.

Os poços tubulares na cidade de Londrina, que são explorados pela companhia distribuidora, contribuem com cerca de 17% do volume de água distribuída para a cidade, através de 16 unidades responsáveis por uma vazão aproximada de 937

FIGURA 1 - QUADRO DO ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA NA CIDADE DE LONDRINA

Dados fornecidos pela SANEPAR

m³/h, funcionando com regime de 20 hs. por dia. Nestes números não estão inclusos os poços de particulares, os quais abastecem a maior parte das indústrias, comércio e condomínios residenciais da região. Estima-se este valor em 923 m³/h, através de 91 poços tubulares.

1.2. OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é uma avaliação das condições da qualidade, quantidade, exploração e uso da água subterrânea do sistema aquífero Serra Geral na região urbana de Londrina e zona de expansão. Portanto, essa avaliação resultará na delimitação das zonas principais de fluxo subterrâneo e definição na metodologia na locação de poços, com base nos levantamentos de dados e bibliografia disponível.

Essa avaliação deverá fornecer subsídios para a política de uso e ocupação do solo da zona urbana da cidade e área de expansão, no que concerne aos locais mais favoráveis à obtenção de água subterrânea, tanto no aspecto quantitativo, quanto no qualitativo.

1.3. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

Totalmente inserido na Folha Topográfica SF-22-U-11-4 - Londrina - DGTC - 1962, escala 1:50.000, o Município de Londrina abrange, além da própria sede do Município, que é a cidade de Londrina, sua área rural e mais os distritos: Warta, São Luiz, Irerê, Paiquerê, Lerroville, Guaravera e Tamarana.

Nesse contexto geográfico a Cidade de Londrina, com aproximadamente

130 km² de área e contando em sua área urbana com uma população de 400 mil habitantes, localiza-se nas coordenadas geográficas 23°23'S e 51°11'W com uma altitude que varia entre 470 e 620 m acima do nível do mar (FIGURA 2).

1.4. ASPECTOS CLIMÁTICOS

Segundo a classificação de Köppen (CORREA, 1982), cuja sistemática se fundamenta nos regimes térmico e pluviométrico e nas associações vegetais, a região de Londrina enquadra-se como pertencente ao clima sub-tropical úmido, com chuvas em todas as estações. Usando-se a classificação de Thornthwaite, pode-se definir para a área um clima úmido e mesotérmico, não chegando a apresentar deficiência hídrica no período de inverno.

Observando-se as médias climatológicas do período entre 1958 e 1980, medidas na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia de Londrina, pode-se dizer que a cidade de Londrina goza de uma temperatura média anual em torno de 20,7°C. O mês mais quente é fevereiro, apresentando temperatura média em torno de 23,9°C e os meses de junho e julho são os mais frios, com temperaturas médias em torno de 16,6 e 16,8°C, respectivamente.

Londrina apresenta um total pluviométrico anual em torno de 1.615 mm. Sendo os meses mais chuvosos dezembro e janeiro, com médias pluviométricas acima de 220 mm e agosto o de menor precipitação, com 58 mm. A FIGURA 3 apresenta gráfico da distribuição mensal dos principais elementos meteorológicos segundo as Médias Climatológicas do período entre 1958 e 1980 para Londrina.

FIGURA 2 — MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E ACESSOS
(fonte MINEROPAR 1983)

FIGURA 3 - GRÁFICOS DA DISTRIBUIÇÃO MENSAL DOS PRINCIPAIS ELEMENTOS METEOROLÓGICOS SEGUNDO AS MÉDIAS CLIMATOLÓGICAS NO PERÍODO 1958 - 1980 PARA A LOCALIDADE DE LONDRINA - PR.

Fonte: CORRÊA, 1982

2. ASPECTOS METODOLÓGICOS

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho constou de 3 etapas distintas a seguir:

2.1. PESQUISA DA DOCUMENTAÇÃO EXISTENTE

Esta etapa constou do levantamento da literatura disponível sobre a geologia e hidrogeologia, mais especificamente da região de Londrina, dando ênfase à caracterização hidrogeológica das zonas aquíferas da Formação Serra Geral e intrusivas associadas.

Foi também realizado paralelamente uma investigação junto à Prefeitura Municipal, à Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR e à Superintendencia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente - SUREHMA, abordando os aspectos do abastecimento público de água da área e coleta de esgoto na área, bem como o quadro sócio-econômico da região metropolitana e município de Londrina.

Trabalhos abordando aspectos geomorfológicos e físico-climáticos dessa região também foram investigados nesta fase do trabalho.

O material de base utilizado para a elaboração do mapa geológico-estrutural e de localização da área, bem como outros presentes no relatório final deste trabalho foi:

Base cartográfica

- Folha topográfica SF-22-U-II-4 Londrina, escala 1:50.000 - DGTC.
- Folhas planialtimétricas e mapas de divisão de lotes e glebas da Cidade de Londrina, em escalas 1:20.000 e 1:10.000 - Prefeitura Municipal.

Base aerofotogramétrica

- Fotografia aérea, escala aproximada 1:25.000 (1980) - ITCF
- Fotografia aérea, escala aproximada 1:8.000 (1990) - Prefeitura

Municipal.

Base geológica

- Mapa geológico, escala 1:500.000 - Minerais do Paraná S/A - MINEROPAR.
- Mapa geológico, escala 1:100.000 - Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT/PAULIPETRO.

Foi realizado um cadastramento, que compreendeu a localização de poços tubulares, tendo por finalidade a obtenção dos dados técnico-construtivos de cada obra, principalmente os de localização geográfica, profundidade, vazão, níveis d'água, ano de perfuração, entradas d'água, perfil geológico, entre outros.

Tal procedimento iniciou-se a partir de dados contidos no Projeto Metronor (SUREHMA, 1986), abordando vários aspectos ligados ao meio-ambiente e o desenvolvimento industrial e rural do eixo Londrina-Maringá. Este projeto, aliado aos relatórios conclusivos de poços tubulares do SASUB (Serviço de Águas Subterrâneas, também da SUREHMA), na região de Londrina, permitiu uma visão inicial do abastecimento e utilização dos poços tubulares e sua localização geográfica.

Foram também obtidas fichas e relatórios de conclusão de poços junto aos arquivos de companhias perfuradoras que operam efetivamente na região, tais como Waldemar Georg, Lapa e COPAM, selecionando-se sempre os dados mais completos.

Resultados de análises físico-químico-bacteriológicas foram também inventariadas junto à SUREHMA a fim de se obter uma caracterização hidroquímica

básica das águas do Sistema Aquífero Serra Geral local e a relação destas com as rochas encaixantes.

2.2. TRABALHO DE CAMPO

Nesta fase ficaram incluídas as fotointerpretações e o levantamento de campo propriamente dito.

As fotointerpretações foram feitas com base nas análises de fotografias aéreas da região de Londrina, na escala 1:25.000, enfocando-se os tipos fotolitológicos presentes gerados por possíveis feições geomorfológicas distinguíveis na escala, bem como alinhamentos de relevo e de drenagens, estas evidenciando possíveis traços de fraturas e/ou falhamentos. Os critérios de fotointerpretação utilizados foram os propostos por SOARES & FIORI (1976).

O levantamento de campo constou da localização dos poços cadastrados, mapeamento sistemático para a descoberta de novos poços não constantes no inventário realizado anteriormente e, também, coleta de água em poços selecionados para análises físico-químico-bacteriológicas.

Foi realizado, também, o levantamento das estruturas em campo e a verificação *in situ* de algum possível tipo litológico intrusivo dentro dos limites da área pesquisada, descrito na fase de fotogeologia, com a finalidade da atualização em detalhe da base geológica utilizada.

2.3. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Esta fase corresponde à parte final do trabalho. Inicialmente constou de

reinterpretações da bibliografia utilizada, da fotogeologia e do levantamento de campo. Corresponde, também, a análises estatísticas e geoestatísticas a partir dos dados de campo e dos parâmetros hidráulicos gerados pelo cadastramento dos poços e análises químicas das águas do sistema aquífero em questão.

3. QUADRO GEOLÓGICO REGIONAL

Como dito anteriormente, a região de Londrina localiza-se na porção sudeste da Bacia Sedimentar do Paraná, na qual afloram regionalmente as rochas dos grupos Passa-Dois, São Bento e Bauru, e sedimentos continentais cenozóicos (FIGURA 4).

O Grupo Passa-Dois, paleozóico, é representado pelos sedimentos siltico-arenosos da Formação Rio do Rasto. O Grupo São Bento aparece completo, com os arenitos das formações Pirambóia e Botucatu e os derrames basálticos da Formação Serra Geral. Do Grupo Bauru ocorrem os sedimentos das formações Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina. Os sedimentos cenozóicos destacam-se na ocorrência de formas restritas e localizadas (IPT - 1981).

A Formação Rio do Rasto, de idade paleozóica superior, litologicamente é constituída por siltitos com intercalações contínuas ou lenticulares de arenitos. Apresentam coloração bastante variada, predominando tons vermelho-rosados, acinzentados, esverdeados e arroxeados. A estrutura primária predominante é a estratificação plano-paralela, na qual as camadas de siltitos dispõem-se horizontalmente. Entretanto, as lentes de arenitos frequentemente possuem estratificações cruzadas de pequeno porte.

Concordante e gradacionalmente à Formação Rio do Rasto, ocorre a Formação Pirambóia. De idade triássico-jurássica, constituem-se predominantemente por arenitos, arenitos conglomeráticos, por vezes silicificados, apresentando estratificação cruzada acanalada de médio e grande porte, mais raramente de pequeno porte e, localmente, bancos subhorizontais praticamente maciços com incipiente estratificação plano-paralela.

A Formação Botucatu, sobrepondo-se concordantemente à Formação

CONVENÇÕES

- cidades
- vias de acesso
- drenagem

UNIDADES

- Ka Formação Adamantina
- Ksa Formação Santo Anastácio
- JKsg Formação Serra Geral
- JKnp membro nova prata
- TRJpb Formações Pirambóis e Botucatu
- Prr Formação Rio do Rasto

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

- contato inferido
- contato definido
- falha ou fratura inferidas

FIGURA 4 — MAPA GEOLÓGICO
(fonte: MINEROPAR 1989)

Pirambóia anteriormente citada, consitui-se, na área, de arenitos róseos, avermelhados e esbranquiçados, finos, bem selecionados e essencialmente quartzosos com grãos arredondados. Apresenta estratificação cruzada de médio e grande porte, com estratos, em geral, bem laminados. Sua idade é tida como jurássico-cretácea, pela contemporaneidade de sedimentação de sua parte superior com a fase inicial do vulcanismo básico sobreposto (IPT - 1981).

O pacote rochoso das formações Pirambóia e Botucatu apresentam, na área, uma espessura média de 150 m.

Sobrepondo-se discordante e interdigitadamente a esse pacote e, localmente, sobre as rochas do Grupo Passa-Dois, ocorre a Formação Serra Geral, de idade jurássico-cretácea. Esta unidade é representada por uma sequência vulcânica constituída predominantemente por derrames de basaltos de natureza toleítica (LEINZ *et al.*, 1966 e 1968) e, subordinadamente, por riolitos, dacitos e riodacitos (MELFI *et al.*, 1988). Estes últimos, junto com ocorrências de basaltos pórfiros, constituem, segundo MINEROPAR (1983), uma subunidade a parte designada Membro Nova Prata.

Tais manifestações vulcânicas recobrem uma área de aproximadamente 1.200.000 km², apresentando espessuras desde 350 m nas bordas da Bacia, até 1.500 m nas porções centrais dos derrames (FIGURA 5), com um volume de lavas estimado em cerca de 790.000 Km³ (ALMEIDA, 1981).

Destaca-se, ainda, a presença de arenitos intertrapeanos, os quais encontram-se intercalados entre os sucessivos derrames que, em função das suas características litológicas, podem estar relacionados com as formações Botucatu e Pirambóia (PETRI & FÚLFARO, 1983).

Também são detectados, embora de caráter apenas regional e fora da área principal de pesquisa, a ocorrência de diques e outras intrusivas de composição basáltica toleítica e riodacítica (MELFI *et al.*, 1988), com direções predominantemente N45°E, subverticais, os quais ocorrem encaixados tanto nos basaltos, quanto nos sedimentos

**FIGURA 5 - MAPA DE ISÓPACAS DAS ROCHAS VULCÂNICAS DA
FORMAÇÃO SERRA GERAL**
(MELFI *et al.*, 1988)

paleozóicos. Tais intrusivas são, em geral, bastante extensas, mas com pequenas espessuras, em torno de algumas dezenas de metros, algumas vezes atingindo de 100 a 200 m (FIGURA 6).

A Formação Serra Geral é recoberta em discordância angular, geralmente muito disfarçada, pelas várias formações que constituem o Grupo Baurú, a saber: formações Caiuá, Santo Anastácio e Adamantina, de idade cretácea, com contatos concordantes do tipo transicionais entre elas. A Formação Marília, unidade de topo do Grupo Bauru, não se faz presente nessa área (PETRI & FÚLFARO, 1983).

A Formação Caiuá constitui-se de arenitos bem selecionados de granulação média a fina, com muito pouca matriz argilosa. As estruturas sedimentares comumente encontradas são estratificações cruzadas tabulares de grande porte.

A Formação Santo Anastácio é constituída basicamente por arenitos de estrutura maciça, granulação média a fina, medianamente a mal selecionados, com pouca matriz argilosa.

A Formação Adamantina corresponde a arenitos finos a muito finos, quartzosos, medianamente selecionados, de coloração rosada e cinza esbranquiçada, com estratificação plano-paralela.

A FIGURA 7 apresenta a descrição sumária de todas as formações da Bacia do Paraná, com suas respectivas unidades geocronológicas e cronoestratigráficas.

As coberturas continentais cenozóicas estão presentes em pequena escala na região e constituem-se basicamente de depósitos aluvionares de pouca expressão, dispostos ao longo dos principais cursos d'água que cortam a região.

Estruturalmente destacam-se a presença de fraturas e/ou falhamentos regionalizados com direções predominantes NE-SW e NW-SE, principalmente, as quais podem constituir falhas simples ou extensas zonas de falhas (FIGURA 8). Segundo ZALÁN *et al.* (1987), estes dois grupos de elementos tectônicos são zonas de fraqueza antigas que foram recorrentemente ativas durante a evolução da Bacia.

FIGURA 6 - ENXAME DE DIQUES DO ARCO DE PONTA GROSSA
(MELFI *et al.*, 1988)

CRONOESTRATIGRAFIA				LITOESTRATIGRAFIA		DESCRIÇÃO SUMÁRIA	
SISTEMA		ANDAR	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA		
O	SÉRIE						
MESOZOICO	CRETACEO	SUP.	BAURU	S/DENOMINAÇÃO		Arenas e silútes mal consolidadas	
				S/DENOMINAÇÃO		Sedimentos areno-argilosos vermelhos	
		INF.		MARILIA ADAMANTINA SANTO ANASTÁCIO CAIUA		Arenitos, Siltitos localmente calcíferos, cor marrom avermelhada de c/fósseis de vertebrados calcários no topo.	
				SERRA GERAL		Arenito vermelho c/estratificação cruzada	
	JURASSICO	SUP. MED. INF.	SÃO BENTO	BOTUCATU PIRAMBOIA ROSÁRIO DO SUL (SANTA MARIA)		Derretos de basalto tefalitos e/númeras lherzolites de granito sódico raso amarelado	
						Arenito raso amarelado fino a médio bem arredondado c/estratificação cruzada, localmente conglomerático. Arenito e Siltito argilosos vermelhos muito fino c/estratificação cruzada.	
	PERMIANO	SUP.	PASSA DOIS	RIO DO RASTO		Arenito vermelho tijolo, Feltho e Siltito marrom avermelhado, intercalações de lentes c/estratificação cruzada.	
				ESTRADA NOVA		Arenito e siltito cinza esverdeado	
				S. ALTA (RATO)		Calcário arenoso cinza esverdeado claro duro Siltito cinza esverdeado c/estrutura flexar.	
		MED.		PALEERNO		Argilito cinza escuro e preto Feltho bituminoso e Argilito preto	
				ITARARÉ		Siltito arenoso cinza esverdeado amarelado mosqueado, tubos de vermes.	
				AQUIDAUANA		Arenito pardo amarelado fino Siltito arenoso esverdeado localmente calcífero c/semadas de grãos Arenito pardo esverdeado	
PALEOZOICO	CARBONIFERO	INF.	TUBARÃO	PALEERNO		Siltito e granito c/estruturas flexar Ritmites Felthos finamente laminados	
				ITARARÉ		Arenito pardo amarelado fino, macio c/intercalações de diamictito e feltho vórtice Felthos práticos c/taconites	
				AQUIDAUANA		Arenito e Siltito vermelho tijolo e/raras diamictitos	
		SUP.		PALEERNO			
				ITARARÉ			
				AQUIDAUANA			
	DEVONIANO	INF.		PALEERNO		Siltito e Feltho mosqueados cinza escuro com arenitos intercalados. Feltho cinza escuro e preto c/laminação paralela Siltitos, Arenitos e Felthos irregularmente esmoados.	
				ITARARÉ		Arenito branco médio e grosseiro subangular conglomerático c/intercalações de esmoados argilosos, muito micáceos	
				AQUIDAUANA			
				PALEERNO			
SILURIANO	ORDOVIZIANO		PELOTO			Sedimentos de Vila Maria - Mato Grosso	
						Emboscamento metamórfico em argiloso	

FIGURA 7 - COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DO PARANÁ
(Modificado de PETRI & FÚLFARO, 1983)

A bacia é dominada por elementos tectônicos lineares que se orientam em 3 direções principais: NW - 1- arco do Alto Parnaíba, 2- flexura de Goiânia, 3- baixo ed Ipiacú, 4- alto de Cardoso, 5- falha de Guapiara, 6- falha de S. Anastácio, 7- falha de S. Jerônimo/Curiúva, 8- arco de Ponta Grossa, 9- falha Curitiba Maringá, 10- falha do R. Alonso, 11- falha Cândido de Abreu/Campo Mourão, 12- lineamento do Piquiri, 13- falha do Caçador, 14- sinclinal de Torres, 15- arco do Rio Grande. NE - 16- lineamento Transbrasiliiano, 17- lineamento Araçatuba, 18- falha de Guaxupé, 19- falha de Jacutinga, 20- falha de Taxaquara, 21- falha Cubatão, 22- falha Blumenau, 23- falha do Leão, 24- falha de Açotea. E-W - 25- lineamento de Cassilândia, 26- lineamento Mogi-Guaçu/Dourados, 27- lineamento de São Sebastião, 28- lineamento de Taquara Verde, 29- lineamento de Bento Gonçalves. N-S - 30- arco de Assunção, 31- domo de Araguainha.

FIGURA 8 - ARCAPOUÇO ESTRUTURAL DA BACIA DO PARANÁ
(segundo ZALÁN *et al.*, 1987)

O mesmo autor confirma, também, a existencia de um importante 3º grupo de lineamentos, com orientação E-W. Tais alinhamentos são pouco compreendidos na Bacia do Paraná. Seu desenvolvimento teve início a partir do Triássico. Esta idade, aliada ao seu extraordinário paralelismo com as zonas de fraturas oceânicas, sugerem uma ligação qualquer com o desenvolvimento do Atlântico Sul.

4. CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

4.1. LITOLOGIA

Dentro do exposto acima, a cidade de Londrina localiza-se, em sua totalidade, sobre as rochas basálticas da Formação Serra Geral. Tais rochas apresentam, via de regra, textura microcristalina, estrutura maciça e vesicular e/ou amigdaloidal, bem como intenso fraturamento. Esfoliações esferoidais são características marcantes dos basaltos, tanto maciços, quanto vesico-amigdaloidais, embora sejam mais raras nestes últimos. São observadas disjunções colunares em algumas localidades, geralmente nos termos maciços. Na região a espessura da unidade situa-se em torno de 850 m representados pelos sucessivos derrames.

As rochas desta província geológica constituem termos de séries basálticas toleíticas, quer em caracteres de gênese, quanto em caracteres de evolução, incluindo andesi-basaltos e andesitos (RÜEG, 1975 e COMIN-CHIARAMONTI *et al.*, 1988).

Através de observações de campo como diaclasamentos, estruturas vesiculares e amigdaloidais, bem como brechas vulcânicas e intercalações de arenitos, LEINZ (1949) e LEINZ *et al.* (1966) tentaram deduzir o número de derrames e a extensão lateral dos mesmos, tendo aqueles espessuras variando desde decimétricas até cerca de 100 m, sendo mais frequentes valores ao redor de 6 a 10 m, num total de até 39 derrames na maior espessura da Formação.

Todavia, os mesmos autores ressaltam que os derrames não são contínuos e o critério até então adotado para a determinação do número dos derrames de lava é ainda discutível, principalmente pelo fato de poderem acontecer derrames rápidos e sucessivos que se comportariam, eventualmente em seu conjunto, como uma única corrida de lava. PETRI & FÚLFARO (1983) afirmam que os derrames devem ter sido

intermitentes e assíncronos em toda a região sujeita aos fenômenos vulcânicos.

Segundo MELFI *et al.* (1988), as suites vulcânicas são essencialmente subhorizontais, com uma inclinação média de cerca de 5° em direção ao interior da Bacia. Entretanto, os fluxos basais podem mostrar inclinações excepcionalmente altas relacionadas à topografia irregular do embasamento.

Embora ocorrentes regionalmente de forma generalizada encaixados nas rochas da Formação Serra Geral, as formas intrusivas como diques e *sills* não foram identificadas especificamente dentro da área estudada, nem tampouco vestígios de cobertura sedimentar do Grupo Bauru. Entretanto, um corpo magmático intrusivo com feições de dique, não distinguível através de fotografias aéreas, foi encontrado a NW da área em estudo, através de uma pedreira abandonada, possuindo composição basáltica característica, com textura média a fina, bem como intenso fraturamento.

4.2. ESTRUTURAS

Por se tratar de uma pesquisa em área predominantemente urbana, os afloramentos de rochas sãs, que poderiam ser utilizados para medidas estruturais, são praticamente escassos, destacando-se as melhores exposições como aquelas presentes em pedreiras e raros cortes de estradas de rodagem vicinais e de estrada de ferro.

Foram visitadas 4 pedreiras na área, sendo 2 delas em estágio de lavra e 2 abandonadas, através das quais efetuaram-se 103 medidas estruturais com bússola das atitudes dos planos de fraturas encontrados.

O fraturamento é, em geral, bastante acentuado, sendo que a maioria dos planos de fratura é relativamente extensa, ocupando em sua grande parte toda a altura dos afloramentos, apresentando uma boa regularidade da superfície de quebra e paersistência nas suas orientações.

O processamento e contagem dos pólos dos planos de fratura revelou 4 famílias de juntas, todas subverticais, com atitudes predominantes: N-S, N45°W, N50°E e N83°E. Esta última, para fins de interpretação geotectônica, será considerada como tendo direção E-W (FIGURA 9).

As 3 últimas coincidem com os padrões tectônicos regionais descritos por ZALÁN *et al.* (1987), mencionados no capítulo 3.

Faturas subhorizontais também foram observadas, sendo estas características de topo e base de derrames, podendo ser, segundo LEINZ (1949), resultado do resfriamento das corridas de lavas, ou, também, constituindo-se em juntas de alívio de carga por erosão das rochas sobrejacentes.

FIGURA 9 - DIAGRAMAS SCHMIDT-LAMBERT HEMISFÉRIO INFERIOR DE (A) FREQUÊNCIA DE PÓLOS E (B) ATITUDE DAS CONCENTRAÇÕES PRINCIPAIS DAS FAMÍLIAS DE JUNTAS

5. HIDROGEOLOGIA

5.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE O MODO DE OCORRÊNCIA

A região de Londrina, pelas suas características litológicas, apresenta duas formas de ocorrência de águas subterrâneas: o aquífero freático, que se relaciona à zona saturada da camada de solo e rocha alterada e as zonas aquíferas da Formação Serra Geral, que correspondem às rochas basálticas propriamente ditas.

Neste trabalho não será dada ênfase ao aquífero freático, visto o mesmo não ser explorado por quase nenhum dos poços cadastrados nessa região.

Em escala regional, as rochas vulcânicas da formação em questão constituem a camada confinante do aquífero Botucatu, bem como o substrato rochoso aonde se acumulam as águas provindas da cobertura sedimentar do Grupo Baurú.

Ao contrário dos sistemas aquíferos sedimentares, os quais possuem uma certa homogeneidade física, o sistema Serra Geral, pelas suas características litológicas de rochas cristalinas, se constitui em um meio aquífero de condições hidrogeológicas heterogêneas e anisotrópicas (REBOUÇAS, 1978).

Dessa forma, o modo de ocorrência da água subterrânea fica restrito às zonas de descontinuidade das rochas, sendo a vazão obtida em cada poço tubular, relacionada ao número e a condição de abertura das fraturas atravessadas pelas perfurações.

5.2. CONDICIONANTES HIDROGEOLÓGICOS EM LONDRINA

5.2.1. LITOLÓGICOS

Embora consideradas muitas vezes indiscriminadamente como rochas cristalinas, as suites vulcânicas da Formação Serra Geral possuem diversas características litológico-estruturais que as distinguem hidrogeologicamente dos demais meios fraturados, tanto ígneas plutônicas, quanto metamórficas em geral.

LEINZ (1949), estudando detalhadamente a morfologia dos derrames basálticos da Bacia do Paraná, propôs um modelo de variação de textura e estruturas de um derrame típico (FIGURA 10).

Porção superior de derrame: Presença de estruturas vesiculares e/ou amigdaloidais de diâmetros variáveis, como produto da desgaseificação da lava. Nesta porção são presentes, também, intensas diáclases horizontais, as quais são normalmente explicadas pelo efeito da contração magmática, ou mesmo, pelo efeito de corridas laminares de lava.

Porção central de derrame: Nesta porção de derrame, a rocha é maciça, de texturas micro e macrocristalinas, possuindo diaclasamento predominantemente vertical, em virtude do resfriamento lento das lavas.

Porção inferior de derrame: Zona de rocha vítrea, com espessuras que variam de 5 a 10 m, passando gradativamente para uma rocha microcristalina, rica em diáclases horizontais. Esta zona representa a soleira do derrame com resfriamento rápido, devido ao contato com o embasamento.

FIGURA 10 - FIGURA ESQUEMÁTICA DE VARIAÇÃO TEXTURAL E ESTRUTURAL DE UM DERRAME BASÁLTICO
(Adaptado de LEINZ, 1949)

A partir desse modelo, GIAMPÁ & SOUZA (1982) e mais tarde e mais detalhadamente REBOUÇAS & FRAGA (1988) estabeleceram um modelo hidrogeológico para tais derrames:

No topo de derrame, mais especificamente nas estruturas vesiculares e amigdaloidais, a permeabilidade depende da disposição espacial dos vacúolos. Quando os mesmos são interconectados por fraturas, os resultados podem ser excelentes.

Tais feições, no entanto, podem "mascarar" a produção real de um poço, no qual a grande vazão obtida pela água armazenada nas vesículas pode decair após o esvaziamento das mesmas e só então é que o poço passa a ter a produção "real" imposta a partir do padrão de fraturamento local. Tal foi a constatação obtida por FALCÃO-OLSEN CONSULTORIA S/A (1986) durante testes de bombeamento em poços tubulares da indústria têxtil Carambei em Londrina.

A percolação de água junto aos fraturamentos verticais vai alimentar as diáclases horizontais da porção inferior do derrame. Estas, no entanto, não possuem, frequentemente, uma circulação de água muito efetiva, devido à presença de materiais de alteração junto aos planos de fratura.

FARJALLAT (1974) encontrou valores de permeabilidade de 3×10^{-10} a 6×10^{-10} m/s para basaltos compactos com diáclases verticais e 6×10^{-9} a 1.2×10^{-8} m/s para basaltos amigdaloidais e vesiculares.

Todo esse sistema de fluxo, todavia, pode ser consideravelmente modificado por intermédio de estruturas tectônicas rúpteis regionais, como fraturamentos e falhamentos, bem como intrusões magmáticas - diques e *sills*, os quais podem alterar as condições hidrogeológicas originais.

Um outro fator importante no condicionamento hidrogeológico das rochas vulcânicas, mais especificamente da Formação Serra Geral, é a verificação do sentido do derrame do fluxo de lavas.

FREEZE & CHERRY (1979) afirmam que a direção da maior permeabilidade hidráulica é paralela aos fluxos de lava e que dentro do fluxo, tal permeabilidade é normalmente maior na direção da inclinação original mais íngreme dos fluxos de lava (FIGURA 11).

LEINZ (1949), MAACK (1981) e MELFI *et al.* (1988), entre outros, consideram uma inclinação dos derrames, a nível regional, em cerca de 5° em direção ao interior da Bacia. Assim sendo, é de se esperar permeabilidades hidráulicas maiores na direção E-W para a região de Londrina, no que diz respeito ao fluxo de água subterrânea através das descontinuidades intra e interderrames.

5.2.2. ESTRUTURAIS

Como citado anteriormente, as rochas vulcânicas, assim como outros tipos cristalinos, constituem um meio heterogêneo onde a circulação de água é condicionada às descontinuidades físicas das rochas.

Segundo LARSSON (1977), a abertura, a profundidade e a extensão de uma fratura determinam o armazenamento da água subterrânea. LADEIRA (1985), estudando feições estruturais ligadas à prospecção de água subterrânea, determinou os seguintes conceitos:

- a) As fraturas e falhas trativas podem fornecer grandes vazões de água.
- b) As de cisalhamento, enquanto sob compressão, com ou sem movimento moderado, são fechadas e conterão pouca quantidade de água.
- c) As de cisalhamento, que possuírem zonas de cataclase ou milonitização,

FIGURA 11 - ORIENTAÇÃO E MAGNITUDE RELATIVA PROVÁVEIS DA PERMEABILIDADE DE ROCHAS BASÁLTICAS JOVENS
(In. FREEZE & CHERRY, 1979)

poderão produzir um volume moderado de água.

Durante a fase de campo realizada para este trabalho, foram identificadas 5 famílias principais de juntas, com atitudes N-S, N43°W, N50°E e N83°E (a qual será tratada aqui como E-W), subverticais, sendo as 3 últimas com grande densidade de pontos, e uma última horizontal, provavelmente ligada a processos de resfriamento de lavas, ou alívio de carga por erosão (vide CAP. 4).

As famílias de fraturas com orientações N43°W e N50°E, identificadas no campo, possuem algumas vezes a presença de *slickensides*, os quais, segundo LADEIRA (1985), são típicos de fraturas de cisalhamento, enquanto que as com orientação E-W encontram-se diversas vezes preenchidas por calcita, quartzo e zeólitas, com cristais crescendo perpendicularmente à superfície dos planos de fraturas. Tais feições sugerem que as mesmas sejam de extensão, ou tração (FIGURA 12 e TABELA 1).

FIGURA 12 - Fraturas de extensão (A) e alívio (B) causadas em espécimes rochosos ensaiados por compressão (LOCZY & LADEIRA, 1976).

PLANO DE FRATURA	TIPOS DE FRATURAS
N43°W	CISALHAMENTO
N-S	CISALHAMENTO?
E-W	TRAÇÃO
N50°E	CISALHAMENTO
HORIZONTAL	ALÍVIO DE CARGA

TABELA 1 - TIPOS DE FRATURAMENTOS E SUAS ATITUDES

Tais padrões estruturais vieram confirmar aqueles identificados pelas análises e interpretações fotogeológicas, segundo os critérios de fotointerpretação propostos por SOARES & FIORI (1976). As feições fotogeológicas utilizadas neste trabalho foram as lineações estruturais determinadas pelos alinhamentos de drenagens.

Os lineamentos com direção NW são representados na área principalmente pelos ribeirões Esperança e Cambé, este cortando praticamente toda a extensão da zona urbana de Londrina.

Tais lineamentos são, em sua maioria, extensos, ou seja, com comprimentos maiores que 1,2 km. Diga-se aqui que esse valor específico somente está sendo usado como uma referência, uma vez que BERTACHINI (1987), tendo discutido bastante sobre este critério, adotou tal medida como padrão de extensão de lineamento.

A FIGURA 13 consiste em um diagrama de roseta em que se evidencia a distribuição das direções dos lineamentos estruturais na região de Londrina, segundo as suas frequências e extensões.

FREQUÊNCIA (%)

EXTENSÃO (km)

FIGURA 13 - DIAGRAMAS DE ROSETA SEGUNDO A FREQUÊNCIA E EXTENSÃO DOS LINEAMENTOS

A configuração da distribuição de frequência evidencia famílias de juntas em diversas direções, mas geralmente os picos maiores confirmam fotogeologicamente àquelas identificadas nos diagramas Schmidt-Lambert (vide FIGURA 9). Entretanto, segundo o critério de extensão dos lineamentos, nota-se que nem sempre as famílias de juntas com maiores frequências possuem as maiores extensões.

Os maiores lineamentos e que produzem vales mais profundos possuem direções N-W e E-W, e são evidenciados na área pelo alinhamento dos ribeirões Quati, Lindóia e Jacutinga, ao norte da área, pelo ribeirão Cafezal, ao sul e pelos ribeirões Cambé e São Domingos a oeste da área estudada.

Os lineamentos N-S e N-E, embora com uma frequência bastante alta, não possuem dimensões extensas, se comparados aos N-W e E-W.

5.2.3. GEOMORFOLÓGICOS

Como citado anteriormente, as feições do aquífero freático não serão aqui consideradas, em virtude de o mesmo não ser explorado por quase nenhum dos poços tubulares na área. Isso resulta na falta de informação sobre o comportamento da superfície da zona saturada. Entretanto, cabe aqui ressaltar alguns pontos de importância sobre a camada de solo e rocha alterada.

CAVALCANTE (1990) usa o termo *manto de intemperismo*, ou *de alteração*, para representar a zona de rochas alteradas pelo intemperismo físico-químico.

O manto de alteração exerce a dupla função de armazenar e transmitir água pluvial para o meio fraturado, além de promover a descarga de água subterrânea, mantendo o fluxo de fontes e de base dos rios perenes (REBOUÇAS & CAVALCANTE, 1987 *In*. MENEGASSE, 1991).

É comum a presença de pequenas fontes por toda a região, principalmente na periferia, aonde a cobertura vegetal é mais intensa. LEINZ(1949) relaciona o aparecimento de níveis de fontes de água e vegetação mais intensa na faixa de diáclases horizontais e de textura amigdalóide, dada a maior retenção da água de percolação.

A erosão e a decomposição seletiva das rochas fazem ressaltar frequentemente na topografia as unidades de derrame, formando escadas de degraus sucessivos - *trapp* (FIGURA 14).

Em áreas tropicais, como no caso de Londrina, existe uma constância relativa das altas temperaturas e fortes precipitações. Desse modo os solos tropicais podem ser caracterizados, de uma maneira geral, como bastante intemperizados e lixiviados (ROCHA, 1982; BIRKELAND, 1974).

Para a região de Londrina, desenvolvem-se duas feições distintas de relacionamento entre manto de alteração e morfologia de relevo:

As partes mais altas correspondem a um relevo plano com manto de alteração bastante espesso, o qual em direção do vale vai se adelgaçando e, no terço inferior de vertente, o relevo é mais declivoso, o solo é bastante raso, com muita pedregosidade e com a existência de calhaus e matacões dispersos em basalto alterado, onde predominam solos rasos.

Entretanto, ROCHA¹ em observações de campo ao sul do núcleo urbano de Londrina, constatou o fato de que existem locais onde ocorre exatamente o contrário.

FIGURA 14 - Esquema de paisagem em degraus e o aparecimento de fontes (LEINZ, 1949).

¹ comunicação verbal

O topo é fortemente pedregoso e o solo, de litólico e raso no início, passa a bastante espesso em direção aos vales (FIGURA 15).

5.3. MÉTODOS DE EXPLORAÇÃO

A exploração das zonas aquíferas da Formação Serra Geral através de poços tubulares tem sido utilizada em grande intensidade por toda a extensão da unidade, atingindo a casa de alguns milhares de poços atualmente.

A captação de água por fontes é, também, uma forma plausível de aproveitamento dos recursos hídricos relacionados aos derrames. A utilização fica, no entanto, condicionada pelo valor de sua vazão e amplitude de variação sazonal (REBOUÇAS, 1976). Os poços tubulares permitem uma produção mais importante e constante no tempo do que as fontes.

Os métodos para a exploração das águas subterrâneas nas sequências vulcânicas da Formação Serra Geral devem envolver, pelo seu modo de ocorrência, os seguintes aspectos:

- a) Análise litológica e estrutural a partir de dados de campo.
- b) Interpretação de fotografias aéreas visando a identificação de lineamentos estruturais ligados a alinhamentos de relevo e de drenagem.
- c) Análise geomorfológica.

A análise litológica e estrutural visa reconhecer no campo as principais feições típicas de topo e base de derrame, como a presença de estruturas vesiculares e amigdaloidais, diaclasamentos horizontais e verticais, estruturas fluidais de movimentação

FIGURA 15 — ESTRATIGRAFIA DOS SOLOS AO LONGO DE UMA TRANSVERSAL
(adaptado de ROCHA, 1986)

magmática, bem como estruturas tectônicas e atectônicas presentes nos afloramentos disponíveis.

A interpretação de fotografias aéreas tem como finalidade principal a identificação de lineamentos estruturais, como alinhamentos de relevo e drenagem.

As zonas de fraturamento, por serem mais facilmente atacadas pelos processos meteóricos e erosivos, constituem zonas de desenvolvimento preferencial de linhas de drenagens retilíneas (SOARES & FIORI, 1976). As lineações de drenagem são interpretadas como traços de fratura quando retilíneas e bi a multidirecionais, pois os esforços aplicados sobre as rochas fraturam-nas em duas ou mais direções.

GONÇALVES (1978), pesquisando em rochas cristalinas, afirma que numa estrutura de rede hidrográfica do tipo simétrica, os poços a serem perfurados devem ser locados na calha inferior dos talwegues.

BERTACHINI (1987) verificou os lineamentos de fraturas associados a diversos poços em meios fraturados. A forte evidência do lineamento, a sua grande extensão e a menor distância entre o lineamento e o poço perfurado, são fatores que influíram positivamente no acréscimo da capacidade específica desses poços.

Os entroncamentos, ou zonas de interseção de lineamentos, podem constituir-se em locais de boa circulação de água, uma vez que em tal situação aumentam as condições de interconexão entre os sistemas de fluxos horizontais e verticais nos derrames.

Em Londrina, diversos lineamentos são evidenciados, destacando-se entre outros, os alinhamentos dos ribeirões Lindóia, Quati, Cafezal e Jacutinga (ANEXO 1).

LEGRAND em 1976 (CAMPBELL, 1977) desenvolveu técnicas de campo para a exploração de água subterrânea em regiões não áridas. Os fatores topografia e espessura do solo são altamente importantes. Ele observou que os altos rendimentos dos poços são comuns onde a grande espessura de solos e a baixa topografia são combinados, uma vez que os fundos de vales reúnem maiores possibilidades de estarem encaixados em

uma zona fraturada. Estes fatores se tornam mais efetivos se os poços possuírem seções filtrantes no intervalo correspondente à camada de solo e rocha alterada.

Além da interpretação de fotografias aéreas, sondagens geofísicas podem ser utilizadas na identificação da presença e localização de fraturas ou falhas abertas em locais de espesso manto de intemperismo. ELLERT & MENDES (1982) demonstraram a boa aplicabilidade dos métodos elétricos, mais especificamente, do caminhamento elétrico na definição dos locais mais favoráveis à construção de poços profundos em meios fissurados.

DAVINO (1978) utilizou sondagens elétricas para precisar a posição dos estratos atravessados pelos poços de captação de água em rochas basálticas de Maringá - PR.

Assim, para este trabalho, considera-se um poço construído com critério geológico aquele em que são efetivados estudos hidrogeológicos no sentido de identificar as feições litológico-estruturais e geomorfológicas descritas acima e no capítulo anterior, para sua aplicação na escolha dos locais mais favoráveis à locação de poços tubulares profundos.

5.4. ASPECTOS DE RECARGA

Visto que as condições de circulação e armazenamento de água nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral são de aquíferos livres, a recarga nessa região se processa essencialmente pela infiltração de águas pluviais a partir de rupturas regionais importantes (REBOUÇAS & FRAGA, 1988).

(MENEGASSE, 1991) afirma que em regiões de clima úmido em que a espessura do manto intemperizado é maior, as áreas de recarga e descarga são fortemente vinculadas à topografia, em que a recarga ocorre principalmente em locais

topograficamente mais elevados.

Tais áreas, entretanto, só terão capacidade efetiva de recarga quando as mesmas forem desprovidas de impermeabilização e cobertas por vegetações, sendo tanto melhor, quanto mais intensa for a cobertura vegetal. Esta tem a função básica da proteção contra impacto direto de águas pluviais e minimizar o escoamento superficial.

São distinguidas na região estudada diversas áreas topograficamente elevadas com coberturas vegetais. Tais áreas apresentam geralmente declives da ordem de 2%, com relevo plano, o qual é sustentado por latossolos roxos álicos (ROCHA, 1986), gradando frequentemente para relevo suave ondulado, com declividade em torno de 8%, onde predominam latossolos roxos eutróficos.

Somente uma pequena parte dessa cobertura, entretanto, é ocupada por vegetação natural ou reflorestamentos. A maior porção é de origem agrícola, dada a efetiva ocupação do solo em toda a região por esta atividade.

Por outro lado, os plantios, via de regra, são realizados de forma ordenada e a preparação do solo é feita conforme técnicas que visam minimizar o escoamento superficial, como curvas de níveis e lagoas de retenção de água. Desta forma, as relações antrópicas com o solo ajudam a promover, mesmo que de uma maneira preliminar, a recarga aquífera da região, evitando o "desgaste" excessivo do solo e o carreamento das partículas detríticas para os vales de drenagens.

5.5. CADASTRAMENTO DOS POÇOS

Foi realizada uma análise cadastral de mais de 200 poços na zona urbanizada e de expansão, dos quais somente 107 tiveram condições de serem devidamente localizados e utilizados (ANEXO 2). Neste cadastramento foram observados os dados dos poços (profundidade total e profundidade de revestimento), as características do aquífero (entradas d'água e nível estático) e os dados de produção (vazão e capacidade

específica).

Dos 107 poços cadastrados, 16 são de propriedade da SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná - e utilizados no abastecimento público e o restante, de particulares, é destinado ao uso industrial, doméstico e comercial.

ATIVIDADE	Nº DE POÇOS	% DO TOTAL
PUBLICO	16	14,9
INDUSTRIAL	25	23,3
DOMÉSTICO	51	47,7
COMERCIAL	15	14,0

TABELA 2 - DISTRIBUIÇÃO DOS POÇOS POR ATIVIDADE

Para uma melhor visualização da localização dos poços, a partir da numeração de cada poço, a área de estudo foi dividida em regiões menores - CENTRAL, LESTE, OESTE, NORTE, SUL - , levando-se em conta os loteamentos existentes na própria urbanização da cidade (ANEXO 3). Dessa forma, os poços ficaram assim setorizados:

REGIÃO	Nº DE POÇOS
CENTRAL	18
LESTE	19
NORTE	25
SUL	24
OESTE	21

TABELA 3 - DISTRIBUIÇÃO DOS POÇOS POR REGIÃO

5.4.1. DADOS DOS POÇOS

Profundidade

Os poços possuem, na média, 148,8 m de profundidade. Entretanto, a partir de um tratamento estatístico simples, verificou-se uma distribuição bimodal com picos em 110 e 150 m, representando 24,3 e 27,2 %, respectivamente (FIGURA 16). Tal distribuição representa bem as condições contratuais dos serviços de perfuração, uma vez que a maioria dos contratos prevêem profundidade mínima de perfuração de 100 m em primeira instância com avanços a cada 50 m, quando solicitado pelo contratante.

REGIÃO	PROF. MÉDIA	INTERVALO MIN. e MÁX.	CLASSE MODAL
CENTRAL	159,2	80 a 254	100 a 120 e 140 a 160
LESTE	153,3	90 a 400	140 a 160
NORTE	187,6	100 a 358	140 a 160 e ≥ 200
SUL	147,7	60 a 251	100 a 120 e ≥ 200
OESTE	150,2	87 a 401	100 a 120 e 140 a 160
GERAL	148,8		

TABELA 4 - PROFUNDIDADE DOS POÇOS POR REGIÃO (em metros)

Profundidade de revestimento

Os dados obtidos das profundidades dos revestimentos de 67 poços revelam números bastante variáveis: desde 2,5 m até 40 m, com valores médios de 20,6m. Fato este devido à extrema variação de espessura do manto de intemperismo da região (FIGURA 17).

**FIGURA 16 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA
DAS PROFUNDIDADES DOS POÇOS**

FIGURA 17 - FREQUÊNCIA DA ESPESSURA DE SOLO E ROCHA ALTERADA

Este, segundo ROCHA (1986), é constituído, nos seus horizontes mais evoluídos, basicamente por unidades de latossolos roxos, terras roxas estruturadas, solos litólicos eutróficos, bem como unidades de solos hidromórficos nos fundos dos vales, onde a topografia se encontra mais plana. Possuem, em sua maioria, horizontes extremamente argilosos, com cerca de 72% de argila, sendo o grau de floculação 100% nos horizontes B, e com uma porosidade que chega a alcançar de 60 a 65%.

REICHARDT *et al.* (1978) encontraram valores de condutividade hidráulica entre $3,7 \times 10^{-6}$ a $7,3 \times 10^{-6}$ m/s para perfis de terra roxa estruturada.

O aproveitamento da água contida nesses horizontes é efetuado somente em algumas localidades da periferia da Cidade na forma de poços cacimba, em locais aonde a distribuição de água pela companhia distribuidora não alcança (CELLIGOI & DUARTE, 1990).

Não obstante, nenhum dos poços cadastrados para esta pesquisa possui, em seu revestimento superficial, seções filtrantes que permitem a passagem da água contida no manto de intemperismo. O procedimento de revestimento é feito através de tubos lisos, penetrando cerca de 4 m na rocha sã, muitas vezes até menos, segundo os dados obtidos pelos relatórios de perfuração das empresas perfuradoras.

5.4.2. CARACTERÍSTICAS DO AQUÍFERO

Profundidade das entradas d'água

Uma vez que a água acumulada no manto de alteração não é aproveitada em grande escala pelas perfurações tubulares, as entradas d'água nos poços ficam restritas às discontinuidades litológicas e estruturais presentes nos derrames basálticos, abaixo do revestimento superficial.

Tais discontinuidades são reconhecidas usualmente através de feições presentes no campo e nas amostras de calha, como minerais oxidados, vesículas e

amígdalas, variações do nível estático, identificadas durante as perfurações, na maioria das vezes, pelos próprios operadores das sondas perfuratrizes.

Foram conseguidas as identificações de 55 entradas d'água em 27 poços. Uma análise do histograma de frequência na FIGURA 18 nota-se uma distribuição relativamente uniforme ao longo das profundidades. Entretanto, algumas leves tendências são observadas: entre 20 e 40 m, entre 60 e 80 m, entre 120 e 140 m e maiores que 160 m de profundidade.

Esse padrão deveria coincidir, de uma certa maneira, com o da profundidade dos poços. O fato observado é de que a profundidade dos poços ultrapassa frequentemente vários metros da entrada d'água mais profunda, induzindo em gastos desnecessários de perfuração improdutiva.

A TABELA 5 mostra a relação existente entre a profundidade total e a profundidade da entrada d'água mais profunda de alguns dos poços cadastrados.

Nº DO POÇO	PROFUNDIDADE	PROF. ENT. ÁGUA
	TOTAL	MAIS PROFUNDA
E3-3	150	102
N1-1	358	33
C-4	155	103
N4-1	200	161

**TABELA 5 - PROFUNDIDADE TOTAL X PROFUNDIDADE DE ENTRADA DE
ÁGUA MAIS PROFUNDA (m)**

**FIGURA 18 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA
DAS PROFUNDIDADES DAS ENTRADAS DE ÁGUA**

Nível Estático

As condições gerais de ocorrências das águas subterrâneas na Formação Serra Geral são de aquíferos livres (REBOUÇAS, 1976). Nos poços mais profundos, entretanto, evidencia-se uma tendência de evolução para uma ocorrência em condições de confinamento e restrita aos contatos e juntas horizontais.

O conjunto de dados obtidos para esta área apresenta valores que variam desde 1 m, até 113 m, com média de 38,3 m e moda de 22,8 m (FIGURA 19).

A FIGURA 20 apresenta, a partir de valores interpolados da localização dos poços, uma representação em mapa do comportamento do nível estático e a sua relação com a superfície topográfica do relevo de Londrina.

5.4.3. DADOS DE PRODUÇÃO

Vazão

A análise cadastral de 103 poços tubulares revelou uma vazão média de 17,7 m³/h. Entretanto, a distribuição de frequência (FIGURA 21) nos mostra que 55,1 % dos poços possuem vazões menores que 10 m³/h, e que apenas 10,3% possuem vazões excepcionais, ou seja, $Q \geq 50$ m³/h, sendo que 8,7 % do total são secos ($Q < 1$ m³/h). Foram considerados poços secos aqueles em que a vazão máxima de teste de produção possui valores menores do que 1 m³/h. A distribuição dos poços e respectivas vazões encontra-se representada no ANEXO 4.

Para a classe dos poços com vazões menores que 10 m³/h, os valores mais frequentes, ou classes modais, situam-se nas faixas entre 0 e 1 m³/h (15,5 %), entre 6 e 7 m³/h (13,8 %) e entre 8 e 10 m³/h (27,6 %).

A TABELA 6 relaciona a vazão média dos poços, as suas amplitudes e as classes modais mais frequentes por regiao:

FIGURA 19 - FREQUÊNCIA DO NÍVEL ESTÁTICO DOS POÇOS

FIGURA 20 - SUPERFÍCIE POTENCIOMÉTRICA DO AQUÍFERO SERRA GERAL EM LONDRINA

+1444

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - USP

FIGURA 21 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DAS VAZÕES DOS POÇOS TUBULARES

REGIÃO	VAZÃO MÉDIA	INTERVALO MIN. e MÁX.	CLASSE MODAL
CENTRAL	8,8	seco a 37,7	0 a 10
LESTE	15,3	seco a 66,0	0 a 10
NORTE	36,7	2,4 a 140,0	0 a 10 e ≥ 50
SUL	12,2	seco a 48,5	0 a 10
OESTE	10,1	seco a 33,0	0 a 10
GERAL	17,5		

TABELA 6 - VAZÕES DOS POÇOS POR REGIÃO (em m³/h)

Capacidade Específica

O conceito de *capacidade específica* é utilizado para designar a vazão possível de ser obtida de um poço, em função do rebaixamento do nível d'água, nos chamados aquíferos granulares ou de meios porosos.

Entretanto, em meios fraturados, como no presente caso aqui estudado, este parâmetro apresenta deficiências como indicador de produtividade (MENEGASSE, 1991). Uma vez que as entradas d'água são de caráter essencialmente pontual, a vazão pouco se altera quando o nível d'água ultrapassa a última entrada d'água, ou entrada d'água mais efetiva do poço.

Apesar disso, a capacidade específica constitui-se no parâmetro mais indicado para a avaliação da produtividade.

Muitos dos testes de bombeamento nessa região, segundo (CELLIGOI & DUARTE, 1990), realizados em poços de particulares, são feitos com bombas muitas vezes subdimensionadas, não contendo, frequentemente, nem os valores dos níveis estático e dinâmico. O resultado geral na distribuição dos poços e vazões acaba assumindo

uma forma quase que aleatória, em que testa-se na verdade o equipamento de bombeio e não a capacidade real de produção do poço.

Assim como as vazões encontradas, os dados de capacidades específicas para a região de Londrina são muito variáveis, com média de $1,158 \text{ m}^3/\text{h.m}$, com valor máximo de $16,92 \text{ m}^3/\text{h.m}$, ligeiramente inferiores aos relacionados por HAUSMANN em 1966 (REBOUÇAS, 1976) para poços localizados em rochas basálticas do Rio Grande do Sul e aos de REBOUÇAS & LASTORIA (1980) para a região de Campo Grande -MS.

Nota-se, também, através da distribuição de frequência evidenciada na FIGURA 22, que 68,3 % dos poços possuem capacidades específicas menores que $1 \text{ m}^3/\text{h.m}$ e que desta classe 73,6 % com valores abaixo de $0,3 \text{ m}^3/\text{h.m}$.

Os valores das capacidades específicas médias por região estão relacionados na tabela abaixo:

REGIÃO	CAPAC. ESPEC. MÉDIA	INTERVALO MIN. e MÁX.	CLASSE MODAL
CENTRAL	0,57	0,01 a 3,37	< 1,00
LESTE	1,79	0,07 a 16,92	< 1,00
NORTE	1,75	0,05 a 8,80	< 1,00
SUL	0,53	0,07 a 3,32	< 1,00
OESTE	0,64	0,05 a 2,82	< 1,00
GERAL	1,15		

TABELA 7 - CAPACIDADES ESPECÍFICAS POR REGIÃO (em $\text{m}^3/\text{h.m}$)

(Para valores menores que 1)

FIGURA 22 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DAS CAPACIDADES ESPECÍFICAS DOS POÇOS

5.6. PRODUÇÃO DOS POÇOS COM CRITÉRIO HIDROGEOLÓGICO

Como mencionado no item 5.3., para este trabalho foram considerados poços locados com critérios hidrogeológicos aqueles em que são feitos estudos geológicos no sentido de observar e identificar as feições litológico-estruturais intrínsecas dos derrames basálticos e a possibilidade de localá-los o mais próximo de tais estruturas.

Assim, consideraremos os 16 poços públicos, ou seja, pertencentes à Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR - como sendo poços locados com critério hidrogeológico, em virtude de:

a) Os poços da SANEPAR somente são perfurados mediante levantamentos hidrogeológicos da Superintendência de Recursos Hídricos e Meio Ambiente - SUREHMA, os quais, além dos estudos, também são responsáveis pelos projetos dos poços e análises das amostras de calha durante a perfuração.

b) A SANEPAR dispõe de praticamente toda a área da Cidade de Londrina e Município para efetuar a locação dos poços. Desse modo, o potencial hidrogeológico evidenciado na fase de identificação dos lineamentos estruturais pode ser aproveitado para a etapa de escolha do local mais apropriado e adequado para este fim.

Em áreas restritas, como aquelas onde se situam os condomínios, os hospitais, hotéis, indústrias e outros, a locação do poço, segundo PACHECO (1984), não tem muitas alternativas, sendo esta determinada pelo proprietário, impedindo por razões de espaço e custo que o construtor realize estudos hidrogeológicos.

Enquanto que o setor de abastecimento público dispõe de praticamente toda a área urbanizada e de expansão para local os seus poços e com isto aproximarem os mesmos das estruturas evidenciadas por fotografias aéreas, o setor de indústrias e,

principalmente do setor do consumo doméstico e comercial, dispõem de uma área muito reduzida e a locação dos poços fica prejudicada pelas dimensões de suas propriedades.

A FIGURA 23 demonstra com clareza as considerações feitas acima: Em relação ao número de poços, o setor público, representado pelos poços da SANEPAR representa 15% dos poços cadastrados, enquanto que os de usos industrial, comercial e doméstico, representam 23,4%, 14% e 47,7%, respectivamente.

Entretanto, considerando-se o volume de água extraído, o setor público contribui com 50% da vazão total, enquanto que os industriais 23%, os comerciais 7,5% e os de uso doméstico 19,5%.

A TABELA 8 ilustra a discordância dos valores de vazão (Q) obtidos pelos poços com critério hidrogeológico em relação aos sem critério hidrogeológico, considerando-se apenas os poços produtivos ($Q \geq 1 \text{ m}^3/\text{h}$):

	$Q_{\text{média}}$	Q_{min}	$Q_{\text{máx}}$
POÇOS COM CRITÉRIO HIDROGEOLÓGICO	58,5	3,9	140,0
POÇOS SEM CRITÉRIO HIDROGEOLÓGICO	17,7	1,1	66,0

TABELA 8 - VAZÃO DOS POÇOS COM E SEM CRITÉRIO HIDROGEOLÓGICO
(em m^3/h)

A FIGURA 24 mostra a distribuição de frequência da vazão dos poços locados com critérios hidrogeológicos e a daqueles locados sem critérios hidrogeológicos. Nota-se nesta que o padrão de distribuição das classes difere essencialmente para os dois

**FIGURA 23 - PANORAMA DO ABASTECIMENTO
DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM LONDRINA**

FIGURA 24 - VAZÃO DOS POÇOS COM E SEM CRITÉRIOS HIDROGEOLÓGICOS

tipos. O aumento nos valores das vazões é substancial para os primeiros, tanto na vazão média, quanto nas mínimas e máximas absolutas. A moda das vazões verificadas para os poços locados sem critério é de 10 m³/h, enquanto que para os locados com critério é de 50 m³/h.

Há de se ressaltar a observação de que algumas indústrias são instaladas em propriedades de grande porte e que possuem poços que poderiam, eventualmente, serem locados segundo os critérios hidrogeológicos, como os E2-9, E2-12, N2-4, S4-1 e S4-2 (ANEXO 3).

Entretanto, quando da pesquisa de campo para a realização do cadastro de poços, verificando os arquivos dos processos de perfuração dos poços, não foram encontrados relatórios de estudos hidrogeológicos para a área da indústria. Dessa forma, os mesmos foram incluídos como pertencentes à classe dos poços sem critério hidrogeológico.

Algumas indústrias, contudo, estão localizadas em áreas sobre lineamentos estruturais verificados nas fotografias aéreas. Os poços pertencentes a essas propriedades, mesmo sendo perfurados aleatoriamente, podem ser locados, então, junto às estruturas, produzindo valores excepcionais de vazão e capacidade específica. Tal é o exemplo dos poços: W2-10, W2-11, W2-12, E2-9 e E2-12.

Com relação aos dados de capacidades específicas, são verificadas, também, variações de grande importância. A TABELA 9 exhibe os dados de capacidades específicas médias, máximas e mínimas para os 2 tipos:

	$Q/s_{méd}$	$Q/s_{máx}$	$Q/s_{mín}$
POÇOS COM CRITÉRIO HIDROGEOLÓGICO	2,31	8,80	0,07
POÇOS SEM CRITÉRIO HIDROGEOLÓGICO	1,16	16,92	0,01

**TABELA 9 - CAPACIDADE ESPECÍFICA DOS POCOS COM E SEM CRITÉRIO
HIDROGEOLÓGICO (em m³/h.m)**

A distribuição de frequência para os valores de capacidade específica dos poços com e sem critérios hidrogeológicos é mostrada na FIGURA 25. Nela verifica-se que o valor modal para os primeiros é de 1,4 m³/h.m, enquanto que para os últimos é de 1 m³/h.m.

5.7. CONOTAÇÃO HIDROGEOLÓGICA DOS LINEAMENTOS E-W

No que diz respeito aos lineamentos estruturais, os poços para o abastecimento público são locados segundo a proximidade das famílias de juntas com orientações NW (alinhamento dos ribeirões Cambé e Esperança), NE (alinhamento do ribeirão das Pedras e EW (alinhamento dos ribeirões Quati, Lindóia e Jacutinga).

NW - Poços: S2-1/S2-2/S4-7

NE - Poços: E3-3/E3-4/N3-3/N4-4

EW - Poços: N3-1/N3-2/N4-1/N4-2/N4-3/N4-5/N4-6/N4-7/N4-8

Os dados contidos nas tabelas 10 e 11 mostram as variações dos valores

FIGURA 25 - CAPACIDADES ESPECÍFICAS DOS POÇOS COM E SEM CRITÉRIO HIDROGEOLÓGICO

de vazões e de capacidades específicas dos poços a partir da direção dos planos de fraturamentos aos quais estão associados:

DIREÇÃO	Q_{med}	Q_{max}	Q_{min}
NW	33,5	48,5	3,9
NE	31,2	50,0	15,5
EW	79,1	140,0	50,0

TABELA 10 - VAZÕES DOS POÇOS SEGUNDO OS ALINHAMENTOS

DIREÇÃO	Q/s_{med}	Q/s_{max}	Q/s_{min}
NW	1,63	3,32	0,07
NE	1,45	3,25	0,47
EW	2,93	8,80	1,21

TABELA 11 - CAPACIDADES ESPECÍFICAS DOS POÇOS SEGUNDO OS ALINHAMENTOS

A análise das tabelas 10 e 11 evidencia que os poços locados junto aos lineamentos estruturais com direção E-W possuem valores significativamente maiores que os demais, tanto no que diz respeito às vazões, quanto às capacidades específicas.

Considerações geológicas e hidrogeológicas realizadas anteriormente evidenciam que:

a) Evidências de campo, como preenchimento de fraturas com direções E-W por calcita, quartzo e zeólitas, sugerem que as mesmas sejam de tração, ou de extensão. Esse tipo de fraturamento pode armazenar grandes quantidades de água.

b) Os lineamentos E-W são os mais extensos na área.

c) Os derrames basálticos têm uma inclinação, a nível regional, de cerca de 5° na direção aproximada E-W, com sentido ao interior da Bacia.

d) A direção de maior permeabilidade hidráulica é paralela aos fluxos de lava e maior na direção da inclinação regional mais íngreme desses fluxos.

Dessa forma, as vazões excepcionais encontradas nos poços junto aos lineamentos E-W podem ser explicadas pelo fato de que os mesmos estariam na direção paralela aos fluxos de lava. Tais lineamentos, portanto, estariam paralelos à direção de maior permeabilidade hidráulica, favorecendo, assim, a circulação e interconecção dos fluxos de água subterrânea horizontais.

6. HIDROGEOQUÍMICA

O estudo dos aspectos hidrogeoquímicos tem por finalidade principal a obtenção das características físicas e químicas essenciais das águas subterrâneas da Formação Serra Geral em Londrina. Essas características são basicamente a composição química, proveniência e qualidade da água para sua utilização.

De todos os 107 poços cadastrados, foi possível somente a obtenção das análises dos dados de 33 amostras de água, todas realizadas pela Superintendência de Recursos Hídricos e Meio Ambiente - SUREHMA, alguns logo após a perfuração dos poços e outros contendo análises atualizadas a cada 2 anos, conforme projeto de cadastramento geral realizado pela empresa.

Para uma melhor compreensão das características físicas e químicas das águas subterrâneas locais, são necessárias algumas considerações sobre as feições geoquímicas das rochas da Formação Serra Geral, tanto em Londrina, quanto em toda a Bacia.

6.1. ASPECTOS GEOQUÍMICOS DAS ROCHAS

As rochas vulcânicas continentais básicas-intermediárias e intrusivas correlatas da Bacia do Paraná quimicamente correspondem a basaltos toleíticos, andesibasaltos, andesitos, e, subordinadamente a basaltos transicionais, latibasaltos e latianandesitos. Tipos ácidos também são presentes e representados por riodacitos e riolitos (tipos Palmas e Chapecó).

A FIGURA 26 apresenta a distribuição das rochas vulcânicas da Bacia do Paraná, nos diagramas classificativos de La Roche e Álcali-sílica.

São caracterizadas pela ocorrência comum de plagioclásio, augita, pigeonita e escassos cristais de olivina magnésiana (COMIN-CHIARAMONTI *et al.*, 1988).

FIGURA 26 - DISTRIBUIÇÃO DAS VULCÂNICAS DO NORTE DO PARANÁ NOS DIAGRAMAS DE DE LA ROCHE (A) E ÁLCALI-SÍLICA (B)
(BELLINI *et al.*, 1988)

No norte do Paraná, onde prevalecem fluxos básicos, as rochas são afíricas a subafíricas, com fenocristais e/ou microfenocristais de plagioclásio, augita, opacos, $\pm$ olivina, $\pm$ pigeonita, em uma matriz holocristalina a hipocristalina consistindo das mesmas fases.

A maior parte das vulcânicas e intrusivas são caracterizadas, em relação aos seus piroxênios, por augita e pigeonita. A última é presente como fenocristais e/ou microfenocristais nas suites toleíticas. Na suite com afinidade química transicional, a pigeonita tende a ser confinada à matriz (BELLIENI *et al.*, 1988).

Os feldspatos são representados por plagioclásios zonados, os quais ocorrem como fenocristais e/ou microfenocristais e como componentes da matriz. Nos tipos de rochas ácidos, o plagioclásio está comumente acompanhado por matriz de feldspatos alcalinos. A composição dos feldspatos nos diferentes tipos de rochas está mostrado na FIGURA 27.

Uma análise sobre a distribuição de frequência dos óxidos principais nas rochas, através dos resultados de análises geoquímicas realizadas por RÜEG (1975), mostrada através da FIGURA 28, e posteriormente por MANTOVANI *et al.* (1988), evidencia a nível regional uma predominância de sílica sobre os demais óxidos, e o óxido de cálcio sobre os de magnésio e sódio, tanto na região de Londrina, quanto na média geral da Bacia do Paraná.

6.2. ASPECTOS GEOQUÍMICOS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

6.2.1. COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Para as considerações sobre os aspectos hidrogeoquímicos foram analisados os dados de 33 amostras de água de poços tubulares. Os resultados dessas análises são

FIGURA 27 - DISTRIBUIÇÃO DOS PLAGIOCLÁSIOS DAS VULCÂNICAS BÁSICAS A ÁCIDAS DO PARANÁ
 Or (ortoclásio) - Ab (albita) - An (anortita)
 (BELLINI *et al.*, 1988)

**FIGURA 28 - DISTRIBUIÇÃO DOS ÓXIDOS PRINCIPAIS
NAS ROCHAS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL**

(A partir de dados de RÜEG - 1975)

mostrados na TABELA 12, na qual estão representados os íons maiores, o íon fluoreto F^- e os padrões físico-químicos das águas de 14 poços cadastrados.

Esses resultados permitiram classificar as águas subterrâneas da Formação Serra Geral nesta região como sendo bicarbonatadas cálcicas, utilizando para tal o diagrama de Piper, FIGURA 29, o qual possibilita obter uma visão sucinta da composição química das águas analisadas.

Tal composição coaduna-se com a tipologia química para águas deste aquífero na Bacia do Paraná, mencionada por vários autores, como: DAEE (1979), FRAGA (1986), GIAMPÁ & SOUZA (1982) e REBOUÇAS & FRAGA (1988).

Esse quadro está amplamente relacionado com a natureza química dos derrames vulcânicos, em virtude da mineralogia essencial apresentada nas rochas.

Em relação ao predomínio da tendência cálcica das águas em relação à sódica, tem-se o fato de que o cálcio é um elemento de grande solubilidade e que está presente em um grande número de minerais dessas rochas, como augitas e pigeonitas, bem como plagioclásios cálcicos e sub-cálcicos.

Tais minerais, principalmente os piroxênios e mais as olivinas, influenciam de maneira decisiva na presença do cátion magnésio nessas águas, visto que o mesmo é um elemento químico bastante comum em minerais máficos.

O caráter bicarbonatado das águas - 69 mg/l, em média - pode ser explicado pela presença de regiões com relativa densidade de vegetação nas áreas de recarga, através da dissociação iônica do ácido carbônico H_2CO_3 , o qual é formado com a produção de CO_2 atmosférico e do solo, bem como pela hidrólise dos minerais silicáticos (MENEGASSE, 1991).

O teor relativamente elevado de sílica dissolvida nestas águas (37 mg/l, em média), é um fator que confirma para a proveniência típica de águas de basaltos, uma vez que nesses tipos de rocha a sílica praticamente se encontra de forma combinada nos minerais essenciais silicáticos, como feldspatos e piroxênios, e acessórios, sendo muito

N. POÇO	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	CO3	HCO3	NO3	F-	STD	pH	ALC	C.E.
C-1	50.1	10.5	9.7	0.6	28.0	2.0	0.0	130	9.9	0.1	325	7.7	130	>250
C-22	22.0	7.0	5.0	0.9	7.0	1.0	0.0	61	0.0	ND	169	7.1	61	>150
S1-1	21.6	9.3	3.7	1.0	8.0	1.0	0.0	59	0.0	ND	214	6.4	59	
C-3	39.2	12.8	6.8	1.5	16.0	<2	0.0	104	12.0	0.1	362	7.1	104	500
C-9	30.1	3.6	24.0	0.3	19.0	<2	0.0	98	6.3	0.3	208	7.4	98	>250
N1-1	53.4	8.8	10.0	0.6	27.0	1.0	0.0	91	12.3	ND	313	6.5	91	>150
C-17	22.3	0.1	47.0	0.3	88.0	96.0	24.0	20	1.7	2.7	414	8.9	44	>500
E2-3	19.5	7.3	4.7	0.9	5.0	ND	0.0	70	2.5	0.7	154	6.9	70	
N4-5	23.7	4.1	8.0	0.4	5.0	1.0	0.0	75	4.0	ND	203	7.4	75	
N4-6	15.9	3.5	7.9	0.4	3.0	ND	0.0	70	3.4	ND	144	7.35	70	
N4-2	18.0	6.6	5.3	0.5	1.0	1.5	0.0	73	0.4	ND	73	6.7	73	
N4-7	14.9	3.1	7.9	0.3	1.0	ND	0.0	64	3.2	ND	141	7.4	64	
S4-7	31.2	1.8	14.7	0.5	3.0	3.0	0.0	106	2.2	ND	188	7.8	106	
W3-3	8.8	4.1	4.0	0.5	2.0	2.0	0.0	44	0.6	0.1	60	6.6	44	100

(valores em mg/l, exceto C.E. e pH)

STD sólidos totais dissolvidos (em mg/l)
C.E. condutividade elétrica (em micromhos/cm)
ALC alcalinidade total (em mg/l)

TABELA 12: DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS PRINCIPAIS E PADRÕES FÍSICO-QUÍMICOS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

(na Tabela constam os dados das análises químicas de 14 poços cadastrados)

FIGURA 29 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL EM LONDRINA

mais solúvel do que na forma de sílica livre:

O elemento menor analisado e que está presente nas águas de alguns dos poços da área é o íon fluoreto F^- . Das 33 amostras, 18 não apresentaram traços de fluoreto, enquanto que 8 apresentaram valores menores ou iguais a 0,1 mg/l (FIGURA 30). Uma amostra de água provinda de um poço na região leste da Cidade apresentou uma concentração de 0,7 mg/l de fluoreto em suas águas, o qual é o maior valor detectado entre as amostras dadastradas.

Estes valores, diga-se, são inferiores aos encontrados por GIAMPÁ & FRANCO FILHO (1982) para águas subterrâneas em rochas da Formação Serra Geral em Santa Albertina-SP, os quais obtiveram valores até 4,4 mg/l de fluoreto.

A origem deste íon nas águas analisadas não será aqui discutida, uma vez que a interpretação para a origem da presença do mesmo em águas dos aquíferos Botucatu e Serra Geral tem caráter ainda indefinido. FRAGA & LISBOA (1990), KIMMELMANN *et al.* (1990) e SILVA (1983), são alguns dos autores dedicados à interpretação da origem e proveniência do íon fluoreto F^- nas águas dos aquíferos mencionados.

6.2.2. POTABILIDADE

Através da análise bacteriológica e dos índices de saturação e potabilidade, as águas da Formação Serra Geral em Londrina são classificadas como sendo ligeiramente corrosivas, porém de boa qualidade para o consumo humano e industrial.

Segundo os valores da taxa de absorção de sódio (SAR), as águas se classificam como muito boas para a irrigação de áreas cultivadas, não havendo restrições quanto ao tipo de cultura a ser desenvolvida. Esse parâmetro, diga-se, é de grande importância para a região, considerando-se a vocação intensamente agrícola por todo o norte do Paraná, no qual todo o Município de Londrina se encontra localizado.

**FIGURA 30 - CONCENTRAÇÕES DE FLUORETO
NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO AQUÍFERO
SERRA GERAL EM LONDRINA**

7. ÁREAS APROPRIADAS À LOCAÇÃO DE POÇOS PROFUNDOS

Foram estabelecidas neste trabalho áreas apropriadas para a locação de poços tubulares profundos, em virtude dos resultados alcançados através dos dados de produtividade dos poços em função dos condicionantes hidrogeológicos (ANEXO 5).

Os estudos para a delimitação de tais áreas envolveram os critérios estruturais, litológicos e geomorfológicos anteriormente discutidos.

Como critério estrutural destaca-se a identificação da presença de lineamentos ligados ao alinhamento de drenagens, identificados através de fotointerpretações, os quais conotam essas áreas como sendo fraturamentos e/ou falhamentos de importâncias consideráveis.

Devido ao modo de ocorrência das águas subterrâneas nesse meio, o critério estrutural assume um caráter essencial no que diz respeito à alta produtividade dos poços. Conforme mencionado no item 5.7., os lineamentos com direção E-W merecem uma consideração especial, dada à elevada produtividade dos poços junto a tais estruturas.

Os lineamentos constituem-se, geomorfologicamente, em fundos de vales mais ou menos retilíneos, por ora profundos, chegando a cerca de 80 metros de desnível com o topo dos espigões, e de extensões variáveis, desde algumas centenas de metros, até distâncias quilométricas.

As regiões mais elevadas, adjacentes aos alinhamentos de drenagens, possuem, em diversas localidades fora da região central, coberturas vegetais que conferem a essas regiões boas condições de recarga para as zonas aquíferas, uma vez que a espessura do manto de intemperismo nessa região aumenta na medida em que se caminha para as partes topograficamente mais elevadas.

Embora na região prevaleça uma monotonia litológica bastante acentuada, a identificação das zonas de desgaseificação dos derrames, evidenciados pela presença de

estruturas do tipo vesículas e amígdalas, pode se consituir em um bom instrumento de investigação, uma vez que no contato superior de tais zonas podem ocorrer fontes de água, constituindo zonas de descarga locais.

Dessa forma, para a seleção de áreas apropriadas à locação de poços, foram estabelecidos as seguintes prioridades:

- a) Lineamentos estruturais, preferencialmente os de direção E-W, com vegetação regular nas partes altas adjacentes.
- b) Lineamentos estruturais com direções N-E, N-S e N-W, bem como regiões de entroncamentos dessas fraturas, com vegetação nas partes altas adjacentes.
- c) Lineamentos estruturais em locais desprovidos de vegetação nas partes altas adjacentes, ou com urbanização intensa.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A cidade de Londrina-PR localiza-se na porção sudeste da Bacia Sedimentar do Paraná, na qual afloram localmente as rochas vulcânicas basálticas da Formação Serra Geral.

Pelas suas características litológicas, o modo de ocorrência das águas subterrâneas fica restrito às discontinuidades das rochas, as quais ligadas a fatores litotectônicos.

Consideradas frequentemente como rochas cristalinas indiferenciadas, as suítes vulcânicas da Formação Serra Geral apresentam características que as distinguem dos demais meios fraturados.

Feições litológicas intrínsecas de derrames, como horizontes vesiculares e amigdaloidais, diáclases horizontais de contração magmática e diáclases verticais, podem favorecer a percolação de água nessas rochas.

Trabalhos de fotoanálise geológica e de campo revelaram famílias de juntas interpretadas como sendo de cisalhamento e de tração.

As condições de recarga local são favoráveis, visto que existem diversas áreas topograficamente elevadas desprovidas de pavimentações e ocupadas por vegetações, tanto naturais, quanto cultivadas.

De todos os poços cadastrados, aqueles em que são realizados estudos hidrogeológicos e localizados junto a lineamentos estruturais possuem características de produção que se destacam do restante. Destes, aqueles posicionados junto aos lineamentos E-W possuem valores de vazão e capacidade específica muito superiores aos demais.

As águas subterrâneas da Formação Serra Geral em Londrina foram classificadas como bicarbonatadas cálcicas e de boa qualidade para o consumo humano e industrial. Tal composição coaduna-se com a tipologia química típica para este aquífero, tendo ampla relação com a mineralogia e natureza química dos derrames basálticos.

A exploração das águas subterrâneas na região por poços tubulares tem sido efetivada em grande intensidade, principalmente pelos setores de consumo industrial, comercial e doméstico.

Os trabalhos aqui efetuados demonstraram a necessidade de estudos hidrogeológicos para a locação de poços nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, uma vez que suas condições de armazenamento e circulação de água são extremamente heterogêneas.

9. BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F.F.M. DE - 1981 - **Síntese sobre a tectônica da bacia do Paraná.** *Anais III Simp. Regional de Geologia*, Curitiba, SBG, 1, p.1-20.
- BELLIENI, G.; PICCIRILLO, E. M.; COMIN-CHIARAMONTI, P. *et al.* - 1988 - **Mineral chemistry of continental stratoid volcanics and related intrusives from Paraná basin (Brazil).** In. *The mesozoic flood volcanism of the Paraná basin: petrogenetic and geophysical aspects*. Eds. Piccirillo E. M. and Melfi, A. J.. IAG/USP. p. 73-92.
- BERTACHINI, A.C. - 1987 - **Estudo das características hidrogeológicas dos terrenos cristalinos sob clima úmido na região de Jundiaí, em São Paulo.** *Dissertação de mestrado*, 105p, IG/USP.
- BIRKELAND, P. W. - 1974 - **Pedology, weathering, and geomorphological research.** *Oxford University Press*. London. 285 p.
- CAMPBELL, M.D. - 1977 - **Water well technology for ground-water development and production in igneous and metamorphic rocks.** *Int.semin. ground water in hard rocks*, Stockholm.
- CAVALCANTE, I. N. - 1990 - **Estudo hidrogeológico de terreno cristalino com manto de intemperismo - Área piloto de Atibaia (SP).** *Dissertação de mestrado*, IG/USP.
- CELLIGOI, A.; DUARTE, U. - 1990 - **Hidrogeologia da cidade de Londrina.** *Anais 6º Cong. Bras. Águas Subt*, Porto Alegre. ABAS.

- COMIN-CHIARAMONTI, P.; BELLINI, G.; PICCIRILLO, E.M. *et al.* - 1988 - **Classification and petrography of continental stratoid volcanics and related intrusives from the Paraná basin (Brazil).** In. *The mesozoic flood volcanism of Paraná basin: petrogenetic and geophysical aspects.* Eds. Piccirillo, E. M. and Melfi, A. J.. IAG/USP. p. 47-92.
- CORREA, A.R. - 1982 - **Características climáticas de Londrina.** *IAPAR, Circ. n.5*, 2.ed..
- CUSTÓDIO, E. ; LLAMAS, M.R. - 1976 - **Hidrología subterranea.** Ed. Omega SA, Barcelona, vol.I e II, 2359p.
- DAEE (DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO) - 1979 - **Estudo de águas subterrâneas - regiões administrativas 10 e 11 - Presidente Prudente e Marília.** São Paulo. v. 1. Texto. 220 p..
- DAVINO, A. - 1978 - **Pesquisa hidrogeológica por método geofísico das rochas basálticas de Maringá - Paraná.** *Anais XXX Cong. Bras. Geol.*, Recife, V.6,p: 2921 - 2933.
- ELLERT, N.; MENDES, J. M. B. - 1982 - **Aplicação de geofísica na prospecção de água subterrânea em meios fissurados.** *Anais 2º Cong. Bras. Águas Subterrâneas.* Salvador. ABAS.
- FALCÃO-OLSEN CONSULTORIA S/A - 1986 - **Relatório técnico de testes de bombeamento - Têxtil Carpas.** Arquivos técnicos da empresa Falcão-Olsen Consultoria S/A. São Paulo. 25 p..

- FARJALLAT, J. E. S. - 1974 - **Comportamento da permeabilidade ao ar de alguns basaltos do sul do Brasil.** *Anais XXVII Cong. Bras. Geologia.* Porto Alegre. p. 113-121. SBG.
- FRAGA, C.G. - 1986 - **Introdução ao zoneamento do sistema aquífero Serra Geral no Estado do Paraná.** *Dissetração de mestrado.* IG/USP.
- FRAGA, C. G.; LISBOA, A. A. - 1990 - **A origem do flúor nas águas subterrâneas da bacia do Paraná - análise introdutória.** *Anais 6º Cong. Bras. Águas Subterrâneas.* Porto Alegre. p. 98-106. ABAS.
- FREEZE, R.A. ; CHERRY, J.A. - 1979 - **Groundwater.** *Prentice-Hall inc.,* New Jersey, 604 p.
- GIAMPÁ, C. E. Q.; SOUZA, J.C. DE - 1982 - **Potencial aquífero dos basaltos da formação Serra Geral no Estado de São Paulo.** *Anais 2º Cong. Bras. Águas Subterrâneas.* Salvador. ABAS.
- GIAMPÁ, C. E. Q.; FRANCO Fº, F. W. B. - 1982 - **Modo de ocorrência dos fluoretos nas águas subterrâneas do formação Serra Geral. Constatação em Santa Albertina - São Paulo.** *Anais 2º Cong. Bras. Águas Subterrâneas.* Salvador . ABAS.
- GONÇALVES, R. L. F. - 1978 - **Critérios fotogeológicos para locação de poços em rochas cristalinas de Minas Gerais.** *Anais XXX Cong. Bras. Geologia.* Recife. v. 6. p. 2934-2942.

- GUIDICINI, G. ; CAMPOS, J. DE O. - 1968 - **Notas sobre a morfogênese dos derrames basálticos.** *Bol. Soc. Bras. de Geol.* 17(1):15-28, São Paulo.
- HAUSMAN, A. - 1966 - **Comportamento do freático nas áreas basálticas do Rio Grande do Sul.** *Bol. Paranaense de Geografia.* Curitiba. nº18/20. p. 177-211.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A. - 1981 - **Mapeamento geológico do bloco SF-22-U (ACS-74).** *Relatório nº 15.377*, São Paulo, Consórcio CESP/IPT.
- KIMMELMANN, A. A.; REBOUÇAS, A. C.; SOUZA, J. C. S. *et al.* - 1990 - **Considerações sobre as anomalias de fluoreto no sistema aquífero Botucatu-Pirambóia na bacia do Paraná.** *Anais 6º Cong. Bras. Águas Subterrâneas.* Porto Alegre. p. 107-111. ABAS.
- LADEIRA, E.A. - 1985 - **Contribuição da geologia estrutural à pesquisa de águas subterrâneas em rochas fraturadas.** *I Simp. Nac. Ag. Subt. em Rochas Frat.*, Belo Horizonte, MG, 23 p.
- LARSSON, I. - 1977 - **Groundwater in hard rocks.** *Int. Semin. Ground Water in Hard Rocks*, Stockholm.
- LEINZ, V. - 1949 - **Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil.** *Bol. Fac. Filos. Ciências e Letras, USP.* (Geol. 5) São Paulo. 103 p.
- LEINZ, V.; BARTORELLI, G.; SADOWSKI, G. R. *et al.* - 1966 - **Sobre o comportamento espacial do trapp basáltico da bacia do Paraná.** *Bol. Soc. Bras. Geol.* São Paulo,

v. 15. nº 4. p. 79-91.

- LEINZ, V.; BARTORELLI, G.; ISOTTA, C. A. L. - 1968 - **Contribuição ao estudo do magmatismo basáltico mesozóico da bacia do Paraná.** *Anais Acad. Brasil. Ciências.* São Paulo. 40, (supl.) p. 167-181.
- LOCZY, L. DE; LADEIRA, E.A. - 1976 - **Geologia Estrutural e Introdução à Geotectônica.** Ed. *Edgard Blucher LTDA.* CNPq. 528 p.
- MAACK, R. - 1981 - **Geografia física do Estado do Paraná.** *Publicação Univ.Fed.Paraná,* Curitiba, 347 p.
- MANTOVANI, M. S. M.; PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J. - 1988 - **Geochemical stratigraphy of Paraná continental flood basalts: a contribution from borehole samples.** In. *The mesozoic flood volcanism of Paraná basin: petrogenetic and geophysical aspects*, Eds. Piccirillo, E. M. and Melfi, A. J.. IAG/USP.p. 15-24.
- MELFI, A. J.; PICCIRILLO, E. M.; NARDY, A. J. R. - 1988 - **Geological and magmatic aspects of the Paraná basin - an introduction.** In. *The mesozoic flood volcanism of the Paraná basin: petrogenetic and geophysical aspects*, Eds. Piccirillo, E. M. and Melfi, A. J.. IAG/USP. p. 1-13.
- MENEGASSE, L.N. - 1991 - **Estudo hidrogeológico das rochas metassedimentares do Grupo São Roque a NW da Grande São Paulo - Critérios para locação de poços profundos.** *Dissertação de mestrado,* IG/USP.
- MINEROPAR (MINERAIS DO PARANÁ S. A.) - 1983 - **Mapa geológico do Estado do**

Paraná. escala 1:500.000 - *inédito*.

MINEROPAR (MINERAIS DO PARANÁ S. A.) - 1989 - Mapa geológico do Paraná.
escala 1: 650.000. Curitiba.

PACHECO, A. - 1984 - Análise das características técnicas e da legislação para uso e proteção das águas subterrâneas em meio urbano (Município de São Paulo).
Tese de doutoramento. IG/USP.

PETRI, S. ; FÚLFARO, V.J. - 1983 - Geologia do Brasil. *T.A. Queiroz editor Ltda*, São Paulo, EDUSP, 631 p.

REBOUÇAS, A.C. - 1976 - Recursos hídricos subterrâneos da Bacia do Paraná - análise de pré-viabilidade. *Tese de livre-docência*, IG/USP, São Paulo.

REBOUÇAS, A.C. - 1978 - Potencialidades hidrogeológicas dos basaltos da bacia do Paraná no Brasil. *An. XXX Cong. Bras. Geol*, Recife, v.6, p.2963-2976.

REBOUÇAS, A. C.; LASTORIA, G. - 1980 - Potencial hidrogeológico do aquífero basáltico - Campo Grande-MS - Brasil. *Anais 1º Cong. Bras. Águas Subterrâneas*. Recife. p. 415-419. ABAS.

REBOUÇAS, A. C.; FRAGA, C. G. - 1988 - Hidrogeologia das rochas vulcânicas do Brasil. *Rev. Águas Subterrâneas*, nº 12, ABAS.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P. L.; NASCIMENTO Fº, V. F. - 1978 - Condutividade hidráulica saturada de um perfil de terra roxa estruturada (Alfisol). *Rev. Bras.*

do Solo. v. 2.(1). Campinas. p. 21-24.

ROCHA, G. C. - 1982 - **Geologia, geomorfologia e gedologia de uma catena de solos situada no campus da Escola Superior de Agricultura de Lavras, MG.** *Dissertação de Mestrado*. Escola Superior de Agricultura de Lavras, MG.

ROCHA, G. C. - 1986 - **Levantamento pedológico detalhado de uma área piloto da bacia do ribeirão Cafezal, PR.** *Projeto Cafezal*. Publicação Universidade Estadual de Londrina. CEC. Londrina. 28 p.

RÜEG, N. R. - 1975 - **Modelos de variação química na província basáltica do Brasil meridional: Características de teor, distribuição geográfica e diferenciação.** *Tese de livre-docência*, IG/USP.

SILVA, R. B. G. - 1983 - **Estudo hidroquímico e isotópico das águas subterrâneas do aquífero Botucatu no Estado de São Paulo.** *Tese de doutoramento*. IG/USP.

SOARES, P.C. ; FIORI, A.P. - 1976 - **Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia.** *Not. Geomorfol.*, Campinas, 16(32): 71-104.

SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO PARANÁ - SUREHMA - 1986 - **Plano diretor de abastecimento de água e controle de pluição do eixo Londrina-Maringá.** *Projeto Metronor*, 6 relatórios.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. DE J. *et al.* - 1987 - **Tectônica e sedimentação da bacia do Paraná.** *Atas III Simp. Sul-Bras. de Geologia*. Curitiba, v.1, p. 441-474.

ANEXOS

ANEXO 1

MAPA DAS PRINCIPAIS DRENAGENS

MAPA DAS PRINCIPAIS DRENAGENS

CONVENÇÕES

- PERÍMETRO URBANO DE LONDRINA
- DRENAGEM
- REPRESA
- VIAS PRINCIPAIS

N

0 840 1680 2520 3360 m

Escala Gráfica

PRINCIPAIS DRENAGENS

1 - Ribeirão Jacutinga	9 - Corrego Jarreiro
2 - Ribeirão Lindola	10 - Lago Igapo
3 - Ribeirão Quati	11 - Corrego São Lourenço
4 - Ribeirão Cambé	12 - Ribeirão São Domingos
5 - Ribeirão Esperança	13 - Corrego Agua Fresca
6 - Ribeirão Cafezal	14 - Corrego Rubi
7 - Ribeirão das Pedras	15 - Corrego do Salto
8 - Ribeirão Limoeiro	16 - Arrolo Primavera

André Celligoi

Dissertação de mestrado IG/USP - 1993

ANEXO 2

CADASTRAMENTO DOS POÇOS

CADASTRAMENTO DOS POCOS

POCO	ABAST.	ANO PERT.	COTA (m)	PROF. (m)	PROF. REVEST. (m)	ESP. SOL. + R. ALT. (m)	DIAM. UTIL. (")	VAZAO (m³/h)	NE (m)	ND (m)	CAPAC. ESPEC. (m³/h.m)	PROF. ENT. D'AGUA (m)
C-1	PART	1988	545.0	150.0	==	==	6.0	20.8	35.9	52.9	1.22	==
C-13	PART	1988	590.0	120.0	24.0	20.0	6.0	7.9	21.0	87.0	1.20	==
C-14	PART	1983	584.0	100.0	36.0	20.0	6.0	9.0	56.0	68.0	0.75	==
C-15	PART	1988	587.0	180.0	==	==	6.0	4.5	24.0	60.5	0.12	==
C-16	PART	1984	577.0	119.0	20.0	15.0	6.0	9.3	54.0	78.0	0.39	==
C-17	PART	1989	570.0	200.0	==	==	6.0	4.8	94.8	150.1	0.09	156
C-19	PART	1978	585.0	80.0	7.0	5.0	6.0	SECO	==	==	==	==
C-2	PART	1989	590.0	172.0	==	==	6.0	5.9	58.3	100.0	0.14	==
C-20	PART	==	595.0	197.0	18.5	15.0	6.0	2.5	110.0	120.0	0.25	46/175
C-21	PART	1988	564.0	131.0	==	==	6.0	37.7	87.5	98.7	3.37	==
C-22	PART	1990	560.0	155.0	==	==	6.0	19.8	45.5	60.0	1.36	==
C-3	PART	1987	582.0	100.0	==	==	6.0	8.2	17.7	55.5	0.22	41
C-4	PART	==	605.0	155.0	21.0	19.0	6.0	8.0	22.0	46.0	0.33	30/103
C-5	PART	1984	590.0	103.0	20.0	15.0	6.0	12.0	23.0	38.0	0.80	==
C-6	PART	1977	605.0	150.0	16.0	==	6.0	SECO	==	==	==	==
C-7	PART	1986	600.0	250.0	==	==	6.0	SECO	==	==	==	==
C-8	PART	1987	605.0	254.0	15.0	==	6.0	1.1	20.0	120.0	0.01	==
C-9	PART	1987	600.0	250.0	==	==	6.0	7.6	53.2	142.0	0.09	==
E1-1	PART	1982	538.0	150.0	28.0	==	6.0	6.1	44.4	48.9	1.36	==
E1-2	PART	1982	500.0	126.0	25.0	==	6.0	15.2	12.3	55.8	0.35	==
E1-3	PART	1983	513.0	122.0	11.0	5.0	6.0	9.9	45.0	68.0	0.43	==
E2-1	IND	1976	555.0	150.0	24.3	==	6.0	37.0	54.0	66.0	3.08	==
E2-10	IND	1977	550.0	94.0	15.7	==	6.0	9.3	79.4	94.6	0.61	==
E2-11	PART	1984	555.0	180.0	6.8	==	6.0	6.1	93.0	98.5	1.11	==
E2-12	IND	1977	510.0	130.0	25.3	==	6.0	36.0	58.1	62.9	7.50	==
E2-2	PART	1988	554.0	171.0	==	==	6.0	12.0	18.7	98.8	0.15	==
E2-3	PART	1988	578.0	90.0	==	==	6.0	2.5	25.0	60.0	0.07	==
E2-4	PART	1987	570.0	200.0	==	==	6.0	SECO	==	==	==	==
E2-5	IND	1968	560.0	160.0	==	==	6.0	2.3	22.0	60.0	0.06	==
E2-6	IND	1978	578.0	114.0	26.5	==	6.0	7.3	17.0	43.0	0.28	==
E2-7	PART	1978	550.0	120.0	16.5	10.0	6.0	6.9	12.0	84.0	0.10	==
E2-8	PART	1986	550.0	106.0	32.0	25.0	6.0	8.0	20.0	67.0	0.17	==
E2-9	IND	1978	532.0	150.0	==	==	6.0	66.0	72.0	75.9	16.92	==
E3-1	PART	1987	555.0	400.0	==	==	6.0	SECO	==	==	==	==
E3-2	PART	1987	555.0	150.0	==	==	6.0	SECO	==	==	==	==

C - REGIÃO CENTRAL
 E - REGIÃO LESTE
 N - REGIÃO NORTE
 S - REGIÃO SUL
 W - REGIÃO OESTE

CADASTRAMENTO DOS POCOS

CONT.

POCO	ABAST.	ANO	COTA	PROF.	PROF.	ESP. SOL.	DIAM.	VAZAO	NE	ND	CAPAC.	PROF. ENT.
		PERF.	(m)	(m)	REVEST.	+ R. ALT.	UTIL.	(m³/h)	(m)	(m)	ESPEC.	D'ÁGUA
					(m)	(m)	(")				(m³/h.m)	(m)
E3-3	PUBL	1984	475.0	150.0	==	==	6.0	15.5	41.0	74.0	0.47	97/102
E3-4	PUBL	1984	470.0	150.0	==	==	6.0	50.0	26.6	62.0	1.41	106
N1-1	PART	1988	605.0	358.0	==	==	6.0	2.4	28.6	55.0	0.09	33
N1-2	IND	1988	546.0	201.0	==	==	6.0	9.9	48.4	97.8	0.20	60/192
N2-1	PART	1987	595.0	163.0	22.0	21.0	6.0	2.6	20.0	70.0	0.05	==
N2-2	IND	1986	620.0	100.0	22.0	20.0	6.0	14.4	31.0	35.0	3.60	==
N2-3	PART	1976	616.0	200.0	==	==	6.0	8.5	38.0	42.0	2.13	==
N2-4	IND	1980	602.0	155.0	33.5	==	6.0	31.0	49.0	54.0	6.20	==
N2-5	IND	1988	616.0	300.0	==	==	6.0	4.0	108.0	149.0	0.10	==
N3-1	PUBL	1988	465.0	132.0	==	==	8.0	79.5	28.6	57.0	2.79	33/94/132
N3-2	PUBL	1984	470.0	150.0	==	==	8.0	140.0	2.0	57.0	2.54	10/24/62/129
N3-3	PUBL	1978	522.0	144.0	4.0	3.5	8.0	31.7	1.0	48.6	0.67	==
N3-4	PART	1984	540.0	132.0	33.0	10.0	6.0	8.0	32.0	93.0	0.13	==
N4-1	PUBL	1987	450.0	200.0	==	==	8.0	50.0	11.3	46.7	1.40	78/161
N4-10	IND	1982	515.0	107.0	7.6	==	6.0	22.0	9.0	90.0	0.27	==
N4-11	PART	==	530.0	150.0	19.5	==	6.0	3.9	58.5	75.0	0.24	==
N4-12	IND	1980	525.0	120.0	16.6	==	6.0	11.8	10.8	89.3	0.15	==
N4-13	IND	==	525.0	100.0	35.0	30.0	6.0	13.2	16.0	61.0	0.29	72/94
N4-14	PART	==	520.0	140.0	10.0	6.0	6.0	11.3	40.0	==	==	==
N4-2	PUBL	1983	470.0	150.0	22.0	18.0	8.0	50.0	34.0	43.0	5.56	68/112
N4-3	PUBL	1983	465.0	120.0	36.0	35.0	8.0	100.0	19.5	92.9	1.36	32/77/114
N4-4	PUBL	1987	478.0	101.0	==	==	8.0	27.6	63.0	71.5	3.25	==
N4-5	PUBL	1984	495.0	139.0	19.0	6.0	8.0	55.0	8.4	54.0	1.21	60
N4-6	PUBL	1981	495.0	150.0	9.0	8.5	6.0	72.0	6.3	64.0	1.29	6/102/128/135
N4-7	PUBL	1980	485.0	150.0	4.7	4.0	6.0	55.0	22.3	62.0	1.39	60/101/127
N4-8	PUBL	==	485.0	==	==	==	6.0	110.0	10.2	22.7	8.80	==
N4-9	PART	1977	477.0	216.0	24.0	==	6.0	2.4	113.0	125.0	0.20	==
S1-1	PART	1982	550.0	145.0	31.2	==	6.0	6.4	20.4	73.0	0.12	==
S1-2	PART	==	570.0	151.0	32.8	==	6.0	4.6	11.7	72.0	0.08	==
S1-3	PART	1978	563.0	101.0	27.5	26.0	6.0	10.0	18.0	70.0	0.19	==
S1-4	PART	1983	570.0	153.0	21.5	==	6.0	8.5	86.0	105.0	0.45	==
S2-1	PUBL	1984	530.0	150.0	==	==	6.0	3.9	3.7	59.0	0.07	65
S2-2	PUBL	1984	530.0	150.0	==	==	6.0	48.0	42.0	74.0	1.50	92
S2-3	PART	1989	530.0	105.0	23.0	20.0	6.0	8.0	15.0	30.0	0.53	55/80/95
S2-4	PART	==	586.0	144.0	==	==	6.0	6.6	20.0	50.0	0.22	==
S2-5	PART	1981	596.0	120.0	23.0	==	6.0	6.8	23.5	33.5	0.68	==

C - REGIÃO CENTRAL
E - REGIÃO LESTE
N - REGIÃO NORTE
S - REGIÃO SUL
W - REGIÃO OESTE

CADASTRAMENTO DOS POCOS

CONT.

POCO	ABAST.	ANO PERF.	COTA (m)	PROF. (m)	PROF. REVEST. (m)	ESP. SOL. + R. ALT. (m)	DIAM. UTIL. (")	VAZAO (m³/h)	NE (m)	ND (m)	CAPAC. ESPEC. (m³/h.m)	PROF. ENT. D'AGUA (m)
S2-6	PART	==	590.0	106.0	28.0	==	6.0	10.5	19.0	37.0	0.58	==
S2-7	PART	1990	560.0	250.0	==	==	6.0	14.1	64.5	140.9	0.18	24/158/238
S2-8	PART	==	557.0	150.0	23.4	==	6.0	3.2	21.0	==	==	==
S3-1	PART	1987	537.0	134.0	26.0	25.0	6.0	9.0	16.0	65.0	0.18	==
S3-2	IND	1986	525.0	186.0	2.5	0.5	6.0	10.0	110.0	150.0	0.25	==
S3-3	PART	1983	544.0	100.0	9.5	==	6.0	14.9	10.6	71.4	0.25	==
S3-4	PART	1990	520.0	150.0	30.0	==	6.0	5.1	66.8	105.0	0.13	==
S3-5	PART	1982	550.0	106.0	23.5	16.0	6.0	10.0	25.0	60.0	0.29	==
S4-1	PART	1989	595.0	401.0	==	==	6.0	SECO	==	==	==	==
S4-2	PART	1989	600.0	192.0	==	==	6.0	5.0	==	==	==	==
S4-3	IND	1975	582.0	119.0	21.0	==	6.0	6.6	25.0	50.0	0.26	==
S4-4	PART	1988	535.0	145.0	==	==	6.0	39.6	70.8	94.5	1.67	23/138/142
S4-5	PART	1981	513.0	100.0	3.5	==	6.0	8.0	58.0	68.0	0.80	==
S4-6	PART	1982	495.0	100.0	5.5	==	6.0	5.6	56.5	62.6	0.92	==
S4-7	PUBL	1982	446.0	87.0	20.7	18.0	8.0	48.5	3.4	18.0	3.32	==
W1-1	IND	1974	595.0	106.0	15.5	==	6.0	12.0	15.0	25.0	1.20	==
W1-2	PART	1990	590.0	203.0	==	==	6.0	9.0	101.0	116.2	0.59	202
W1-3	PART	1987	587.0	250.0	==	==	6.0	1.3	105.4	134.3	0.04	225
W2-1	IND	1977	610.0	102.0	20.7	==	8.0	31.7	35.0	55.0	1.59	==
W2-10	IND	1990	595.0	180.0	==	==	6.0	12.4	48.4	52.8	2.82	==
W2-11	IND	1979	590.0	170.0	18.0	15.0	6.0	33.0	29.0	117.0	0.38	==
W2-12	IND	1990	595.0	250.0	==	==	6.0	11.2	46.6	85.7	0.29	==
W2-2	IND	1975	620.0	60.0	19.0	==	6.0	11.5	10.0	==	==	==
W2-3	PART	1985	625.0	101.0	40.0	35.0	6.0	6.6	48.0	53.0	1.32	==
W2-4	IND	1977	590.0	107.0	26.0	10.0	6.0	14.0	22.0	35.0	1.07	==
W2-5	PART	1985	602.0	127.0	15.0	14.0	6.0	10.0	13.0	86.0	0.14	==
W2-6	IND	1979	619.0	251.0	19.0	==	6.0	2.0	27.0	41.2	0.14	==
W2-6	IND	==	618.0	100.0	18.0	17.0	6.0	8.8	78.0	85.0	1.26	93
W2-7	PART	==	602.0	111.0	32.9	==	6.0	15.0	54.0	61.0	2.10	==
W2-8	IND	1982	590.0	145.0	15.0	14.0	6.0	3.5	14.5	86.0	0.05	==
W2-9	PART	1992	615.0	153.0	12.0	11.0	6.0	3.6	35.0	108.0	0.05	==
W3-1	PART	1978	600.0	120.0	25.0	24.0	4.0	SECO	==	==	==	==
W3-2	PART	1978	==	62.0	==	==	6.0	7.0	==	==	==	==
W3-3	PART	1991	534.0	100.0	12.0	7.0	6.0	12.2	7.0	53.2	0.26	23/93
W3-4	PART	1989	595.0	250.0	==	==	6.0	SECO	==	==	==	==
W3-5	PART	1987	535.0	207.0	34.0	32.0	6.0	6.3	30.0	100.0	0.09	==

C - REGIAO CENTRAL
 E - REGIAO LESTE
 N - REGIAO NORTE
 S - REGIAO SUL
 W - REGIAO OESTE

ANEXO 3

MAPA DE POÇOS CADASTRADOS

MAPA DE POÇOS CADASTRADOS

CONVENÇÕES

PERIMETRO URBANO DE LONDRINA

ZONEAMENTO URBANO

C REGIÃO CENTRAL
 N REGIÃO NORTE
 S REGIÃO SUL
 E REGIÃO LESTE
 W REGIÃO OESTE

— LIMITES INTER-REGIÕES
 - - - LIMITES INTRA-REGIÕES

PÚBLICOS
INDUSTRIAIS
COMERCIAIS
DOMÉSTICOS

POÇOS CADASTRADOS

André Celligoi

Dissertação de mestrado IG/USP - 1993

ANEXO 4

MAPA DE ESTRUTURAS LOCAIS E DE VAZÕES DOS POÇOS

MAPA DE ESTRUTURAS LOCAIS E VAZÕES DOS POÇOS

CONVENÇÕES

- PERÍMETRO URBANO DE LONDRINA
- DRENAGEM
- REPRESA
- VIAS PRINCIPAIS

- TRAÇOS DE FRATURAS E/OU FALHAMENTOS

VAZÕES DOS POÇOS CADASTRADOS (Q)

- $Q < 10 \text{ m}^3/\text{h}$
- ⊙ $10 < Q < 20 \text{ m}^3/\text{h}$
- $20 < Q < 30 \text{ m}^3/\text{h}$
- $30 < Q < 40 \text{ m}^3/\text{h}$
- $40 < Q < 50 \text{ m}^3/\text{h}$
- ▣ $Q > 50 \text{ m}^3/\text{h}$

André Celligoi

Dissertação de mestrado IG/USP - 1993

ANEXO 5

MAPA DE ESTRUTURAS LOCAIS E DE CAPACIDADES ESPECÍFICAS

MAPA DE ESTRUTURAS LOCAIS E CAPACIDADES ESPECÍFICAS

CONVENÇÕES

- PERÍMETRO URBANO DE LONDRINA
- DRENAGEM
- REPRESA
- VIAS PRINCIPAIS

ÁREAS APROPRIADAS A LOCAÇÃO DE POÇOS

TRAÇOS DE FRATURAS E/OU FALHAMENTOS

CAPACIDADES ESPECÍFICAS DOS POÇOS CADASTRADOS (c)

- $c < 1 \text{ m}^3/\text{h.m}$
- $1 < c < 2 \text{ m}^3/\text{h.m}$
- $2 < c < 3 \text{ m}^3/\text{h.m}$
- $3 < c < 4 \text{ m}^3/\text{h.m}$
- ⊠ $c > 4 \text{ m}^3/\text{h.m}$

André Celligoi

Dissertação de mestrado IG/USP - 1993