

10.011
551.4
B422
TE S/mem

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE
UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ANÁLISE E PLANEJAMENTO
SÓCIO-AMBIENTAL**

**MAPEAMENTO DA PROFUNDIDADE DA
SUPERFÍCIE FREÁTICA DO SETOR CENTRAL DA
MALHA URBANA DE UBERLÂNDIA-MG**

Everson José Beicher

SISBI/UFU



1000244179

Uberlândia
2001

Everson José Beicher

MAPEAMENTO DA PROFUNDIDADE DA
SUPERFÍCIE FREÁTICA DO SETOR CENTRAL DA
MALHA URBANA DE UBERLÂNDIA (MG)

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em
Geografia da Universidade Federal
de Uberlândia, como requisito para a
obtenção do título de Mestre em
Geografia.

Área de Concentração: Análise e
Planejamento Sócio-Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Luiz
Nishiyama

Uberlândia (MG)
Instituto de Geografia
2001

Banca Examinadora

Prof. Dr. Luiz Nishiyama (Orientador)
(Universidade Federal de Uberlândia)

Prof. Dr.^a. Maria Elisa Borges Resende
(Universidade Federal de Uberlândia)

Prof. Dr. Reinaldo Lorandi
(Universidade Federal de São Carlos)

Este trabalho é dedicado ao meu pai (*In Memoriam*), à minha mãe e à minha esposa, dos quais recebi os melhores ensinamentos, e também a todos aqueles que batalham para desenvolver a ciência visando a melhor qualidade de vida para o homem, na busca de um mundo melhor.

Agradecimentos

Agradeço ao Prof. Dr. Luiz Nishiyama pela amizade e valiosa orientação.

Aos professores do Instituto de Geografia, pelos ensinamentos transmitidos. À Prof.^a Dr.^a Maria Elisa Borges Resende pelo incentivo, motivação e apoio, e aos demais professores da Faculdade de Engenharia Civil da UFU que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho. À Prof.^a Dr.^a Suely Regina Del Grossi, Prof. Msc. Davi Maranesi pelas sugestões. Ao Prof. Msc. Rodrigo Alexandre Ribeiro Ferreira pelas orientações e viagens durante as pesquisas bibliográficas. Ao Prof. Dr. Paulo Cesar Primo Agostinho pelas contribuições na formatação e impressões.

Ao acadêmico do curso de geografia Fernando Dias de Oliveira pelo auxílio nas coletas, determinações, lançamento dos dados de sondagens e apoio na área de informática. Ao acadêmico Marcelo Cabral de Aguiar pelo o apoio na área de informática para a elaboração do mapeamento.

Às empresas Fuso GEOMETA Ind. Com. LTDA e INFRA Engenharia de Fundações LTDA, pela cessão dos relatórios de sondagens, sem os quais seria impossível a realização deste trabalho.

Ao Secretario Municipal de Planejamento Eng.^o Reny Simão e ao seu assessor Joseph Salem Barbar, pela cessão da base cartográfica da cidade de Uberlândia bem como das plantas aerofotogramétricas cadastrais da cidade, preponderantes na realização deste trabalho.

Ao colegas da área de Pós-Graduação em Geografia, pela amizade, apoio e incentivo.

Em especial a Deus que a tudo devo e à minha esposa Angela que sempre me incentivou e apoiou em todos os instantes da minha vida, principalmente no período do mestrado, cuja compreensão e companheirismo foram fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Resumo

A presente dissertação compreende a elaboração, através da utilização do *software "Civil Survey"*, do mapeamento da profundidade da superfície freática (superfície potenciométrica) do setor central da malha urbana da cidade Uberlândia - MG, baseado nos dados de sondagens. Trata também da revisão bibliográfica sobre os conceitos gerais que envolvem a movimentação das águas subsuperficiais, o método de sondagem a percussão ou de simples conhecimento SPT (*Standard Penetration Test*) utilizado para investigação geotécnica e do nível d'água no subsolo e as metodologias de elaboração de mapeamentos.

Palavras-chaves: Águas subsuperficiais, mapeamento, nível d'água freática, superfície potenciométrica, zona saturada

Abstract

The present dissertation elaborates a mapping of the phreatic line (phreatic water level, potential surface) of Uberlândia (MG) downtown central zone, based on the Standard Penetration Test (SPT). A bibliographic revision is also introduced concerning general concepts, underground water flow and the "SPT METHOD", a very importante geotechnical and underground investigation.

Key - words: underground water; mapping; phreatic water level; potential surface;
zone of saturation

Lista de Figuras

Fig. 1 - Representação esquemática do Ciclo hidrológico.....	05
Fig. 2 - Curvas de capacidades e taxas de infiltração.....	07
Fig. 3 - Ciclo Hidrológico do Ponto de vista de engenharia.....	09
Fig. 4 - Perfil de uma perfuração mostrando a distribuição das águas de subsuperfície....	10
Fig. 5 - Formas, dimensões variáveis de meios rochosos ou terrosos.....	13
Fig. 6 - Preenchimento de vazios nos meios rochosos ou terrosos.....	13
Fig. 7 - Esquemas da direção do fluxo em função do espessura do material inconsolidado, da forma do substrato geológico e da topografia.....	15
Fig. 8 - Água retida e água livre.....	16
Fig. 9 - Relação aproximada entre o percentual de água retida e a dimensão média de grãos de solos finos não-coesivos.....	16
Fig. 10 - Experimento para ilustração da Lei de Darcy.....	18
Fig. 11 - Meios homogêneos ou heterogêneos, isotrópicos ou anisotrópicos.....	21
Fig. 12 - Equipamento de sondagem a percussão.....	30
Fig. 13 - Gráfico quantitativo dos relatórios e furos de sondagens pesquisados.....	38
Fig. 14 - Gráfico dos relatórios e furos não aproveitados.....	39
Fig. 15 - Gráfico dos relatórios e furos aproveitados.....	40
Fig. 16 - Mapa de localização.....	44
Fig. 17 - Coluna estratigráfica típica do município de Uberlândia.....	48
Fig. 18 - Mapa do substrato rochoso do município de Uberlândia.....	49
Fig. 19 - Gráfico comparativo das precipitações pluviométrica da cidade de Uberlândia- MG.....	54

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Relação entre o número de pontos observados e a escala do mapeamento.....	35
Tabela 2 - Levantamento do número de relatórios e furos de sondagens pesquisados.....	38
Tabela 3 - Relatórios e furos não aproveitados.....	39
Tabela 4 - Relatórios e furos aproveitados.....	40
Tabela 5 - Dados pluviométricas da cidade Uberlândia-MG.....	54

Lista de Abreviaturas

ABMS - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos
ASTM - American Society for Testing and Materials
cm - Centímetro
DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral
DR - Compacidade Relativa
FEPASA - Ferrovias Paulistas Sociedade Anônima
IGUFU - Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Km² - Quilometro Quadrado
m - Metro
MB - Modelo Brasileiro
MG - Minas Gerais
N - Índice de Resistência a Penetração
NBR - Norma Brasileira
RADAM - Radar da Amazônia
SIG - Sistema de Informação Geográfica
SP - São Paulo
SPT - Standard Penetration Test
UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro
USGS - United States Geological Survey
USP - Universidade de São Paulo
UTM - Universal Transverso Mercator

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vi
Lista de Figuras.....	vii
Lista de Abreviações.....	viii
Lista de Tabelas.....	ix
1 - Introdução.....	01
2 - Revisão Bibliográfica.....	04
2.1 - Ciclo Hidrológico.....	04
2.2 - Águas Superficiais.....	10
2.2.1 - Águas Subterrâneas.....	10
2.3 - Superfície Potenciométrica.....	11
2.4 - O Movimento das Águas no Meio Poroso e Fraturado.....	12
2.5 - Profundidade do nível d'água.....	22
2.6 - A Utilização de Sondagem Tipo SPT (<i>Standard Penetration Test</i>) a Percussão ou de Simples Conhecimento.....	24
2.6.1 - Sondagem a Percussão.....	27
2.7 - Metodologia de mapeamento geotécnico e profundidade da superfície freática.....	32
3 - Procedimentos Metodológicos para o Mapeamento da Profundidade Freática do Setor Central de Uberlândia - MG.....	37
4 - Localização e Caracterização Física da Área.....	43
4.1 - Localização.....	43
4.2 - Caracterização física da área.....	45
5 - Fatores intervenientes na qualidade dos dados.....	53
6 - Considerações Finais e Conclusões.....	55
7 - Referências Bibliográficas.....	58
8 - Anexo 1.....	66
9 - Anexo 2.....	67

1 - Introdução

Embora a observação do comportamento da água subterrânea e o seu uso para as atividades humanas date de alguns milhares de anos atrás, somente no século XVII é que o homem teve um entendimento claro da interação hidrológica/hidrogeológica, ou seja, da dependência que a água subterrânea tem com a precipitação e infiltração. Até então, a idéia da água de infiltração ser a fonte principal da água subterrânea não era considerada plausível, em razão da quantidade de água de chuva parecer insuficiente em comparação ao fluxo de água subterrânea, e do solo em parecer relativamente impermeável à infiltração.

Em decorrência da água subterrânea permanecer invisível, até aparecer em fontes ou poços, ela tem sempre sido um mistério para o homem - "longe dos olhos , longe do pensamento". Mesmo hoje em dia, de um modo geral se conhece pouco sobre a origem, a ocorrência e o movimento da água subterrânea. O fato de ela não estar à vista contribui para a sua não proteção.

O crescimento populacional em todo o mundo e o fenômeno da urbanização e suas extrapolações, sobretudo no século XX, resultaram em dramáticos aumentos das demandas por moradias, produção de alimentos, infra-estrutura e outras necessidades. Esta situação tem levado o homem a práticas inadequadas de uso e ocupação do meio físico e ambientalmente agressivas como a contaminação das águas superficiais e subterrâneas e do solo.

O crescimento acelerado dos aglomerados urbanos, na atualidade, tem provocado a ocupação de partes no meio físico, com diferentes características, sem qualquer preocupação com suas limitações e potencialidades.

Necessário se faz, no planejamento do uso e ocupação do solo local ou regional, observar e considerar as limitações e as potencialidades dos componentes do meio físico (rocha, solo, água e relevo) e biótico além das condições sócio-econômicas.

De uma maneira geral, trabalhos de planejamento visando o uso e ocupação, tanto urbano quanto regional, não têm considerado as limitações ou potencialidades impostas pelo meio físico. As variações (anomalias) pertinentes aos componentes do meio físico não consideradas no decorrer da ocupação levam a condições de risco. Estas situações podem apresentar diversas nuances, tais como: atingir bens imóveis e / ou pessoas; ocorrer no período de tempo longo e / ou curto; serem naturais ou provocados; apresentar conseqüências diretas ou indiretas.

Nesse contexto o conhecimento das condições do nível d'água é de suma importância, pois poderá definir regras e destinações para a ocupação deste espaço (Zuquette, 1993). Para determinadas formas de ocupação no meio urbano, a presença da zona saturada sob condições de pequena profundidade, por si só, constitui um fator limitante.

O movimento da água subterrânea pode levar a formação de determinados fenômenos de interesse à engenharia. Os mais comuns são as cavernas em subsuperfície, os escorregamentos ou deslizamentos e as voçorocas (por erosões internas ou "pipings"). Podem ser citados como exemplos os escorregamentos verificados nos morros das cidades do Rio de Janeiro (RJ) e Santos (SP) descrita por Chiossi (1979), a voçoroca do bairro Aclimação na cidade de Uberlândia (MG), estudada por Del Grossi (1991) e Beicher et al. (1999), as voçorocas citadas por Chiossi (1979), Prandini (1974), Vieira (1978), Rodrigues (1982), IPT (1986), Pejon (1992), Vilar e Prandi (1993), no estado de São Paulo nas regiões próximas à Assis, Casa Branca e Piracicaba e as inundações na cidade de São Paulo (SP) divulgadas amplamente na mídia durante os períodos chuvosos dos últimos anos.

O mapeamento do nível d'água freática, superfície potenciométrica, ou simplesmente nível d'água, bem como a sua distância em relação à superfície do terreno (profundidade) num setor da área urbana de Uberlândia são objetos deste estudo.

Apesar da importância da caracterização da profundidade da zona saturada do solo para finalidades de uso e ocupação do meio físico, é comum a ausência de informações sobre ela em grande parte do território brasileiro. As exceções são,

principalmente, os grandes centros urbanos que dispõem de uma densidade razoável de dados produzidos sobretudo por meio de sondagens para simples conhecimento (SPT), mas a maioria deles, embora esteja disponível, não apresenta confiabilidade quanto à localização e aos procedimentos de execução.

Ao apresentar o mapeamento da profundidade da superfície freática, ou potenciométrica, a partir de dados de sondagens para simples conhecimento tipo SPT, procurou-se evidenciar os conceitos gerais que envolvem a movimentação das água subsuperficiais nos diversos meios, facilitando a sua compreensão para as ações de monitoramento, controle da utilização, mitigação ou mesmo eliminação dos problemas delas advindos.

Nesse sentido o potencial de aplicação deste mapeamento do nível d'água freática reside no auxílio ao planejamento da ocupação e do uso do solo urbano da cidade de Uberlândia - MG, com vistas à economia de recursos investidos, mediante a prevenção de problemas futuros relacionados a esse atributo do meio físico.

Os procedimentos metodológicos empregados para a elaboração do mapeamento da profundidade da superfície freática não seguiram uma metodologia específica consagrada e sim foram adotados partes de procedimentos e parâmetros recomendados por elas.

2 - Revisão Bibliográfica

O mapeamento da profundidade da superfície potenciométrica do setor central da malha urbana de Uberlândia com base nas informações obtidas mediante sondagens SPT é o objeto do presente trabalho de dissertação.

Por essa razão procurou-se focar na revisão bibliográfica, que se segue, aspectos importantes para a sistemática da movimentação da água nos seus diferentes estados (sólido, líquido e gasoso) nos diversos meios que a contêm (solo, rocha e atmosfera), bem como dos procedimentos de mapeamentos adotados e das características das sondagens SPT (*Standard Penetration Test*), cujos dados foram utilizados para o mapeamento da profundidade da superfície potenciométrica.

2.1 - O Ciclo Hidrológico

As disponibilidades hídricas globais estão em permanente circulação, segundo processos relativamente complexos e de intensidade variável, configurando o que se convencionou chamar de ciclo hidrológico. Esse mecanismo é o responsável pela concentração desigual das águas no tempo e no espaço, conforme a interação variada e aleatória dos diversos fenômenos naturais envolvidos, sobre os quais, é bom que se ressalte, o homem tem limitadíssima capacidade de interferência, e que produzem, alternadamente, com maior ou menor persistência, situações favoráveis e seguras ou embaraços e dificuldades (Souza, 1995).

O ciclo hidrológico ou ciclo de água na terra é o sistema pelo qual a natureza faz com que parte da água existente na terra ascenda por evaporação até a atmosfera que, sob determinadas condições o vapor é condensado, formando nuvens que são deslocadas graças aos movimentos das massas de ar (ventos) no sentido dos continentes. A água contida nas nuvens precipita-se em forma de chuvas sobre o solo por onde escoar, superficial e subterraneamente, no sentido dos oceanos, reiniciando todo o ciclo (Fig. 1). (Vilela, 1975).

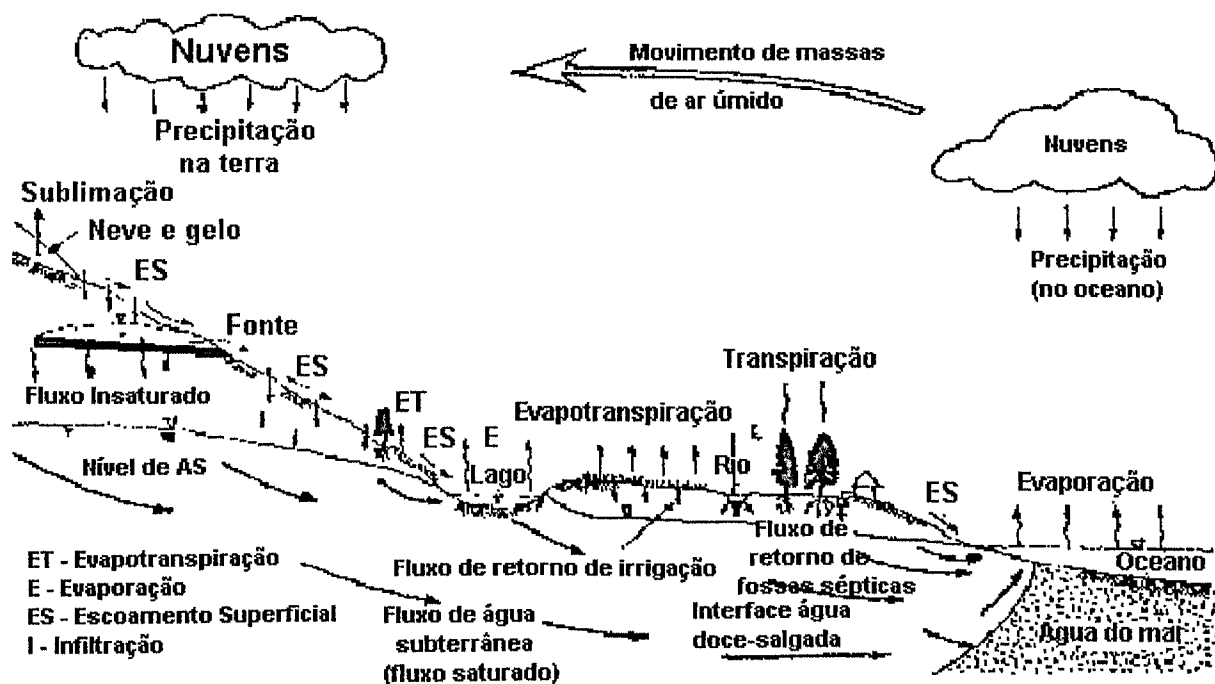


Fig. 1 - Representação esquemática do Ciclo Hidrológico. As setas indicam o fluxo da água no sistema sob condições naturais (Fonte: Bear, 1979)

Pelo princípio de conservação das massas, a precipitação total de água da atmosfera é igual à evaporação por ela recebida. Entretanto o tempo necessário para uma molécula de água passar por uma ou mais fases do ciclo hidrológico é extremamente variável. Por exemplo, uma molécula pode evaporar-se no oceano e, dentro de breve período precipitar-se e voltar à mesma superfície de água do oceano. Mas se a molécula cai sobre uma alta montanha ou nas regiões polares pode permanecer na forma de geleiras ou de "icebergs", durante meses, anos ou até séculos até que o gelo se derreta e a molécula de água se junte a outras resultante do degelo e retorne novamente até o oceano.

A precipitação que ocorre sobre a terra é dispersada de várias formas: parte da água é evaporada antes de atingir a superfície da terra; parte se precipita sobre os oceanos, rios e lagos; parte é interceptada por obstáculos, tais como: telhados, áreas pavimentadas etc. que a impedem de atingir os solos e as plantas; e outra parte cai diretamente sobre a superfície do solo.

Preliminarmente a hidrologia define que as águas da chuva ao caírem na superfície do terreno tomam três destinos: escoamento, infiltração e evaporação, retornando ao oceano constitui um novo ciclo hidrológico ou ciclo das águas. (Caputo, 1987).

Entretanto, a grande quantidade da água precipitada nos continentes quando entra em contato com o solo, devido a influência da gravidade, uma porção dela escoam superficialmente (infiltração e escoamento superficial), enquanto que a outra penetra no solo produzindo o escoamento básico (ou base) formando águas do solo, águas peliculares e gravitacionais, até atingir as zonas saturadas que constituem o reservatório de água subterrânea: são os denominados "lençóis aquíferos" ou simplesmente "aquíferos" (Bear, 1994; Alonso, 1999). Parte da precipitação que retorna para a atmosfera, o faz através da evaporação direta da superfície do solo, da superfície dos lagos, rios e oceanos. Parte da água que se infiltra no solo fica temporariamente retida no mesmo próxima de onde caiu, podendo retornar à superfície por capilaridade de onde evapora para a atmosfera ou ainda, ser absorvida pelas raízes das plantas e só retornar à atmosfera por evapotranspiração (perda de água pelas plantas através da respiração e transpiração) (Vilela, 1975).

Segundo Teixeira (1978), o escoamento (ou deflúvio) total pode ser definido como "uma porção das precipitações que circula na superfície, e nas camadas geológicas permeáveis, indo contribuir para o desenvolvimento do curso d'água". O mesmo autor divide o escoamento total em função das águas que lhe deram origem, em:

- escoamento - Devido à precipitação direta sobre a superfície líquida - tem contribuição praticamente nula para o escoamento total;
- escoamento superficial - É a porção que escoam na superfície do terreno, sem se infiltrar até o momento que atinge um curso d'água. Em materiais permeáveis, este escoamento somente ocorrerá após ter sido excedida a capacidade de infiltração;

- escoamento subsuperficial - É mais lento do que o escoamento superficial e mais difícil de ser separado deste. Essa fração origina-se da água que se infiltra no terreno sem, no entanto, atingir o nível d'água, podendo retornar à superfície em alguma depressão ou talude, antes de atingir o curso d'água.
- escoamento subterrâneo - É a fração do escoamento total fornecida pelo aquífero, originada a partir da água infiltrada que constitui a recarga. É ele que alimenta o curso d'água durante a estiagem.

O conceito de capacidade de infiltração é aplicado no estudo da infiltração para diferenciar o potencial que o solo tem de absorver água pela sua superfície, em termos de lâmina por tempo, da taxa real de infiltração que acontece quando há disponibilidade de água para penetrar no solo. Uma curva de taxas reais de infiltração no tempo somente coincide com a curva das capacidades de infiltração de um solo, quando o aporte superficial de água (proveniente de precipitações e mesmo de escoamentos superficiais de outras áreas) tem intensidade superior ou igual a capacidade de infiltração. (Silveira; Louzada e Beltrame in: Tucci, 1993).

Em um solo em que cessou a infiltração, parte da água no seu interior propaga-se para camadas mais profundas e parte é transferida para a atmosfera por evaporação direta ou por transpiração dos vegetais. Esse processo faz com que o solo vá recuperando sua capacidade de infiltração, tendendo a um limite superior à medida que as camadas superiores do solo vão-se tornando mais secas.

Se uma precipitação atinge o solo com uma intensidade menor que a capacidade de infiltração, toda água penetra no solo, provocando uma progressiva diminuição da própria capacidade de infiltração, já que o solo está se umedecendo. Se a precipitação continuar, pode ocorrer, dependendo da sua intensidade, um momento em que a capacidade de infiltração real se processa nas mesmas taxas da curva da capacidade de infiltração, que passa a decrescer exponencialmente no tempo tendendo a um valor mínimo de infiltração. A parcela não infiltrada da precipitação forma filetes que escoam

superficialmente para áreas mais baixas, podendo infiltrar novamente, se houver condições.

Quando termina a precipitação e não há mais aporte de água à superfície do solo a taxa de infiltração real anula-se rapidamente e a capacidade de infiltração volta a crescer, porque o solo continua a perder umidade para as camadas mais profundas (além das perdas por evapotranspiração).

A Fig. 2 mostra o desenvolvimento típico das curvas representativas da evolução temporal da infiltração real e da capacidade de infiltração com a ocorrência de uma precipitação. (Silveira; Louzada e Beltrame in: Tucci, 1993).

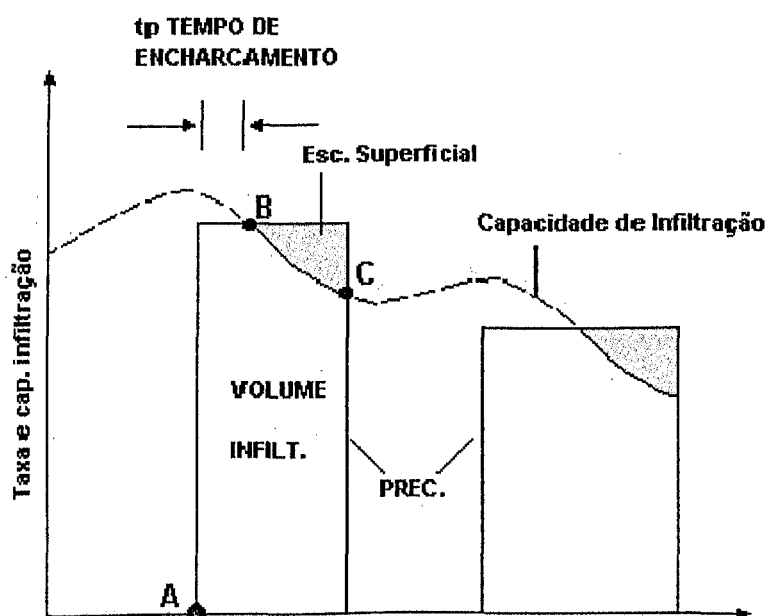


Fig. 2 - Curvas de capacidades e taxas de infiltração (Fonte: Silveira; Louzada e Beltrame in: Tucci, 1993)

A curva da capacidade de infiltração como mostrada na Fig. 2 é de difícil determinação experimental, exceto na fase em que a intensidade de precipitação a supera. A curva exponencial desta fase tem sido estudada isoladamente por muitos pesquisadores, mas o comportamento da capacidade de infiltração fora deste período pode ser avaliado por algoritmos específicos. Há também equações deduzidas para calcular o tempo de encharcamento ou saturação superficial, contado a partir do início da precipitação. (Silveira, Louzada e Beltrame in: Tucci, 1993).

Apesar da simplificação, o ciclo hidrológico é um meio conveniente de apresentar os fenômenos hidrológicos, servindo também para dar ênfase às quatro fases básicas de interesse do engenheiro que são: precipitação, evaporação e transpiração, escoamento superficial e escoamento subterrâneo. O movimento da água em cada uma das fases do ciclo é feito de um modo bastante aleatório, variando tanto no espaço como no tempo. (Fig. 3).

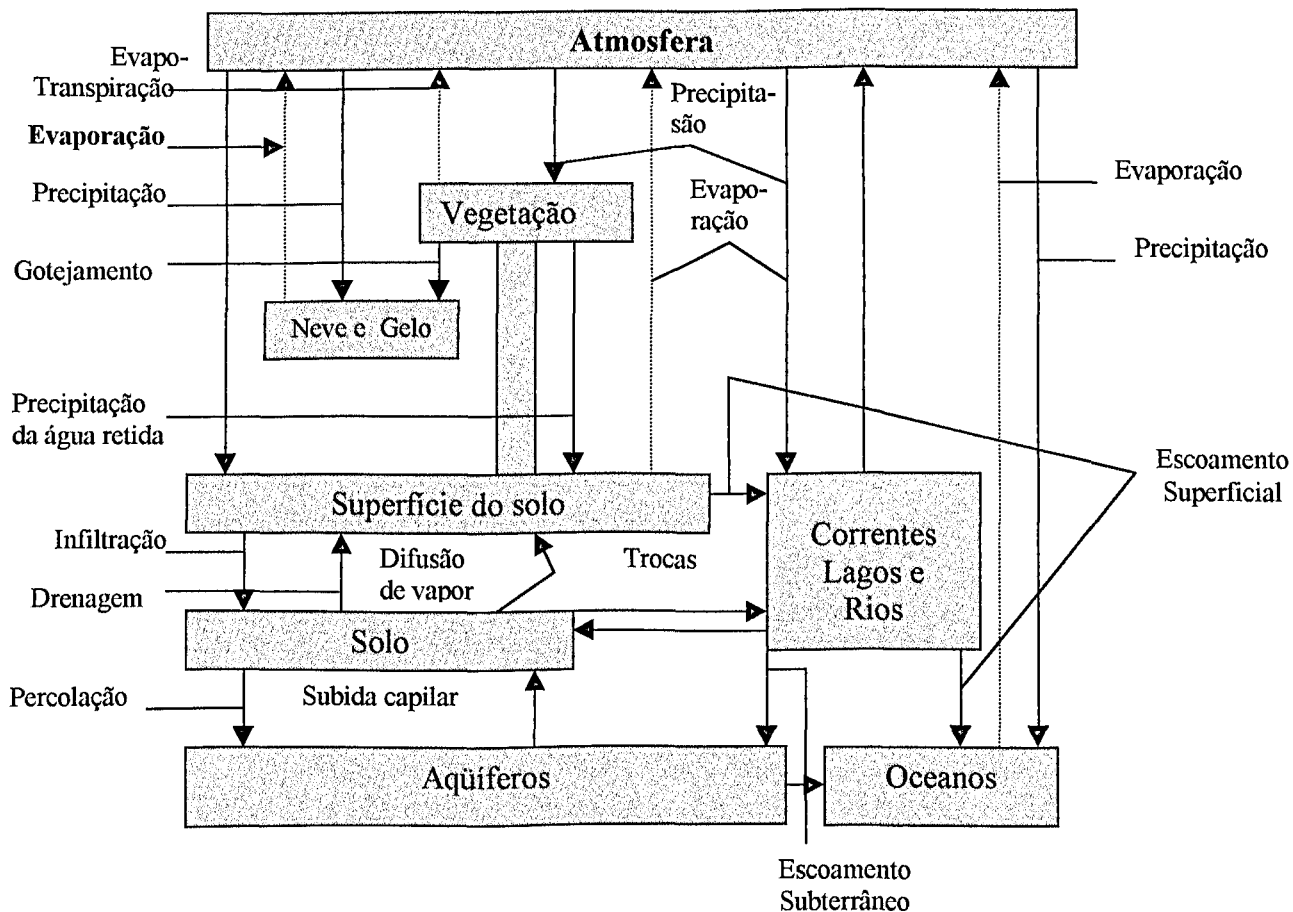


Fig. 3 - Ciclo Hidrológico do Ponto de vista de engenharia (Fonte: Vilella et al. 1975)

Em determinadas ocasiões, a natureza parece trabalhar em excesso, quando provoca chuvas torrenciais que ultrapassam a capacidade dos cursos d'água provocando inundações. Em outras ocasiões parece que todo o mecanismo do ciclo parou completamente e com ele a precipitação e o escoamento superficial.

E são precisamente estes extremos de enchente e de seca que mais interessam aos engenheiros, pois muitos dos projetos de engenharia são feitos com finalidade de proteção contra estes mesmos extremos. (Vilela, 1975).

2.2- Águas Subsuperficiais

Águas subsuperficiais são aquelas águas que se encontram abaixo da superfície do solo, tanto na zona insaturada, conhecida como vadosa, quanto na zona saturada.

2.2.1- Águas Subterrâneas

A água que se move para baixo, no interior do solo, atravessa a zona de aeração, onde o solo não está saturado, e quando ela atinge o nível no qual o solo ou a rocha encontram-se saturados (zona de saturação), a parcela de água passa a ser chamada de subterrânea. (Fig. 4)

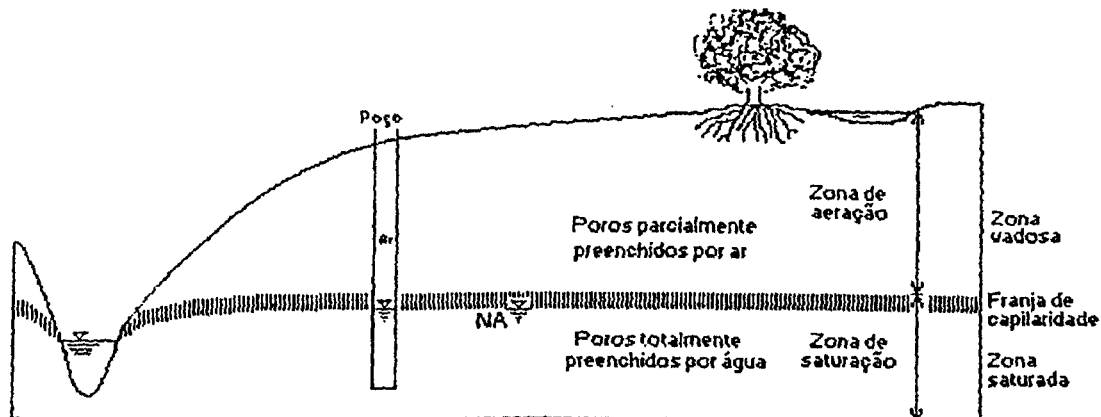


Fig. 4 - Perfil de uma perfuração mostrando a distribuição das águas de subsuperfície (Fonte: Leite, 1995)

A água subterrânea move-se muito lentamente em comparação com a água superficial. Uma alta velocidade de água subterrânea estaria na faixa de 1 m/dia, enquanto um rio rápido pode mover-se a uma velocidade de 1m/s (Cleary, 1989). Com 86400 segundos em um dia, a diferença comparativa na escala da velocidade é altamente impressionante. Enquanto o fluxo de água subterrânea é evidentemente um processo laminar, o fluxo de água superficial é turbulento. Sabe-se que o tempo médio de residência de água subterrânea no subsolo é estimado em 280 anos (Lvovitch, 1970),

com alguma água residindo em aquíferos profundos por um tempo tão longo quanto 30.000 anos ou mais (Pearson e White, 1967 apud Cleary, op. Cit). Os rios usualmente possuem tempos de residência de menos do que algumas semanas. Os altos tempos de residência para água subterrânea significam que as taxas de recarga anual são muito pequenas. Esse fato, juntamente com enorme volume dos poros nos aquíferos, torna a água subterrânea uma reserva confiável a longo prazo, efetivamente imune às flutuações anuais de precipitação. Significa também que um aquífero, uma vez poluído, pode levar séculos ou mais tempo até que consiga promover uma autodescontaminação, através de mecanismos de fluxo natural.

2.3 - Superfície potenciométrica (freática)

É apresentado na Fig. 4, um perfil mostrando a distribuição das águas de subsuperfície. A parte superior da seção evidencia os espaços de poros ou vazios que contêm ar, vapor de água e, possivelmente água líquida ou gelo, ou até mesmo ambos. Esta zona é chamada de zona insaturada (ou zona vadosa), cuja espessura pode variar de 1 centímetro a dezenas de metros. Em seguida tem-se uma região em que os poros se encontram cheios de água sob forma líquida, denominada de zona saturada. O limite superior do lençol d'água separa as zonas saturada e insaturada. Há uma zona (franja) de capilaridade ou zona de transição entre as zonas saturada e insaturada, com espessura que varia de centímetro (em materiais grossos) até 1 a 2 metros (em materiais finos) (Leite, 1995).

Os níveis de água do limite superior da zona saturada (lençol d'água - lençol freático - aquífero freático) forma uma superfície denominada "superfície potenciométrica". A Superfície Potenciométrica é o lugar geométrico dos pontos que registram a altura dos níveis estáticos das águas de um determinado aquífero (Cottas, 1983). Em alguns livros, especialmente nos mais antigos, o termo "superfície piezométrica" é usado em vez de "superfície potenciométrica". O primeiro termo, "superfície piezométrica", é aplicado estritamente aos aquíferos confinados. Uma vez que "superfície potenciométrica" pode ser usada para aquíferos confinados e freáticos, é esse o termo adotado pelo *United States Geological Survey* (USGS) e pela maioria dos livros de texto mais modernos (Ramos, 1989).

A profundidade do nível do "lençol freático" (superfície potenciométrica), também denominado nível hidrostático, é determinada por dados de sondagem, por dados de poços profundos, ou por procedimentos de geofísica.

Um mapa potenciométrico mostra o comportamento da superfície potenciométrica e o seu conhecimento é elemento indispensável em qualquer estudo de movimentos de águas subterrâneas.

A determinação dos níveis de água do limite superior da zona saturada (lençol d'água - lençol freático - aquífero freático) denominada superfície potenciométrica, bem como a sua distância em relação à superfície do terreno (profundidade), são objetos desta dissertação, e a sua representação em um mapa de profundidades desta superfície, realizado a partir dos dados de sondagens do tipo SPT (*Standard Penetration Test*).

2.4 - O movimento das águas no meio poroso e fraturado

A) O movimento das águas em meio poroso

Os meios rochosos ou terrosos, em sua quase totalidade, são assinalados por descontinuidades em seu interior, com forma, dimensões e frequência de ocorrência muito variáveis (Fig. 5). Tais descontinuidades recebem a denominação genérica de vazios ou poros, embora o último termo seja mais empregado para designar vazios de forma aproximadamente esférica. (Franciss, 1980).

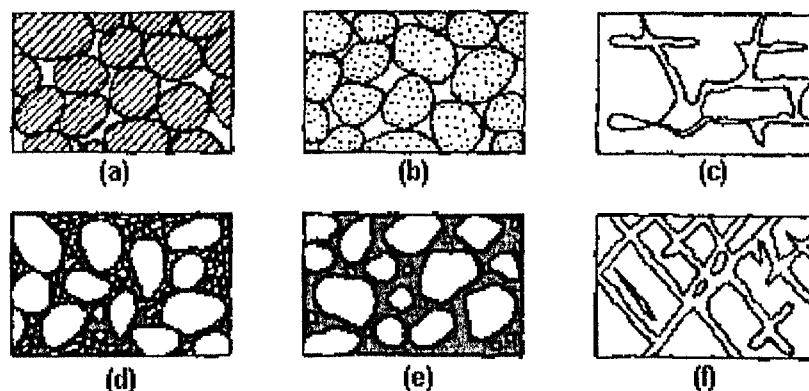
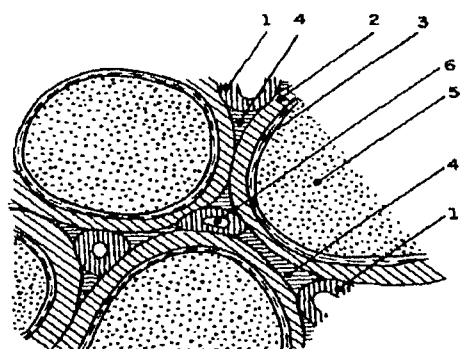


Fig. 5 - Formas, dimensões variáveis de meios rochosos ou terrosos, o quadro (a) representa grãos de areia quartzosa lavada; o (b) grãos de silte cimentados formando grãos de tamanhos maiores e entre eles os poros; o (c) a formação de cavernas em meio calcáreo sem fraturas pré-existentes; o (d) grãos de pedregulho cimentados por uma matriz heterogênea calcárea ou óxido de ferro; (e) grãos de pedregulho cimentados por uma matriz argilosa mais homogênea e o (f) formação de cavernas em meio calcáreo com fraturas pré-existentes (Meinzer 1923 apud Franciss, 1980).

Os meios porosos são constituídos de porções fluidas e sólidas. A parte sólida é formada por partículas minerais ou fragmentos de rocha, ou aglomerados de partículas. Entre essas partículas, ocorrem os espaços vazios que são ocupados pela porção fluida que compreende uma fase líquida e uma gasosa (Leite, 1995).

Os vazios dos meios rochosos ou terrosos costumam estar preenchidos por água e ar (Fig. 6). A água constitui a fase líquida, o ar, a fase gasosa e seus agregados de minerais, a fase sólida. A coexistência dessas três fases determina o caráter trifásico do sistema resultante. (Franciss, 1980).



- 1 - Água funicular (móvel)
- 2 - Película de umidade molecular
- 3 - Água higroscópica (adsorvida)
- 4 - Água pendular (angular)
- 5 - Partícula de solo
- 6 - Bolha de ar

Apud I. I. Plyusnin, Reclamative Soil Science
Foreign Languages Publishing House Moscow,
1968

Fig. 6 - Preenchimento de vazios nos meios rochosos ou terrosos (Fonte: I. I. Plyusnin, 1968 apud Franciss, 1980).

A fase líquida é descontínua quando os vazios da fase sólida são descontínuos ou quando a quantidade de água existente é insuficiente para propiciar sua intercomunicação. Caso contrário, a fase líquida é contínua. Todavia, mesmo quando a fase líquida ocupa a totalidade dos vazios, a fase gasosa permanece, com um caráter residual, aderida às paredes internas de cada poro e dissolvida na fase líquida.

O sistema trifásico, constituído pelo meio rochoso ou terroso, com água e ar em seus vazios, não permanece imutável. Variações, no espaço e/ou no tempo do estado de tensões atuantes no sistema modificam seu estado físico. Tais variações induzem modificações no agenciamento da fase sólida e no estado de movimento da fase líquida. Quando em movimento, a fase líquida pode carrear, temporariamente, algum material sólido, pertencente ou estranho ao meio poroso.

Quando permitem a movimentação de água em seu interior, os meios rochosos ou terrosos recebem a adjetivação permeáveis.

O estudo do transporte de água através dos meios permeáveis constitui parte integrante de projetos de exploração de água subterrânea e projetos de obras civis.

A matriz do solo é essencialmente anisotrópica e heterogênea, o que faz da movimentação da água em seu interior um problema complexo e de difícil equacionamento. A taxa de infiltração vai depender da granulometria, do índice de vazios, da forma dos elementos do solo, enfim, de toda a estrutura do material poroso que compõe as primeiras camadas do solo de uma região. E ainda mais, para um mesmo solo, o fluxo de água em seu interior pode ser distinto dependendo da direção do escoamento (Ramos, 1989).

A direção do fluxo de água no solo é também uma função da espessura do material inconsolidado, da forma do substrato geológico e da topografia. (Zuquette, 1987). (Fig. 7).

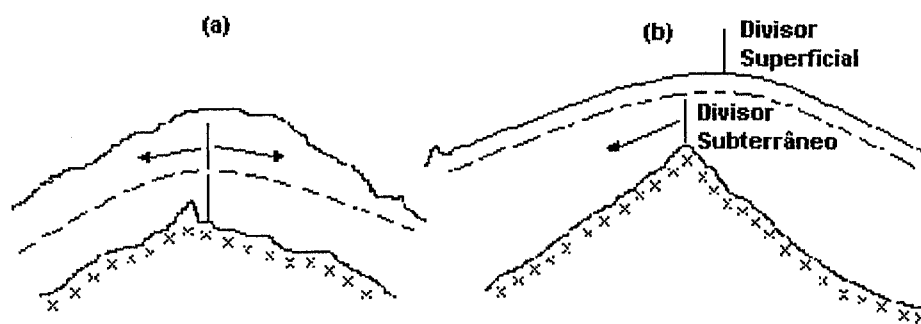


Fig. 7 - Esquemas da direção do fluxo em função do espessura do material inconsolidado, da forma do substrato geológico e da topografia. No esquema (a) o divisor topográfico coincide com o divisor subterrâneo (substrato rochoso) e no esquema (b) o divisor topográfico não coincide com o divisor subterrâneo (substrato rochoso) (Fonte: Zuquette, 1987).

O escoamento de água através dos vazios dos meios rochosos ou terrosos permeáveis recebe a designação genérica de percolação. Diferentes modalidades de vazios determinam diferentes tipos de porosidade: vacuolar, intersticial, de fraturas e de canais. Eventualmente, mais de um tipo de porosidade coexiste em um único meio. A água que existe nos vazios de um meio permeável ocorre, em termos simplificados, sob forma de água retida e água livre (Fig. 8). A água livre escoar sob a ação da gravidade, exibindo o comportamento de um fluido quase-Newtoniano (líquido viscoso), enquanto a água retida permanece aderente à fase sólida sob a ação de fenômenos físico-químicos e capilares. A estrutura do solo determina o tamanho e a distribuição dos vazios e dos condutos capilares. Quanto menor a dimensão dos vazios, tanto maior o percentual de água retida em relação à água total, atingindo praticamente 100% quando tal dimensão for inferior a 10^{-2} mm. Entre 10^{-4} a 10^{-2} mm, a água é praticamente retida apenas por capilaridade. Abaixo de 10^{-4} mm exibe um comportamento de um fluido quase-não-Newtoniano (líquido viscoplástico). A Fig. 9 indica uma relação aproximada entre o percentual de água retida e a dimensão média de grãos de solos finos não-coesivos. (Franciss, 1980 e Gonda, 1985).

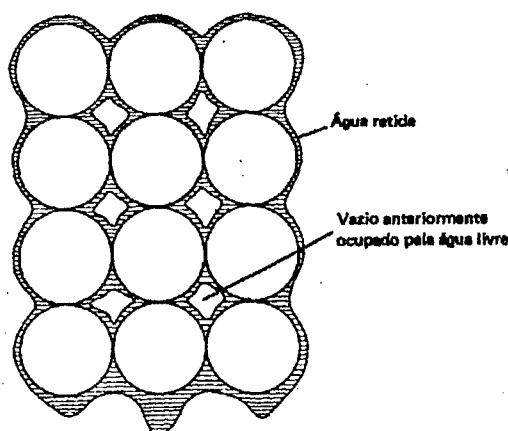


Fig. 8 - Água retida e água livre (Fonte: Meinzer 1942, apud Franciss, 1980).

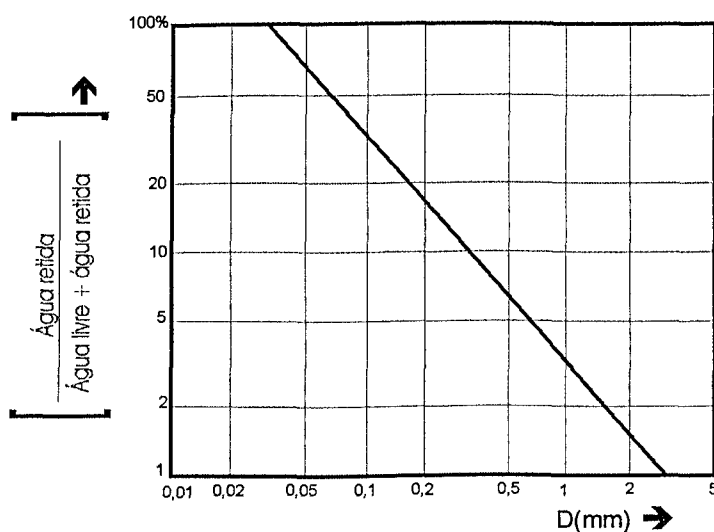


Fig. 9 - Relação aproximada entre o percentual de água retida e a dimensão média de grãos de solos finos não-coesivos (Fonte: Letourneur e Colin, 1971 apud Franciss, 1980).

Portanto, segundo Gonda (1985), para que as águas se movimentem no solo são necessárias duas condições:

- a) Força condutora que a faça movimentar;
- b) Meio adequado onde possa movimentar-se (poros condutores).

A estrutura tem uma influência especial em solos finos. Quanto mais dispersas estão as partículas, mais sinuosa é a trajetória da água, incidindo ortogonalmente às partículas. Quanto maiores os canais de fluxo para um determinado número de vazios, maior a permeabilidade. (Lambe & Whitman, 1981)

Permeabilidade é a propriedade dos solos que indica a maior ou menor facilidade que os mesmos oferecem à passagem da água através de seus vazios. Essa maior ou menor facilidade de passagem da água é numericamente expressa pelo "coeficiente de permeabilidade". (Alonso, 1999).

Quanto menor o coeficiente de permeabilidade, menos fluxo de água escoar pelos vazios do solo. Como não existem solos sem vazios, o coeficiente de permeabilidade não pode ser nulo nestes materiais. Entretanto para fins práticos de engenharia, quando o mesmo for da ordem de 10^{-8} cm/s, diz-se que o solo é "impermeável", ou seja, não ocorre fluxo d'água. (Alonso, 1999; Degraff, 1988).

Em grandes números somente cerca de 30% da precipitação anual escoar sobre a superfície do solo de uma bacia; os outros 70% infiltram-se e percolam pela matriz do solo. Numa análise individual, no tempo e no espaço, de cada evento chuvoso, o volume infiltrado varia enormemente. Pode ir de, praticamente, 100% da chuva até valores bem pequenos, dependendo da intensidade da precipitação, do solo, da bacia e das chuvas anteriores (Ramos, 1989).

B) Lei de Darcy

Em 1856, o engenheiro francês Henry Darcy, durante a realização de ensaios de infiltração através de areias finas, constatou que a velocidade de fluxo é proporcional a uma força condutora (gradiente hidráulico) e à condutividade hidráulica do meio poroso. (Gonda, 1985).

A condutividade hidráulica, conhecida também como coeficiente de permeabilidade, expressa o grau de facilidade oferecido pelo meio poroso ao escoamento de água através de seus vazios. (Gonda, 1985).

A velocidade de fluxo no solo saturado é descrita pela seguinte relação conhecida como lei de Darcy: $Q = A.K.i$

onde,

Q = é a vazão que passa por uma seção do solo, de área A ;

K = é a condutividade hidráulica do solo; e

i = é o gradiente hidráulico;

A = área da seção transversal. (Gonda, 1985)

A Fig. 10 demonstra o experimento desenvolvido por Darcy no qual o volume de água através de uma camada de areia é proporcional à pressão e inversamente proporcional à espessura da camada atravessada. Assim, a velocidade do fluxo através do meio poroso é proporcional à carga hidráulica e inversamente proporcional ao comprimento da trajetória do fluxo (Todd, 1967). A maior contribuição dessa lei é servir de base para o conhecimento do fluxo de água nos meios porosos.

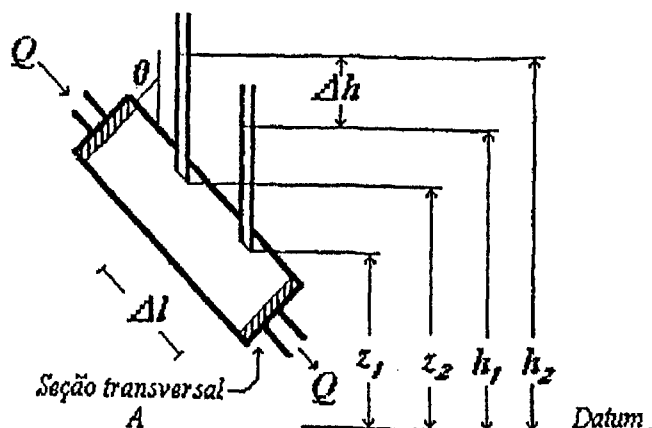


Fig. 10 - Experimento para ilustração da Lei de Darcy (Fonte: Freeze & Cherry, 1979)

Do ponto de vista de escoamento de água através dos meios porosos a condutividade hidráulica é a propriedade física mais importante. (Gonda, 1985).

A água subterrânea não é estática, está em constante movimento e flui através dos poros interconectados. Há duas equações muito importantes que quantificam o movimento da água sob condição isotérmica: a equação de Darcy para solos saturados, e a equação de Darcy-Buckinhan para solos não saturados (Libardi, 1995).

C) Percolação de Água em meios Fraturados

O nascimento da Mecânica das rochas em 1926, com uma tese de H. Schimidt sobre elasticidade das rochas, aliada à compreensão da Hidrogeologia, daria os primeiros passos nos estudos de escoamento em maciços rochosos. A partir da década 60, com o desenvolvimento da Hidráulica das Rochas, obteve-se o suporte para o início dos estudos referentes ao escoamento das águas. Os estudos de fluxo d'água no meio rochoso diferem completamente daqueles estudos realizados por Darcy, e depois, pela Mecânica dos Solos (Andrade, 1996).

O grande impulso para o desenvolvimento da Hidráulica das Rochas, verificou-se com os trabalhos desenvolvidos por alguns autores no final da década de 60 (Snow, Louis) e início da década de 70 (Sharp, Maini, Franciss, entre outros) e através da realização do Simpósio de Sturtgart, em 1972 (*Percolation Through Fissured Rocks*) (Andrade, 1996).

Todos os modelos matemáticos apresentados, para os quais a permeabilidade era estudada, se baseavam nos seguintes aspectos:

- A fórmula de Darcy era aceita no domínio em estudo;
- O meio era contínuo.

Nestas condições pode-se dizer que, em qualquer ponto do domínio estudado, a somatória das vazões é nula para fluxo permanente e isotérmico:

$$\Sigma Q = 0$$

E ainda, baseava-se na variedade do escoamento laminar, o que significa deduzir que a vazão num caminho de percolação é:

$$Q = f \cdot i$$

a equação acima fundamenta o escoamento em maciços fraturados, onde f representa o fator de escoamento por unidade de pressão na direção do escoamento;

i o gradiente de pressão nesta mesma direção (Andrade, 1996).

D) Características Hidráulicas no Meio Fraturado

A caracterização do comportamento Hidrogeotécnico dos maciços rochosos deve levar em consideração as suas condições de heterogeneidade e anisotropia que afetam as suas propriedades hidráulicas. A heterogeneidade, que tem origem nas diferenças litológicas e estruturas geológicas variadas, interfere na distribuição de pressões hidrostáticas e forças de percolação segundo o coeficiente de permeabilidade envolvido. As equipotenciais se concentram nas zonas menos permeáveis e se afastam nas outras, sem que alguma lei geral possa ser estabelecida, dependendo da configuração do potencial hidráulico da situação geométrica de cada caso em particular (Oliveira, 1981 apud Andrade, 1996).

A anisotropia corresponde, no caso mais elementar, à existência de duas direções de comportamento diverso. Entretanto as propriedades hidráulicas dos meios fraturados podem variar em três direções ortogonais (planos principais) importando considerar as relações de anisotropia envolvidas na determinação dos coeficientes de permeabilidade do maciço (Andrade, 1996).

Os maciços rochosos são, dessa maneira, meios essencialmente heterogêneos, anisotrópicos e descontínuos. A complexidade que apresentam advém, não só da variedade de gêneses diferentes que promovem a constituição de matrizes extremamente diversas, mas também de sua história tectônica. Contudo, é a escala da porção do maciço analisado que define a validade de se considerar se o meio é homogêneo ou heterogêneo, isotrópico ou anisotrópico, contínuo ou descontínuo, devendo-se idealizar, diante de um estudo qualquer, o modelo da análise mais adequado à caracterização do comportamento hidrogeotécnico (Andrade, 1986) (Fig. 11).

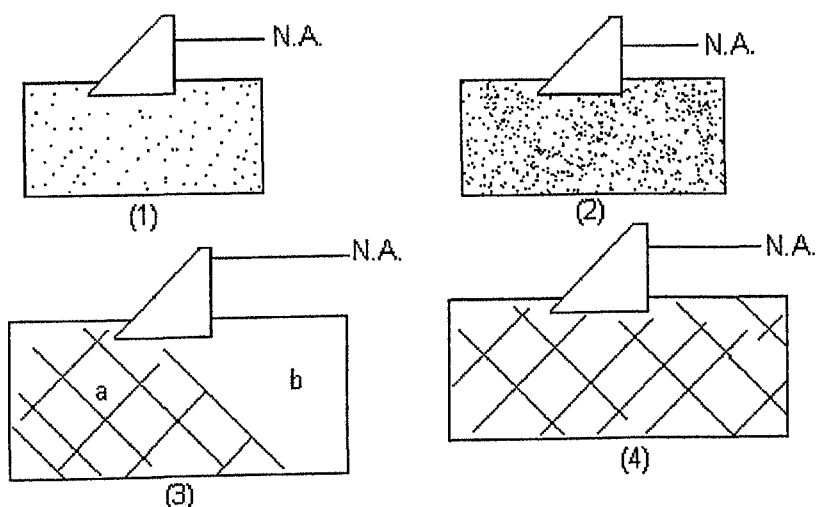


Fig. 11 - Meios homogêneos ou heterogêneos, isotrópicos ou anisotrópicos (Fonte: Modificado de Louis, 1974 in: Oliveira, 1981).

(1) e (2) - Meio homogêneo, isotrópico e contínuo

(3) - Meio heterogêneo, sendo (a) anisotrópico e descontínuo e (b) isotrópico e contínuo.

(4) - Meio homogêneo, anisotrópico e descontínuo

E) Leis de escoamento nas Fraturas

As características do fluxos de água nas fraturas foram estudadas por diversos autores: Lomize (1953), Louis (1969), Sharp (1970) e Quadros (1982) tendo sido definidas leis experimentais decorrentes de estudos de laboratório, bem como uma abordagem teórica para o problema (Andrade, 1996).

Para fluxo laminar, os resultados obtidos pelos diversos autores comprovam a validade da lei cúbica e para fluxo turbulento, a vazão é proporcional a $e^{1,5}$, onde e é a abertura da fratura. Nos dois casos é importante ressaltar que as fraturas estão sem preenchimento. Pode-se adotar a formulação proposta por Louis (1969) ou por qualquer um dos autores citados. Segundo Louis, para o escoamento paralelo, ou seja, quando $(k/2e \leq 0,033)$, as leis de escoamento resumem-se:

$$q = \frac{g}{12 \cdot v} \cdot e^3 \cdot J \text{ (laminar)}$$

$$q = 4 \sqrt{\lambda} \left[\log \frac{3,7}{k/2e} \right] e^{1,5} \cdot J^{0,5} \text{ (turbulento)}$$

Nessas expressões $k/2e$ representa a rugosidade relativa da fratura, g a aceleração de gravidade, q a vazão e J o gradiente no plano da fratura. (Andrade, 1986).

De uma forma geral, pode-se definir um coeficiente de perda de carga, o qual, em termos físicos, representa a resistência que o meio oferece à percolação da água. (Andrade, 1986).

2.5 - Profundidade do nível d'água

A baixa densidade de informações relativas a profundidade do nível d'água freática constitui-se num dos grandes obstáculos à ocupação adequada do meio físico e para o planejamento como um todo; ao mesmo tempo, representa dificuldade adicional para a realização de um mapa que reproduza as condições de ocorrência da zona saturada correspondente.

Normalmente, informações referentes à profundidade do nível d'água são apresentadas em perfis de sondagens para simples reconhecimento e em poços tubulares profundos. A maior dificuldade para utilização dessas informações em trabalhos de âmbito regional ou mesmo local está na sua distribuição, pois estão concentradas em áreas urbanas (principalmente na forma de perfis de sondagens para simples reconhecimento), ou então dispersas em baixa densidade (perfis litológicos de poços tubulares profundos), e ainda como dados de sondagens em obras lineares, a exemplo das torres das linhas de transmissão de energia elétrica (perfis de sondagens do tipo borro). Outras fontes de informações (indiretas) são os diferentes tipos de documentos cartográficos, dentre os quais se podem citar mapas geológicos; geomorfológicos e pedológicos. No entanto, as informações apresentadas nesses documentos não tratam diretamente da profundidade do nível d'água. Esse atributo precisa ser interpretado a partir de outras informações contidas nos mapas. A título de exemplo, a profundidade da zona saturada pode ser estimada pela constatação de solos hidromórficos e ou orgânicos (em mapas pedológicos), presença de sedimentos aluvionais atuais, contato entre rochas de diferentes coeficientes de condutividade hidráulica (rocha de elevada permeabilidade sobrejacente a uma outra de baixa condutividade hidráulica) e presença de rochas de baixa permeabilidade em situação aflorante ou então recobertas por camadas inconsolidadas (mapas geológicos) (Nishiyama e Zuquette, 1997).

A determinação do limite superior da zona saturada, denominado nível d'água freática, bem como a sua distância em relação à superfície do terreno (profundidade) é de suma importância no planejamento do uso e ocupação do solo local ou regional, pois sob condições de pequena profundidade constituiu um fator limitante para determinadas formas de ocupação.

Como exemplos de ocupações sujeitas a limitações decorrentes desse atributo pode-se citar a disposição de rejeitos sólidos (municipais, industriais, sépticos) e líquidos (tanques para efluentes industriais e fossas sépticas) (Zuquette, 1993).

Nestes casos, dependendo da distância entre a base do sítio de disposição dos rejeitos ou dos resíduos e o nível d'água da zona saturada, pode ocorrer a contaminação ou até mesmo a poluição da água pelos componentes químicos e biológicos contidos nos líquidos de infiltração (Nishiyama & Zuquette, 1997).

Outros exemplos de ocupações sujeitas às limitações decorrentes desse atributo referem-se às obras de engenharia, tais como: fundações de edificações (a condição inadequada deste atributo poderá determinar o seu rebaixamento e o tipo de fundação a ser utilizada), cortes para construção de estradas e execução de obras para contenção de encostas e aterros; no caso de fundações, as características químicas, térmicas e minerais da água subterrânea poderá provocar agressividade ao concreto; sua presença em áreas de encosta poderão provocar deslizamentos, como os exemplos clássicos citados por Chiossi (1979), ocorridos na via Dutra em 1967 nas imediações da Serra das Araras (Estado do Rio de Janeiro), o deslizamento no novo traçado da FEPASA na região do Rio Claro (SP), deslizamento na Serra do Mar nas proximidades de Caraguatatuba em 1968 e deslizamento do talude na rodovia Castelo Branco, km 120 (Estado de São Paulo), entre outros.

Apesar da importância da profundidade da zona saturada como um atributo determinante para as diversas formas de ocupação, são poucos os trabalhos existentes sobre levantamentos e mapeamentos da profundidade do nível d'água, dentre estes podem-se citar: "Águas Subsuperficiais: Procedimentos para Levantamento e Estimativa de Informações para Elaboração e Apresentação do Mapa de Profundidade

da Zona Saturada" elaborado por Nishiyama e Zuquette, 1997; "Caracterização Geológico-geotécnica da Região Urbana de São Carlos (SP), a partir de Sondagens de Simples Reconhecimento" elaborado por Bortolucci, 1983 e "Condições Geomorfológicas do Aproveitamento da Água na Área de Rio Claro (SP)", elaborado por Penteado, 1966.

2.6 - Sondagem a percussão do tipo SPT (*Standard Penetration Test*) ou de simples conhecimento

Normalmente as informações solicitadas a um programa de investigação do subsolo, de acordo com Lima (1979), são as seguintes:

- a) determinação da extensão, profundidade e espessura de cada horizonte de solo dentro de uma determinada profundidade que vai depender da dimensão e natureza da estrutura, além de uma descrição do solo, que inclua a sua compactação, se o solo não for coesivo e estado de consistência, se o solo for coesivo;
- b) profundidade do topo rochoso e sua classificação, incluindo informações sobre: extensão; profundidade e espessura de cada estrato rochoso; direção; mergulho e espaçamento de juntas e planos de acamamento; presença de zonas de falhas e o estado de alteração e decomposição;
- c) informações sobre a ocorrência de água no subsolo: profundidade do lençol freático e suas variações, lençóis artesianos ou empoleirados;
- d) propriedades de engenharia dos solos e rochas "*in situ*", tais como, compressibilidade, resistência ao cisalhamento e permeabilidade.

Os métodos de prospecção do subsolo para fins geotécnicos classificam-se em:

a) Métodos Indiretos

São aqueles em que a determinação das propriedades das camadas do subsolo é feita indiretamente pela medida, seja de sua resistividade elétrica ou da velocidade de propagação de ondas elásticas.

b) *Métodos semidiretos*

São os processos que fornecem informações sobre as características do terreno, sem contudo possibilitarem a coleta de amostras ou informações sobre a natureza do solo, a não ser por correlações indiretas.

c) *Métodos diretos*

Consistem em qualquer conjunto de operações destinado a observar diretamente o solo ou obter amostras ao longo de uma perfuração (Lima, 1979), onde se enquadra a sondagem a percussão.

Sondagem à percussão

O método de sondagem conhecido como de percussão ou simplesmente SPT (*Standard Penetration Test*), originário da América do Norte, é o mais difundido no Brasil. (Lima, 1979).

A denominação "Sondagem para simples reconhecimento" é a definição dada, no Brasil, para um tipo de exploração do subsolo que visa, além das determinações do perfil estratigráfico e do *nível d'água*, estimar características de resistência dos solos, através de um ensaio de penetração bastante simples. (Bortolucci, 1983).

No desenvolvimento histórico dessas sondagens, conforme apresentado por Belincanta (1998), podem ser atribuídos os motivos pelos quais, ainda hoje, não há uma padronização internacional para os ensaios de penetração, apesar de largamente utilizados na engenharia de fundações (Bortolucci, 1983).

As sondagens no Brasil começaram com a criação da Seção de Estruturas e Fundações do IPT, em 1935. A sondagem a percussão consiste basicamente na perfuração do solo, que pode ser intercalada com a perfuração executada a trado ou com circulação de água, e na cravação de um amostrador padrão com energia padronizada denominada ensaio de penetração dinâmica. As medidas de resistência à penetração de

amostrador padrão começaram a ser utilizadas no Brasil pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), em 1943, em caráter experimental e, a partir de 1944, de maneira sistemática. A resistência à penetração, na época, se constituía no número de golpes de um martelo de 60 kg, caindo em queda livre de uma altura de 75 cm, necessários à cravação do amostrador por 30 cm no solo, a partir de seu apoio no fundo da perfuração obtido com seu próprio peso mais o das hastes da composição. Em 1958 foi realizada a primeira tentativa de normalização do SPT pela ASTM (*American Society for Testing and Materials*) (D 1586-58T). Em 1970 a empresa de engenharia de nome Geotécnica e o IPT partem para a primeira tentativa de normalização com o uso de um único amostrador: a do tipo Raymond, com 51 mm de diâmetro externo. A partir desse ponto iniciam-se os primeiros trabalhos no sentido de se estabelecer uma norma brasileira. Em 1971, Victor de Mello apresenta um "estado da arte" com o trabalho intitulado *Standard Penetration Test* por ocasião do 4º Congresso Pan-americano de Mecânica de Solos e Engenharia de Fundações, realizado em Porto Rico, no qual, além de discutir o seu procedimento, também defende a aplicação de correlações mais diretas com o índice de resistência à penetração N , afirmando que o N se correlaciona melhor com ângulo de atrito interno das areias do que com a compacidade relativa (DR). Em 1974, no 5º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, é discutida uma proposta de Método de Execução de Sondagem de Simples Reconhecimento dos Solos, elaborada pela ABMS (Associação Brasileira de Mecânica dos Solos) e a ser enviada como sugestão à ABNT. Teixeira apresenta, neste congresso, as relações em percentagem do número de golpes para cada um dos quinze centímetros de penetração, isto é, 23%, 33% e 44%. Em 1978, Décourt e Quaresma apresentam no 6º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, no Rio de Janeiro, um método para estimativa de capacidade de carga em estacas, inteiramente baseado no ensaio SPT. Em 1977, 1978, 1979 Palácios e Schmertmann fazem medições de energia realmente transferidas às hastes através de células de carga, chegando a resultados coerentes no sentido de ser confiável e consistente e possível de ser entendido e padronizado. Schmertmann chama a ferramenta na determinação de parâmetros dinâmicos dos solos. Em 1979 surge a norma brasileira sobre o SPT intitulada "Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento dos Solos", MB 1211/79, que posteriormente muda de numeração para NBR 6484/80. Há, desta maneira, a aceitação definitiva do amostrador do tipo *Raymond* de 51 mm de diâmetro externo. Em 1985 Belincanta apresenta em sua Dissertação de Mestrado, na

Escola Politécnica da USP, resultados de medições de energia dinâmica do SPT brasileiro, obtidos através de células de carga e acelerômetros (Belincanta, 1988).

2.6.1 - Sondagem à Percussão (SPT)

A NBR 6484/80 especifica a execução das sondagens de simples reconhecimento dos solos, cujos procedimentos são descritos a seguir.

Procedimento

Em linhas gerais a execução de sondagem de reconhecimento a percussão com circulação de água (utilizando o equipamento mostrado na Fig. 12) compreende as seguintes operações, segundo Lima, 1979:

a) *Processo de perfuração*

"A perfuração é iniciada com o trado cavadeira até a profundidade de 1 (um) metro, instalando-se o primeiro segmento do tubo de revestimento.

Nas operações subseqüentes de perfuração utiliza-se o trado espiral, até que se torne inoperante ou até encontrar o nível d'água no qual, usando-se o trépano de lavagem como ferramenta de escavação, a remoção do material escavado se faz por meio de circulação de água, realizada pela bomba d'água motorizada.

Durante as operações de perfuração, caso a parede do furo se mostre instável, procede-se a descida do tubo de revestimento até onde se fizer necessário, alternadamente com a operação de perfuração. O tubo de revestimento deverá ficar no mínimo a 0,50 m do fundo do furo, quando da operação de amostragem. Em sondagem profundas, onde a descida e a posterior remoção dos tubos de revestimento for problemática, poderão ser empregadas lamas de estabilização em lugar do tubo de revestimento.

Durante a operação de perfuração são anotadas as profundidades das transições de camadas detectadas por exame táctil-visual e da mudança de coloração dos materiais trazidos à boca do furo pelo trado espiral ou pela água de lavagem.

Durante a sondagem o nível d'água no interior do furo é mantido em cota igual ou superior ao nível lençol freático."

b) *Amostragem*

"Será coletada, para exame posterior, uma parte representativa do solo colhido pelo trado concha durante a perfuração até um metro de profundidade. Posteriormente, a cada metro de perfuração, a contar de um metro de profundidade, são colhidas amostras dos solos por meio do amostrador padrão. Obtêm-se amostras cilíndricas, adequadas para a classificação, porém evidentemente comprimidas. Esse processo de extração de amostras oferece entretanto a vantagem de possibilitar a medida da consistência ou compacidade do solo por meio de sua resistência à penetração no terreno, da qual se tratará adiante."

c) *Ensaio de penetração dinâmica*

"O amostrador padrão, conectado às hastes de perfuração, é descido no interior do furo de sondagem e posicionado na profundidade atingida pela perfuração. A seguir, a cabeça de bater é colocada no topo da haste, o martelo apoiado suavemente sobre a cabeça de bater e anotada a eventual penetração do amostrador no solo."

Utilizando-se o topo do tubo de revestimento como referência, marca-se na haste de perfuração, com giz, um segmento de 45 cm dividido em três trechos iguais de 15 cm."

"O ensaio de penetração consiste na cravação do amostrador no solo através de quedas sucessivas do martelo, erguido até a altura de 75 cm."

"Procede-se a cravação de 45 cm do amostrador, anotando-se, separadamente, o número de golpes necessários à cravação de cada 15 cm do amostrador."

A) Ensaio do Avanço da Perfuração por Lavagem

A sondagem é normalmente interrompida quando se chega a uma profundidade pré-estabelecida ou quando se atinge um solo altamente consistente ou compacto, ou quando se atinge o impenetrável à percussão.

Neste caso essa condição de impenetrável poderá ser confirmada pelo ensaio de avanço da perfuração por lavagem, com circulação de água.

Consiste na execução da operação de perfuração por circulação de água durante 30 minutos anotando-se os avanços do trépano, obtidos a cada período de 10 minutos.

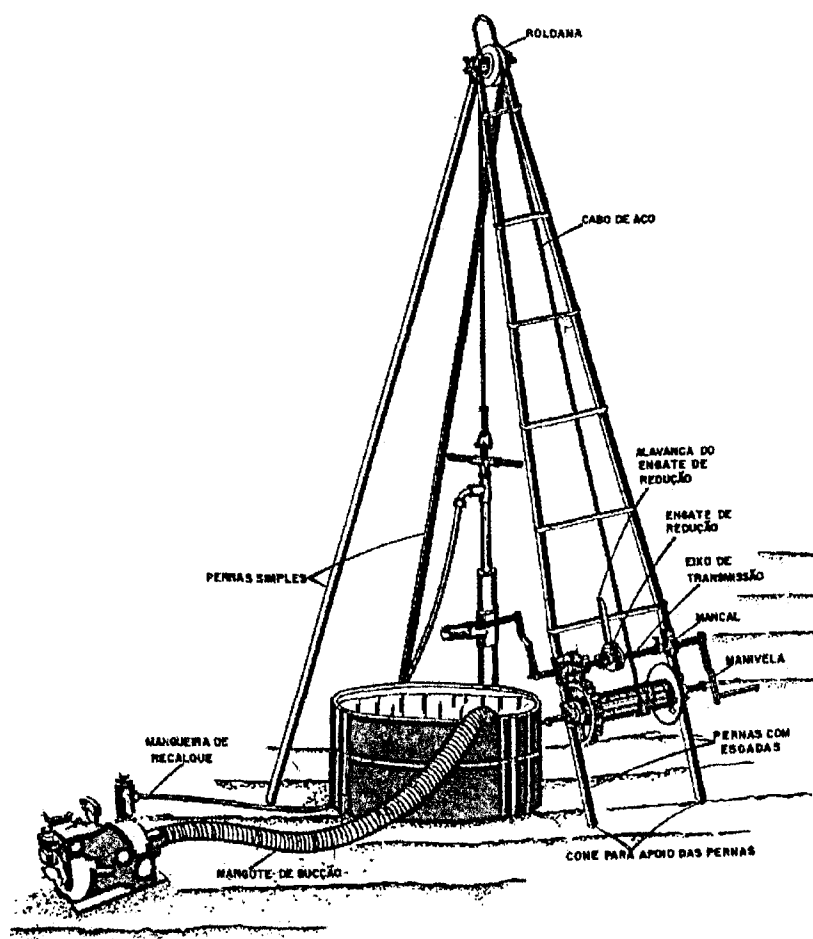


Fig. 12 - Equipamento de sondagem a percussão (Fonte: Lima, 1979)

A sondagem será dada por encerrada quando no ensaio de avanço da perfuração por lavagem forem obtidos avanços inferiores a 5 cm em cada período de 10 minutos, ou quando após a realização de 4 ensaios consecutivos não for alcançada a profundidade de execução do ensaio penetrométrico seguinte.

B) Observação do nível d'água freática

Quando se consegue levar a perfuração com trado helicoidal até a profundidade de ocorrência do nível d'água, interrompe-se a operação de perfuração nessa oportunidade e passa-se a observar a elevação do nível d'água no furo até sua estabilização, efetuando-se leituras a cada 5 minutos durante 30 minutos.

Durante a execução da sondagem a percussão são efetuadas observações sobre o nível d'água, registrando-se a sua cota, a pressão que se encontra e as condições de permeabilidade e frenagem das camadas atravessadas.

O nível d'água final da sondagem é determinado no término do furo, após esgotamento do mesmo e após a retirada do tubo de revestimento e decorridas 24 horas.

Nos casos onde ocorrem pressão de artesianismo no lençol freático ou fuga de água no furo deverão ser anotadas as profundidades das ocorrências e do tubo de revestimento.

C) Índice de resistência à penetração

Tal como definido por Terzaghi-Peck, (1962) em *Soil Mechanics in Engineering Practice*, o índice de resistência à penetração (SPT - *Standard Penetration Test*) é a soma do número de golpes necessários à penetração no solo, dos 30 cm finais do amostrador. Despreza-se, portanto, o número de golpes correspondentes à cravação dos 15 cm iniciais do amostrador em razão da possível influência do processo de perfuração por lavagem.

D) Análise do Método de sondagem (SPT)

O emprego da sondagem SPT fornece as seguintes vantagens:

- Custo relativamente baixo.
- Facilidade de execução e possibilidade de trabalho em locais de difícil acesso.
- Permite a coleta de amostras do terreno, a diversas profundidades, possibilitando o conhecimento da estratigrafia do mesmo.
- Através da maior ou menor dificuldade oferecida pelo solo à penetração de ferramenta padronizada, fornece indicações sobre a consistência ou compacidade dos solos investigados.

Possibilita a determinação da profundidade de ocorrência do lençol freático. (Lima, 1979).

2.7 - Metodologias de mapeamento geotécnico e profundidade da superfície freática

Muitas são as metodologias que podem ser adotadas para se procurar as soluções mais satisfatórias de problemas específicos que ocorrem em diferentes regiões.

O mapeamento da profundidade da superfície superior da zona saturada constitui-se no processo que busca avaliar e retratar as características do componente água, assim os possíveis comportamentos frente aos diferentes tipos de ocupação. Segundo Souza (1992), este é o meio mais apropriado para o exercício das geociências, enquanto área de aplicação, pois a sua elaboração passa pelo conhecimento dos fenômenos e processos da natureza que alteram as condições (dinâmicas) do meio físico.

O mapeamento da profundidade da superfície superior da zona saturada freática visa contemplar um atributo do meio físico, suas limitações, variações e potenciais. A sua interação com outros componentes do meio físico, ou as diferentes maneiras com que os materiais inconsolidados (residuais e retrabalhados) e rochas se encontram combinadas (arranjadas), determinam as características de estabilidade ou de fragilidade do meio físico em seus diferentes graus. Por estes motivos, este mapeamento caracteriza-se como um campo de interface de diversas áreas de conhecimento e as informações geotécnicas.

A qualidade dos resultados obtidos no mapeamento do lençol freático depende da metodologia adotada para o desenvolvimento do mesmo. É importante lembrar que uma metodologia é um conjunto de conceitos, postulados técnicos, métodos, classificações, recursos tecnológicos de investigação e computacionais utilizados para desenvolver um estudo e que deve estar relacionado às condições sócio-econômicas vigentes, às características dos técnicos da região e à densidade de informações existentes.

Qualquer que seja o procedimento metodológico adotado, é fundamental que atenda as seguintes condições: os componentes do meio físico devem ser levantados,

analisados, registrados e classificados tendo como objetivo a finalidade do trabalho, seja preventivo ou não, específico ou geral (Cottas, 1983).

Um problema dos mais importantes relativo ao mapa aqui discutido se prende à escolha da escala do mesmo.

É fundamental que, ao optar por uma escala, o resultado cartografado possibilite o uso para fins compatíveis, como de viabilidade, projeto, construção, manejo, monitoramento, planejamento etc.

Apesar do levantamento das informações até a aplicação de classificações caracterizarem-se como análise, os técnicos necessitam de conhecimento de síntese na fase final e que compreendem uma visão de conjunto e relações bastante aprimoradas sobre os componentes do meio físico e seus comportamentos frente aos tipos de ocupação. Assim, esta última condição permitirá uma solução mais adequada dos possíveis problemas, considerando a interação do meio físico com o meio sócio econômico, problemas gerados e potenciais para prevenção, mitigação e até reorganização estrutural (Cottas, 1983).

A elaboração das cartas interpretativas e derivadas, segundo Zuquette et al. (1997), deve ter como princípio fundamental fornecer informações aos usuários a fim de que possam aproveitar as vantagens e contornar as limitações do meio físico com recursos tecnológicos, visando otimizar situações específicas como:

1. Melhor aproveitamento do espaço físico por um conjunto de formas de ocupação;
2. Menor impacto ambiental negativo em virtude da implantação de uma forma de ocupação;
3. Maior rendimento dos investimentos ao longo do tempo;
4. Adoção de medidas preventivas para diminuir a probabilidade de ocorrência de eventos naturais e tecnogênicos que provoquem situações de riscos;
5. Obtenção de custos mais adequados nos procedimentos de investigação detalhada para obras civis;
6. Melhor escolha dos recursos tecnológicos para implantação da ocupação e, conseqüentemente, otimização de custos;

7. Previsão de possíveis problemas construtivos;
8. Melhor hierarquização dos diferentes tipos de ocupação em uma região;
9. Controle mais eficiente das atividades produtivas ou de ocupação;
10. Evitar a repetição de intervenções técnicas com o mesmo objetivo;
11. Evitar a necessidade de intervenções futuras a fim de corrigir problemas ocasionados por não serem respeitadas as limitações do meio físico.

A qualidade de uma carta interpretativa ou derivativa, deve ser avaliada por intermédio da análise dos atributos do meio físico tratados e da finalidade a que se destina.

Segundo Zuquette et al. (1997), carta interpretativa é um documento elaborado a partir da interpretação de informações contidas em um mapa fundamental básico, como por exemplo a carta de declividade, a qual tem como base o mapa topográfico (em escalas adequadas), e a carta derivada como um documento elaborado a partir de diversas informações (atributos) obtidas de diferentes mapas básicos, como a carta de zoneamento geotécnico para escavabilidade.

Qualquer que seja a escala, pressupõem-se que a obtenção das informações deve ser realizada através de observações qualitativas e quantitativas. As observações quantitativas são normalmente obtidas através de análises de campo, **sondagens** e ensaios executados sobre amostras indeformadas ou deformadas. (Zuquette, 1987).

A avaliação criteriosa da seleção dos atributos que serão integrados na elaboração das cartas derivadas e do documento fundamental que dará origem às cartas interpretativas, devem obedecer as seguintes seqüências de atividades, segundo Zuquette et. al (1997):

- Relação global dos atributos que interferem em todas as fases de uma forma de ocupação;
- Confiabilidade dos métodos utilizados para obtenção dos atributos e seu grau de incerteza;
- Precisão exigida pela escala em que será realizada a carta derivada ou interpretativa;

- Seleção dos mecanismos mais adequados para tratamento das informações;
- Definição quanto a possibilidade de envolver estudos de modelagem.

A amostragem deve ser dirigida de maneira tal que represente bem os atributos.

O trabalho deve basear-se no levantamento das informações considerando as suas densidades para cada divisão da região.

A distribuição ideal de pontos para a elaboração do mapa de profundidade do nível hidrostático "superfície potenciométrica", segundo Cottas (1983), é a mesma sugerida para o mapa de espessura de solos, isto é, de cinco pontos por quadricula de 4 km², para a escala de 1: 10.000.

A densidade de informações a ser adotada pode ser obtida de trabalhos similares já realizados ou de propostas metodológicas conforme Matula e Pasek (1984) na tabela abaixo:

Tabela 1 - Relação entre o número de pontos observados e a escala do mapeamento

<i>TIPO DE TRABALHO</i>	<i>ESCALA</i>	<i>PONTOS OBSERVADOS POR KM²</i>
SINÓTIPO (GERAL)	1:500.000 A 1:100.000 (1:75.000)	01
FUNDAMENTAL (BÁSICO)	1:50.000	03 - 05
	1:25.000	05 - 10
DETALHADO	1:25.000	10 - 15
	1:10.000	15 - 25
	1:5.000	25 - 40
	1:2.000	40 OU MAIS
	1:1.000	

FONTE: MÁTULA E PASEK, (1984), APUD ZUQUETTE (1993)

A interpolação dos dados pontuais, a partir de outros existentes, deve obedecer as seguintes observações, segundo Zuquette (1987):

1. A distância entre os pontos ou locais existentes e o interpolado;
2. A homogeneidade da área (unidade) em termos dos diversos atributos;
3. Quais os atributos ou valores interpolados para o ponto ou local;

4. A interpolação poderá ser obtida através de programa computacionais, não considerando a subjetividade;
5. A interpolação só deve ser executada quando não houver outra saída para a provisão do atributo e / ou valor;
6. Estar atento, pois nem todo atributo pode ser interpolado;
7. A interpolação poderá não ser possível, em função da escala em que o mapeamento geotécnico está sendo realizado;
8. A interpolação será mais segura quando o atributo for medido em faixas de valores (2 a 5) ou condições (boa).

O mapeamento de atributos físicos pode ser utilizado para diversos fins, em escalas de 1:500 até 1:250.000. Quanto à escala, os mapeamentos podem ser classificados, segundo Zuquette (1981), em:

- Escalas grandes - 1:10.000 ou maior - em mapas confeccionados para finalidades específicas;
- Escalas intermediárias - 1:10.000 a 1:100.000 - em mapas destinados à planejamento regional;
- Escalas pequenas - 1:100.000 ou menor - em mapeamento de caráter geral.

Após lançados os pontos com as profundidades do nível da água subterrânea são traçados as curvas de isovalores, para a obtenção do mapa de profundidades da superfície freática "superfície potenciométrica".

Os mapeamentos podem ser elaborados por diferentes mecanismos utilizando recursos manuais (gráficos, papéis coordenados etc) e / ou automatizados (AutoCad, Civil / Survey, Microstation, SIG etc).

3 - Procedimentos Metodológicos para o Mapeamento da profundidade da Superfície Freática do Setor Central da Malha Urbana de Uberlândia-MG

Apesar da importância da caracterização da profundidade da zona saturada do solo para finalidades de uso e ocupação do meio físico, é comum a ausência de informações sobre ela em grande parte do território brasileiro. As exceções são, principalmente, os grandes centros urbanos que dispõem de uma densidade razoável de dados produzidos sobretudo por meio de sondagens para simples reconhecimento (SPT), mas a maioria deles, embora esteja disponível, não apresenta confiabilidade quanto à localização e aos procedimentos de execução.

Através dos dados bibliográficos pesquisados, se verificou que são poucos os estudos que abordam o mapeamento da superfície freática baseados nas informações obtidas em sondagens para simples reconhecimento do tipo SPT. Dentre estes estudos pode-se citar Botolucci (1983) e Nishiyama et al. (1989).

Neste contexto, optou-se por efetuar, dentre os aspectos geotécnicos, o mapeamento da superfície freática, baseado nas informações obtidas nos relatórios de sondagens do tipo SPT efetuados na cidade de Uberlândia-MG.

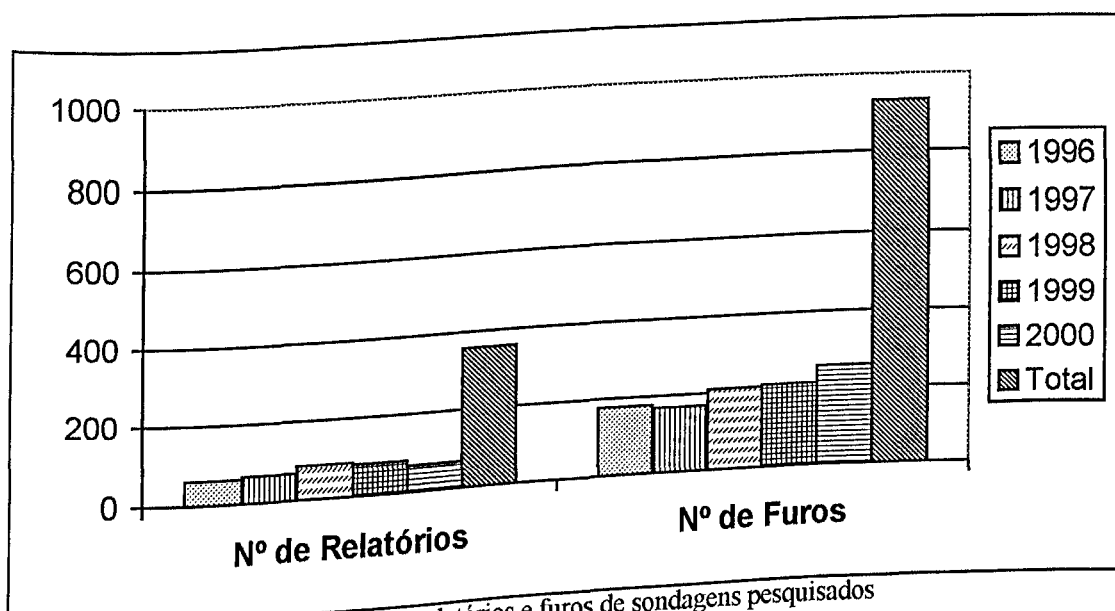
O levantamento de dados baseou-se no maior número possível de sondagens de simples reconhecimento efetuadas na área. Foram coletados nas principais empresas de Uberlândia, que atuam na prospecção do subsolo para obras de engenharia, os relatórios das sondagens dos anos de 1996 a 2000, contendo a descrição do solo e a profundidade do nível d'água.

A localização de cada relatório foi lançada em uma base cartográfica da cidade de Uberlândia-MG, fornecida pela Secretaria Municipal de Planejamento da Prefeitura Municipal de Uberlândia, na escala 1:14.000.

No levantamento inicial dos dados, obteve-se os totais de 358 relatórios, que foram lançados na base cartográfica, contendo 928 furos (Tabela 2 e Fig. 13), em uma área aproximada de 140 Km², obtendo-se 6,6 pontos observados por Km².

Tabela 2 - Levantamento do número de relatórios e furos de sondagem pesquisados

Ano	Nº de Relatórios	Nº de Furos
1996	60	178
1997	66	168
1998	85	210
1999	81	214
2000	66	258
Total	358	928



Após o lançamento dos pontos, a área de trabalho foi selecionada em função da distribuição espacial e da densidade de pontos sugeridas por Mátula e Pasek (1.984) para a escala de 1:10.000.

Verificou-se que o setor central da malha urbana de Uberlândia apresentou uma concentração de relatórios de sondagem que atendiam as condições sugeridas por

Matula e Pasek (1.984). Os relatórios cuja localização se encontravam fora do setor selecionado foram descartados nesta primeira seleção.

Numa segunda etapa, mediante uma análise e seleção rigorosas, foram descartados 107 relatórios com um total de 351 furos de sondagens (Tabela 3 e Fig. 14) em que não foi possível fazer a leitura do nível d'água, ou que não foi possível determinar a sua profundidade em função de movimentos de terra executados no terreno ou ainda que sua localização não se enquadrava em quantidades de furos suficientes para se aplicar o *Software "Civil Survey"* para a determinação das curvas de isovalores. Totalizou no final 192 relatórios e 455 furos aproveitados na pesquisa (Tabela 4"e Fig.15), para uma área aproximada de 24 Km² obtendo-se 19 pontos observados por Km².

Tabela 3 - Relatórios e furos de sondagen não aproveitados

ANOS	Nº DE RELATÓRIOS	Nº DE FUROS
1996	10	39
1997	32	128
1998	14	54
1999	30	83
2000	21	47
TOTAL	107	351

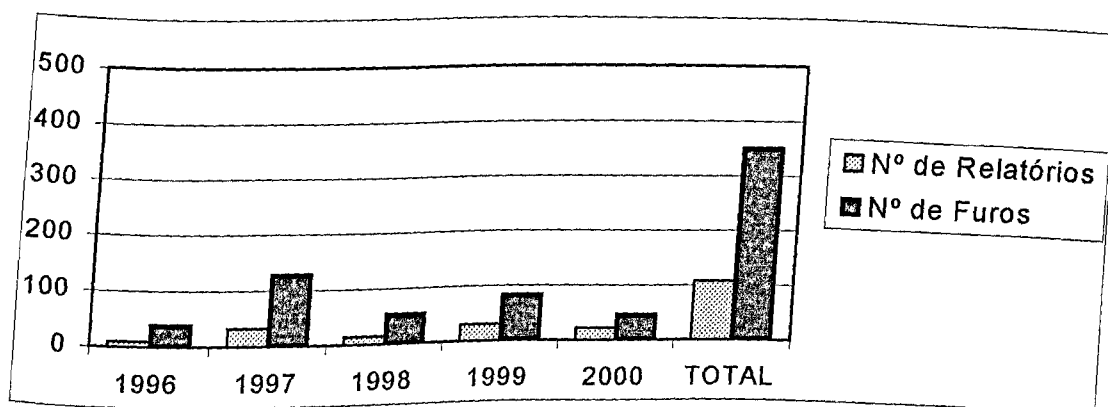


Fig. 14 - Gráfico de números de Relatórios e furos de sondagens não aproveitados

Os dados aproveitados foram lançados em folhas topográficas obtidas a partir do levantamento aerofotogramétrico cadastral da cidade de Uberlândia-MG (1983), na escala 1:2.000 e curvas de nível com equidistância de 1 (um), executado por Agrofoto S.A., com *Datum* planimétrico: C.N.G. (Córrego Alegre) e *Datum* altimétrico: C.N.G.

(Imbituba), projeção UTM (*Universal Transverso Mercator*), Meridiano Central 51° W. Gre, num total de 35 (trinta e cinco) folhas.

Tabela 4 - Relatórios e furo de sondagem aproveitados

ANOS	Nº DE RELATÓRIOS	Nº DE FUROS
1996	37	106
1997	29	64
1998	42	84
1999	32	79
2000	52	122
TOTAL	192	455

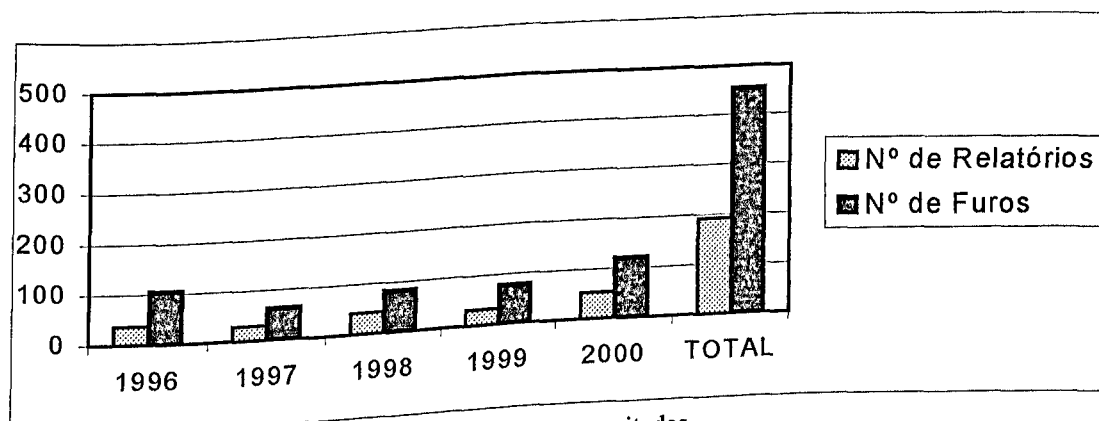


Fig. 15 - Gráfico dos relatórios e furos de sondagem aproveitados

Nas folhas topográficas foram lançadas as posições dos furos de sondagem e lidas as coordenadas X, Y e Z (cota da boca da sondagem), onde a cota Z foi obtida por interpolação matemática, apresentando os seguintes dados:

- a) Número do relatório
- b) Data da sondagem
- c) Bairro
- d) Coordenadas X (Abcissa), Y (Ordenada), Z_{terreno} (Altitude), $Z_{\text{nível d'água}}$ e Profundidade do nível d'água.

Todos esses dados foram codificados e lançados em uma planilha eletrônica juntamente com as informações complementares (coordenadas UTM X,Y,Z e Z do nível d'água) determinadas através do lançamento dos pontos nas folhas topográficas.

Para facilitar a representação das informações contidas em cada relatório de sondagem na base cartográfica e nas planilhas, adotou-se uma seqüência alfanumérica, a saber:

- Campo 1 - identifica a empresa executora do relatório de sondagem;
- Campo 2 - o último algarismo do ano de realização da sondagem;
- Campo 3 - o mês da realização da sondagem;
- Campo 4 - o número do relatório na empresa que realizou a sondagem; e
- Campo 5 - o número do furo.

Exemplificando, o relatório I7SE0632, significa:

- I - identificação da empresa;
- 7 - o ano de 1997, de realização da sondagem;
- SE - o mês em que executou a sondagem (Setembro);
- 063 - número do relatório; e
- 2 - número do furo de sondagem (SP2).

Após a elaboração das planilhas com os 455 furos de sondagem aproveitáveis, estes foram lançados na base cartográfica da cidade de Uberlândia-MG, fornecida pela Secretaria Municipal de Planejamento da Prefeitura Municipal de Uberlândia, na escala 1:10.000.

A etapa seguinte consistiu em traçar as curvas de isovalores de profundidades obtidas mediante a utilização do *software* "CIVIL/SURVEY". Esse *software* cria o MDT (Modelo Digital do Terreno) e da superfície freática através da interpolação das coordenadas, empregando o sistema de malha triangular "TIM" (Triangular interpoint model) entre os pontos.

Devido à escala de 1:10.000, escolhida para o mapeamento proposto, e aos fatores intervenientes na qualidade dos dados, optou-se por traçar as curvas de

isovalores com intervalos de 2 (dois) metros a partir da superfície do terreno até a profundidade maior que 16 (dezesseis) metros, totalizando 9 (nove) faixas da profundidade da superfície da água subsuperficial, obtendo-se assim o mapa de profundidades da superfície freática do setor central da malha urbana de Uberlândia-MG.

As nove faixas de profundidades apresentadas no mapa foram representadas segundo a seguinte seqüência de cores:

- 00 a 02 metros : cor marrom escuro
- 02 a 04 metros : cor marrom claro
- 04 a 06 metros : cor laranja
- 06 a 08 metros : cor amarelo ouro
- 08 a 10 metros : cor amarelo claro
- 10 a 12 metros : cor verde escuro
- 12 a 14 metros : cor verde claro
- 14 a 16 metros : cor azul água
- acima de 16 metros : cor azul claro.

4 - Localização e Caracterização Física da Área

4.1 - Localização

A área de estudo está localizada no oeste do Estado de Minas Gerais - região do Triângulo Mineiro - no município de Uberlândia, no setor central da malha urbana.

Está limitada pelas coordenadas geográficas de 18°52' a 18°58' de latitude sul, e 48°15' a 48°20' de longitude oeste de Greenwich, ou pelas coordenadas UTM (*Universal Transverso Mercator*), em "X" de 785,038km a 791,317 km e em "Y" de 7.902,449 km a 7.908,747 km.

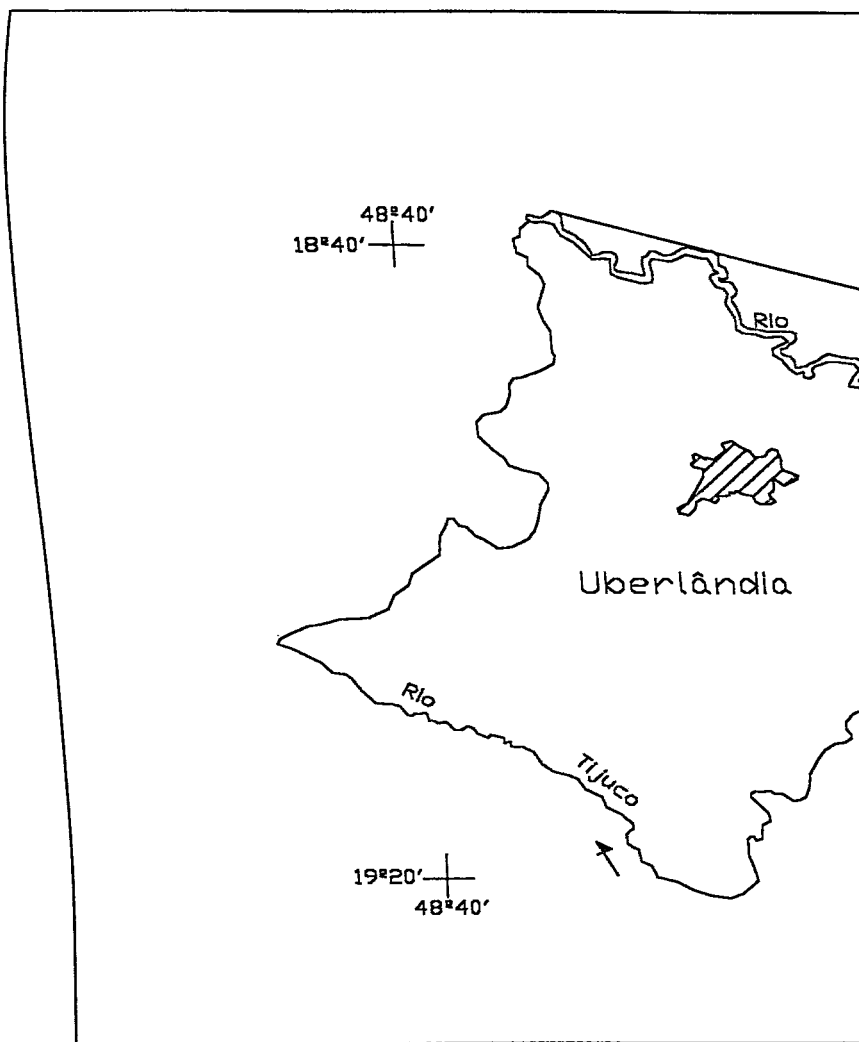
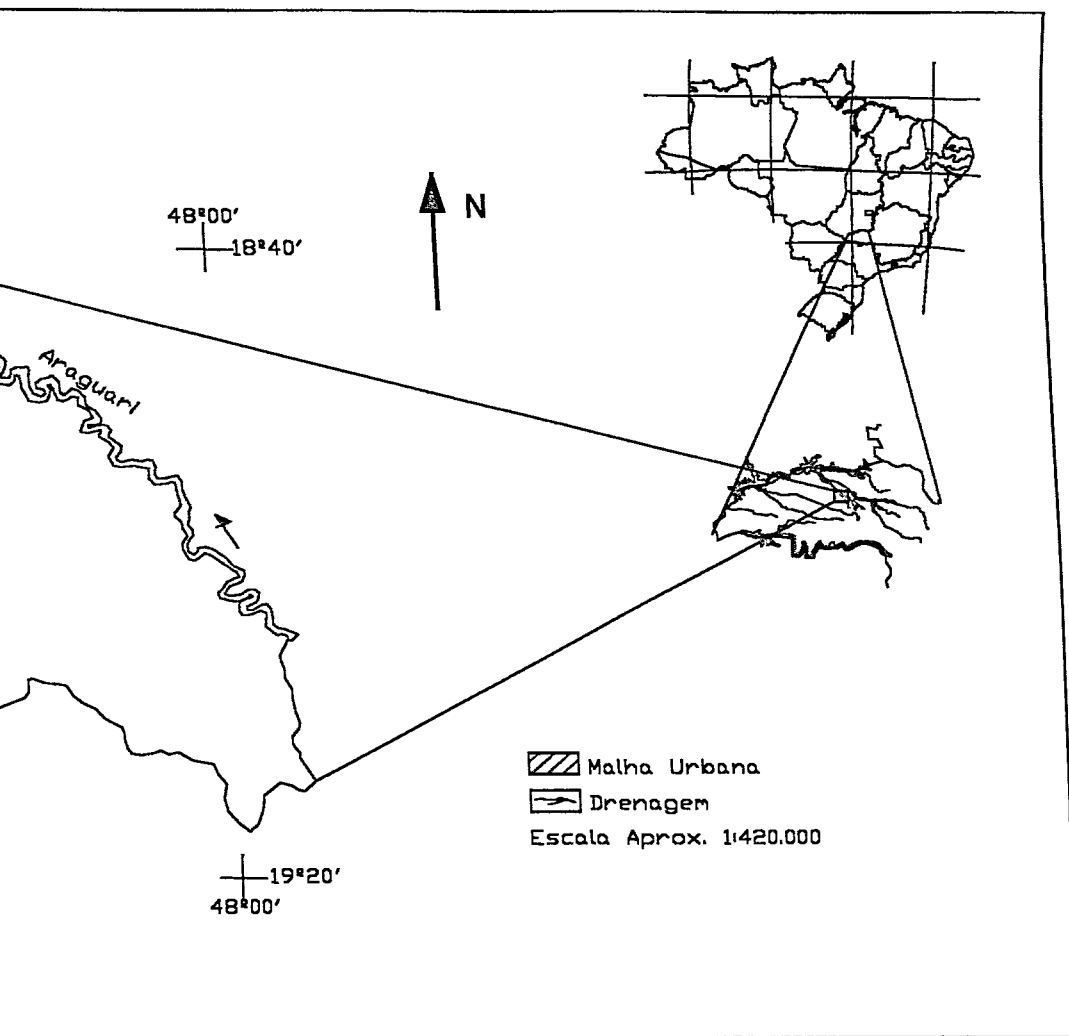


Fig. 16 - Mapa de Localização - Dig. Por Fernando D. Oliveira



4.2 - Caracterização física da área

As características físicas gerais da região onde está localizada a área de estudo são as seguintes:

A) Clima

De acordo com a classificação de Köppen (1948) – predomina na região do Triângulo Mineiro o clima mesotérmico úmido - Cwa - com seca no inverno e chuva no verão. A temperatura média anual é de 22 °C e o total pluviométrico entre 1300 a 1500 mm/ano. Entretanto, as precipitações não ocorrem de forma homogênea, pois 50% do total pluviométrico anual se concentram nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

De maneira semelhante ao que ocorre na Região Centro-Oeste do Brasil, na região do Triângulo Mineiro prevalecem dois períodos climáticos bem definidos: a estação seca, que se estende de abril a setembro e a estação úmida (das chuvas), que ocorre de outubro até março. Essa alternância de períodos secos e chuvosos interfere no grau de umidade do solo e na variação do nível d'água subterrânea. Tal situação traz reflexos diretos no planejamento da economia agropecuária local, no comportamento do solo e na vida da cidade.

A concentração de chuvas no período que se estende de outubro a março faz com que o solo, durante este período, atinja elevado grau de saturação, o que propicia o escoamento superficial de um volume maior de água. Tal situação é, em parte, responsável pelas inundações, danos no pavimento das vias públicas e erosões de solos.

De acordo com Del Grossi (1991), a ocorrência desses períodos climáticos distintos é determinada pela “dinâmica de circulação atmosférica das massas de ar que se estabelece em toda porção Sudeste no Brasil.”

No período seco a ausência de precipitação está relacionada ao domínio da massa Tropical Atlântica que ocasiona tempo estável. As precipitações que

eventualmente ocorrem neste período estão associadas à frente polar Atlântica que ocasiona queda de temperatura com instabilidades ocasionais.

No período úmido a grande quantidade de precipitação está associada à predominância das massas tropicais e equatoriais. Nesse período a aproximação da frente polar modificada pode provocar linhas de instabilidade ocasionando períodos de vários dias consecutivos de chuvas.

B) Geologia

De acordo com as bibliografias consultadas (Barbosa et al, 1970; Hassui, 1968; Hassui, 1969; RADAM, 1983; Barcelos, 1984; DNPM, 1984; Nishiyama, 1989) o arcabouço geológico da região do Triângulo Mineiro é caracterizado por unidades de idade arqueana, proterozóica (médio e superior) e mesozóica, sendo esta última relativa às rochas sedimentares e magmáticas básicas da bacia Sedimentar do Paraná.

Nesse sentido, o período Arqueano acha-se representado pelo embasamento cristalino indiferenciado; o Proterozóico Médio pelo grupo Araxá; o Proterozóico Superior pelo grupo Canastra; o período Jurássico pelo grupo São Bento (formações Serra Geral e Botucatu); e o período Cretáceo representado pelo grupo Bauru (formações Marília, Uberaba e Adamantina).

A Fig. 17 apresenta coluna estratigráfica elaborada para o município de Uberlândia de acordo com Nishiyama (1998).

Quanto à geologia local, específica do município de Uberlândia, Nishiyama (1998) caracteriza as seguintes unidades geológicas: embasamento Pré-Cambriano Indiferenciado; grupo Araxá e as formações Botucatu, Serra Geral e Marília. A distribuição das unidades geológicas no município de Uberlândia pode ser observada na Fig. 18 - Mapa do substrato rochoso do município de Uberlândia elaborada pelo referido autor.

Na área urbana de Uberlândia, segundo Nishiyama (1998), acham-se presentes os basaltos da formação Serra Geral e os arenitos e conglomerados da formação Marília. Os basaltos afloram na metade inferior dos vales fluviais, porém raramente constituem afloramentos contínuos em razão de encontrarem sob uma extensa camada inconsolidada residual ou retrabalhada. Quanto aos arenitos e os conglomerados da formação Marília, estes sobrepõem-se aos basaltos da formação Serra Geral e ocupam as porções superiores dos vales fluviais. Igualmente aos basaltos, não afloram extensivamente em decorrência da cobertura inconsolidada sobrejacente.

C) Geomorfologia

A região do Triângulo Mineiro, de acordo com RADAM (1983), faz parte da Unidade Geomorfológica denominada Planalto Setentrional da Bacia do Paraná.

A região enfocada apresenta níveis altimétricos que variam de 350 até 1050 metros, podendo ser distinguidos dois compartimentos topográficos distintos: um mais elevado – atingindo altitudes superiores à 900 metros e, outro rebaixado – com níveis altimétricos entre 350 e 650 metros.

Baccaro (1989), distingue quatro grandes compartimentos topomorfológicos para a região do Triângulo Mineiro, de acordo com diferentes níveis de dissecação do relevo original. São eles:

- área de relevo intensamente dissecado (porções de borda da chapada de Uberlândia-Araguari).
 - área de relevo medianamente dissecado (porções com topos nivelados entre 750 e 900 metros);
 - área de relevo residual (porções mais elevadas dos divisores de águas com bordas escarpadas e erosivas);
- área de relevo elevado de cimeiras (superfícies com baixa densidade de drenagem, vales pouco ramificados, vertentes com baixa declividade).

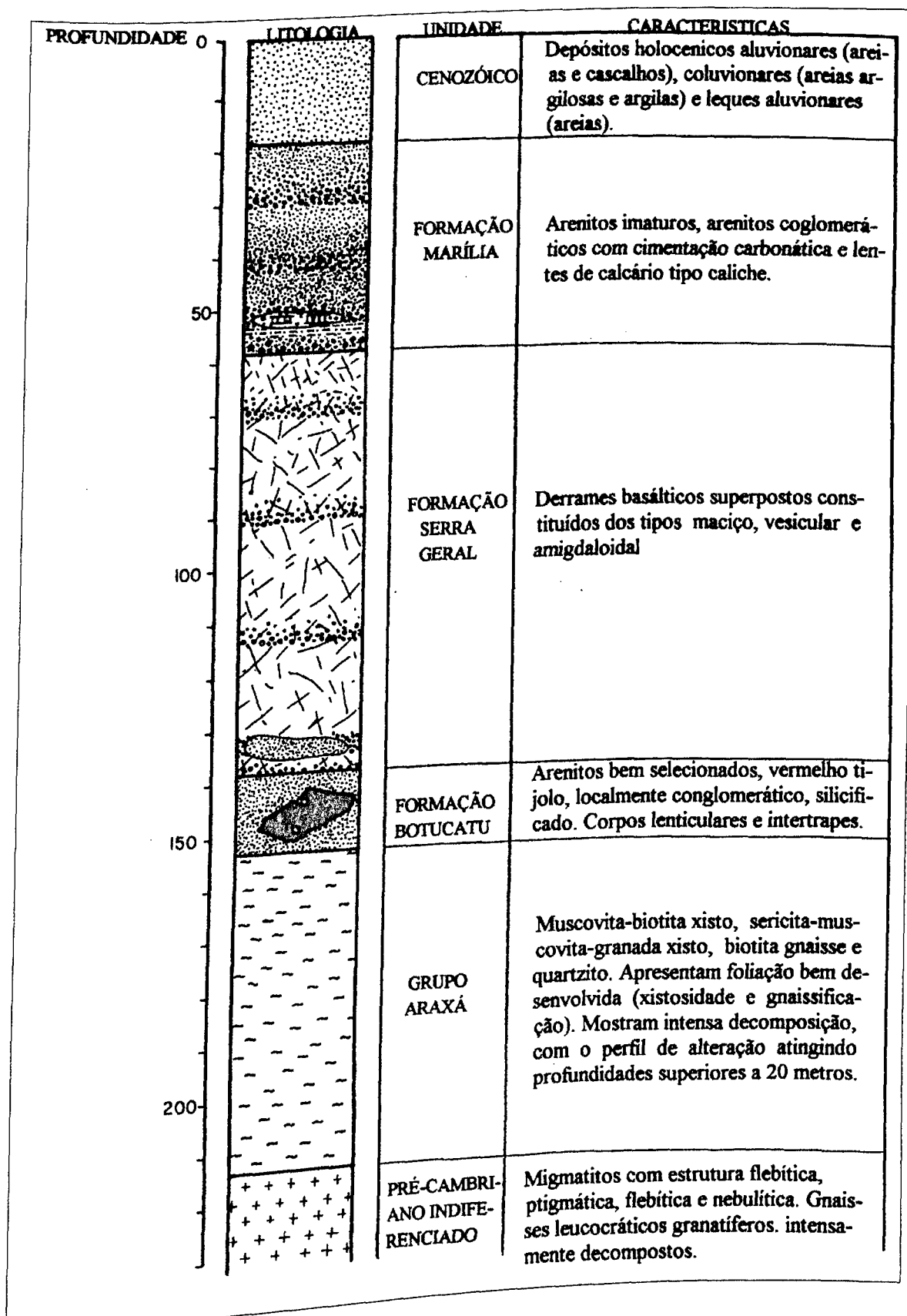


Fig. 17 - Coluna estratigráfica típica do município de Uberlândia (Fonte: Nishiyama, 1998)

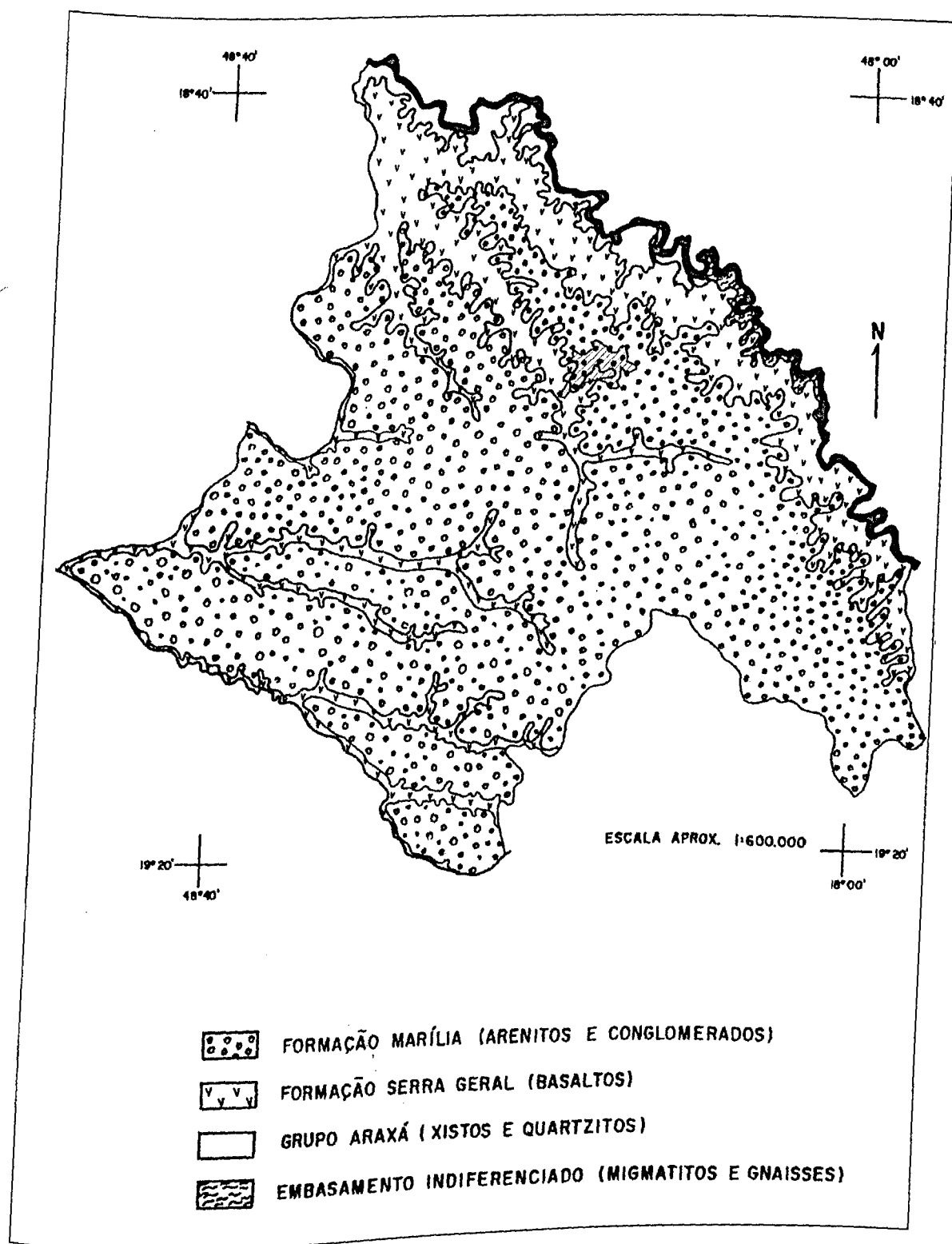


Fig. 18 - Mapa do substrato rochoso do município de Uberlândia. (Fonte: Nishiyama, 1998)

Segundo a compartimentação geomorfológica proposta por Baccaro (1990), a área de estudo está situada no compartimento topomorfológico de relevo medianamente dissecado, na porção do vale fluvial do rio Uberabinha. De acordo com Del Grossi (1991) a vegetação primitiva nessa região era caracterizada pelo cerrado com manchas da floresta tropical subcaducifólia, nas áreas de solos férteis.

No mapeamento geotécnico do município de Uberlândia, realizado por Nishiyama (1998), objetivando “a delimitação das unidades de materiais inconsolidados (residuais e trabalhados) e do substrato rochoso”, o autor fez a avaliação dos terrenos a partir de suas feições (*landforms*), resultando em uma compartimentação em três sistemas de relevo.

As características da área de estudo estão contempladas no “Sistema 2 – áreas de topos aplanados”. Nesse Sistema, o autor identificou oito unidades de relevo que segundo a compartimentação proposta pelo citado autor é constituída pelas seguintes unidades de relevo:

- *Encostas côncavas com declividades moderadas.*

De acordo com o autor, esta unidade está inscrita no percurso dos vales dos rios Araguari e Uberabinha, variando sua largura (no máximo 3.000 metros), ao longo de seu comprimento.

Nessa porção se verifica o contato da formação Marília (conglomerados e arenitos) com a formação Serra Geral (basaltos) e pequena inclinação dos terrenos – de 5 a 10 %.

A presença do substrato rochoso constituído de basaltos favorece a retenção d'água nas camadas subjacentes, originando as faixas úmidas nas cabeceiras de drenagens e pequenos lagos em depressões fechadas.

Outra característica da unidade é a deposição de materiais arenosos e rudáceos (seixos e pedregulhos) nas partes de declividades moderadas, constituindo os depósitos coluviais.

- *Colinas alongadas com perfil convexo-côncavo.*

Esta unidade é caracterizada por formas de relevo alongadas, com perfil côncavo nas encostas e convexo no topo. A altitude varia de 850 a 900 metros e as declividades são moderadas predominando a classe de 5 a 10%.

De acordo com o autor, os materiais inconsolidados predominantes são os de textura argilo-arenosa e areno-argilosa. O substrato rochoso constituído de litologias arenosas da formação Marília as quais tem influência no maior teor de areia na parte baixa do relevo. A baixa densidade de drenagem é uma característica na unidade. Assim como os poucos sinais de erosão, deve-se à elevada capacidade de infiltração das águas de chuva dos materiais inconsolidados.

Uma exceção, segundo a constatação do referido autor, pode ser feita à porção correspondente a zona urbana de Uberlândia. Ali se desenvolvem algumas boçorocas, como decorrência da intensa interferência humana no meio físico.

- *Vale encaixado com perfil de encosta convexo-côncavo.*

As características de maior evidência da unidade são os vales encaixados e desenvolvidos em áreas moderadamente dissecadas. Há ocorrência de colinas pequenas a médias nas porções mais elevadas, constituindo espigões entre os canais de drenagens. Na região mediana dos vales fluviais a declividade pode acentuar-se bruscamente chegando ao nível de 20%. O “perfil de encosta convexo” é predominante nesse setor. (Nishiyama, 1998).

Segundo o autor, a rede de drenagem mostra-se pouco ramificada na área da unidade e, o material inconsolidado de origem coluvial está presente em praticamente toda à sua extensão:

“(...) a influência dos materiais inconsolidados residuais do basalto...pode ser observada na própria área urbana de Uberlândia. Nos locais onde a zona saturada se encontra próxima à superfície do terreno, principalmente nos vales fluviais, é comum a presença da zona saturada em condições aflorantes.”

5 - Fatores intervenientes na qualidade dos Dados

A determinação do contorno da superfície freática é uma tarefa extremamente difícil, em razão de inúmeras variáveis envolvidas.

Hvorslev (1949) apud Belicanta (1998), discute os fatores intervenientes no SPT (*Standard Penetration Test*) e classifica-os em 03 (três) grupos, em função da sua pertinência:

- Equipamentos;
- Procedimentos; e
- Condição do solo.

A observação do nível d'água freática nas sondagens (SPT) pode se enquadrar no grupo de procedimentos. A observação deverá ser feita no término da execução do furo, após o esgotamento do mesmo e a retirada do tubo de revestimento e após decorridas 24 (vinte e quatro) horas do esgotamento. Estes procedimentos nem sempre são obedecidos. As observações são feitas sem o total esgotamento do furo e na maioria das vezes antes das 24 (vinte e quatro) horas recomendadas pela norma NBR 6484/80.

Os relatórios, em que se verificou a possibilidade de ocorrência desses tipos de problema, foram descartados.

A cidade de Uberlândia apresenta relevo com predomínio de ondulações, tendendo a apresentar maiores velocidades de movimentação das águas de infiltração e da água subsuperficial, resultando em menor tempo de residência.

As precipitações pluviométricas também podem influenciar nas oscilações sazonais do nível hidrostático cujas precipitações mensais e totais anuais (Tabela 5 e Fig. 19) corroboram com essa afirmação. Porém nesse trabalho estas influências não foram consideradas, o que possibilitou o mapeamento na escala 1:10.000, com equidistâncias entre as profundidades de dois em dois metros, que engloba essas possíveis variações.

Tabela 5 - Índices pluviométricos mensais e anuais da cidade de Uberlândia MG

Meses	1996	1997	1998	1999	2000
Janeiro	279,8	268,9	120,8	287,2	339,4
Fevereiro	137,6	111,6	160,0	185,1	288,0
Março	129,7	331,3	99,6	184,7	532,6
Abril	32,8	107,1	79,8	57,4	72,8
Maió	56,1	23,4	58,8	9,2	0,0
Junho	8,4	105,8	33,3	8,8	0,0
Julho	6,8	0,0	0,0	0,0	14,0
Agosto	6,9	0,0	63,7	0,0	7,6
Setembro	86,4	28,2	4,2	69,7	174,7
Outubro	46,3	90,5	165,0	45,8	13,4
Novembro	255,6	305,5	155,1	258,8	189,7
Dezembro	236,8	270,7	295,1	226,5	154,2
Total	1283,2	1643,0	1235,4	1333,2	1786,4

Fonte: Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos - IGUFU

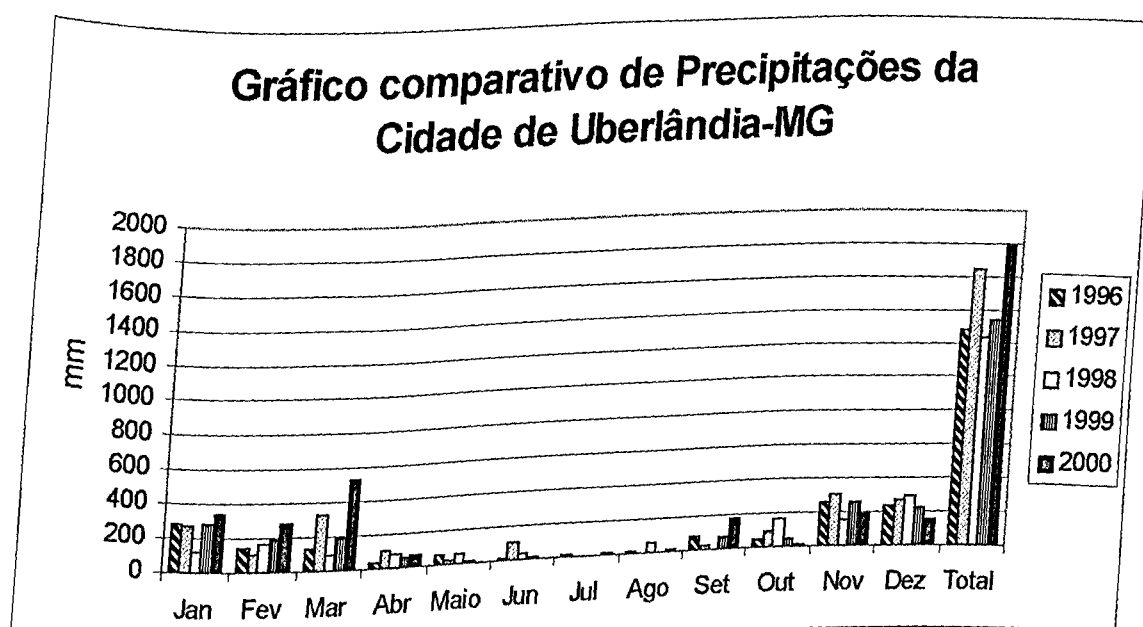


Fig. 19 - Gráfico comparativo das precipitações pluviométrica da cidade de Uberlândia-MG.
Fonte: Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos - IGUFU.

A posição do substrato rochoso ou camadas impermeáveis e seus relevos, no grau de detalhamento exigível nesse trabalho, poderia ser uma ferramenta de extrema

utilidade na determinação da profundidade do nível d'água freática, pois possibilitaria a identificação de situações particulares de comportamento. No entanto estas informações nem sempre foram obtidas nas prospecções (sondagens) analisadas visto que, elas se encerram quando se alcança profundidades com resistência suficiente para a execução de fundações.

Outro aspecto a ser mencionado refere-se à determinação da cota do terreno natural na boca do furo. Em alguns terrenos esta determinação poderá levar a enganos devido ao fato de o terreno estar terraplenado, ou seja, após os movimentos de terra. Nos casos em que foi possível detectar essa possibilidade, os furos de sondagens foram descartados.

6 - Conclusões e Considerações Finais

Houve uma heterogeneidade da distribuição espacial dos dados (conforme mapa da localização dos furos de sondagens), que não foi meramente casual já que ela foi influenciada pela ocupação do meio físico, mais próximo ao centro da cidade e ao seu deslocamento para as imediações do Center Shopping e do Campus Santa Mônica, respectivamente as regiões 3DE e 4DEF do Mapa de Profundidades apresentado, setores economicamente mais desenvolvidos da cidade de Uberlândia-MG, na última década.

O acervo composto pelos dados de sondagens SPT foi de fundamental importância para este estudo, já que representam a evolução da ocupação urbana da cidade de Uberlândia-MG, e condicionaram a localização da área analisada.

A ausência de dados de sondagens nas imediações dos fundos de vales dos córregos Jataí, São Pedro e Lagoinha, onde se situam respectivamente as avenidas Anselmo Alves dos Santos, Rondon Pacheco e Presidente Médici e a escassez deles nos bairros onde as construções, por serem de pequeno porte, não justificam economicamente as sondagens (a exemplo do bairro Tibery), não permitiram a definição das curvas de isovalores nessas regiões. A elaboração do mapeamento nestas regiões exigiria estudos complementares em fotografias aéreas e trabalhos de campo entre outros, metodologias estas não aplicadas nesse trabalho.

Apesar disso, foi possível elaborar o mapa da profundidade da superfície freática do setor central da malha urbana de Uberlândia na escala 1:10.000 apresentada no anexo 2. A configuração geométrica das faixas de profundidades da superfície mapeada e dadas de 2 em 2 metros, está diretamente relacionada com a densidade e distribuição espacial dos pontos de sondagem na mesma. No presente trabalho a densidade de 19 pontos observados por quilômetro quadrado está dentro do intervalo de pontos apresentados na Tabela 1 (Matula e Pasek, 1984 apud Zuquette, 1993) para a escala de 1:10.000. Porém a sua distribuição espacial e informações confiáveis são fatores de vital importância para a realização do mapeamento. Tais fatores também implicam na precisão e na confiabilidade do trabalho realizado.

O mapeamento da superfície freática, a partir de dados de sondagem SPT, foi o único procedimento viável em razão da dificuldade de se lançar mão de outros meios para a determinação da profundidade do nível d'água na área urbana.

A seleção rigorosa de dados de sondagens constituiu-se numa etapa fundamental do processo de mapeamento. Após a manipulação de dados, com eliminação daqueles de baixa confiabilidade foi possível produzir um mapa da superfície freática mais representativo da realidade.

As informações contidas no mapa da superfície freática do setor central da cidade Uberlândia-MG são de natureza orientativa e não definitiva no que se refere ao desenvolvimento preliminar de projetos de Engenharia Civil ou planejamento do uso e ocupação do solo urbano.

Por isso e considerando ainda que a profundidade pode oscilar com a sazonalidade, o mapa de profundidade da superfície freática não deve eliminar a necessidade das investigações locais da profundidade do nível freático quando da execução de obras de engenharia.

Estender esse trabalho de levantamento e elaboração do mapa da superfície freática para toda a cidade de Uberlândia é de suma importância no processo de planejamento e projeto das redes de águas pluviais, pois, nos locais de baixa profundidade da superfície potenciométrica (freática), a capacidade do solo de absorver a água de chuva se esgota num tempo menor, levando a maiores volumes de escoamento superficial das mesmas para as redes pluviais e galerias, principalmente nos fundos de vales onde a profundidade da superfície potenciométrica (freática) tende a ser mais próxima da superfície do solo.

Como a metodologia aqui apresentada possibilitou elaborar o mapa da superfície do freática, a partir de sondagens de simples reconhecimento (SPT - *Standard Penetration Test*) para um setor da cidade de Uberlândia-MG, a mesma poderá ser aplicada com sucesso para outros setores da cidade e outras cidades.

Por mais paradoxal que possa parecer, a dificuldade no levantamento e organização das escassas bibliografias sobre a utilização de informações de sondagens para simples reconhecimento (SPT) para a determinação do nível d'água, foi maior do que a própria execução dos estudos que deram origem ao mapeamento.

Estes, embora envolvessem a manipulação de uma coleção muito grande de dados, puderam ser conduzidos, sem grandes limitações, além das naturais condicionantes de consultas, manipulação de dados e da observância do escopo estabelecido originalmente.

Embora presentes, as dificuldades decorrentes dessas limitações puderam ser contornadas com a presteza, dedicação e competência das pessoas que foram envolvidas e, principalmente, pela colaboração das empresas, Prefeitura Municipal de Uberlândia e pessoas, que se entusiasmaram com os propósitos deste trabalho.

Cada descarte de um elemento produzido durante os estudos e que não pode ser aproveitado no trabalho, foi sempre acompanhado pelo inevitável sentimento de perda.

Contudo, todos esses embaraços e dificuldades foram largamente compensados pela satisfação de ver concluída mais uma etapa desta contribuição à cidade de Uberlândia-MG.

7 - Referências Bibliográficas

- ALONSO, Urbano Rodrigues. **Rebaixamento Temporário de Aquíferos**. São Paulo, 1999. 131p.
- ANDRADE, Roberto Monteiro. Propriedades Hidráulicas de Maciços Fraturados e sua Aplicação em Projetos. In: **II Simpósio Sul Americano de Mecânica das Rochas**. Porto Alegre - Associação Brasileira Mecânica dos Solos, 1996. p. 45-46.
- BACCARO, C. A. D. Estudos Geomorfológicos do Município de Uberlândia - **Rev. Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.1- n. 1, p - 17 - 21, 1989.
- BEAR, J., VERRUIJT, A. **Theory and application of transport in porous media: modeling groundwater flow and pollution**. Delft Netherlands, D. Ridel Co., 1994.
- _____, **Modeling Groundwater flow and pollution**. Dordercht, Holland, D. Reidel Publishing Co., 1987. 414 p.
- BEAR, J. **Hydraulics of Groundwater**. New York, McGraw-Hill Book C., 1979 P. 567.
- BEAR, J. TSANG, C. e MARSILY, G. de. **Flow and Contaminant Transport in Fractured Rock**. Academic Press, Inc. San Diego, 1993.
- BEICHER, E. J. et al. Proposta para a Melhoria das condições Ambientais numa Área de Aterramento de Voçoroca no Bairro Aclimação - Uberlândia (MG). In: **VIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada**, 1999, Belo Horizonte, p. 44 a 46.
- BELINCANTA, Antônio. **Avaliação de Fatores intervenientes no Índice de Resistência à Penetração do SPT**. Tese do Doutorado, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1998.

- BORTOLUCCI, Antônio Airton. **Caracterização Geológica-Geotécnica da Região Urbana de São Carlos-SP, a partir de Sondagens de Simples Reconhecimento**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1983.
- BOWEN, R. **Geology in Engineering**. Elsevier Applied Science Publishers, New York, 1984.
- CAMPANA, M. E. & BYER, R. M. J, Site Investigation for Construction Excavation. In.: **A Conceptual Evolution of Regional Ground-water. Flow, Souther Nevada-California, USA**. 1996.
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6° ed. 2° v. Rio de Janeiro, LTC, 1987
- CHIOSSI, N.J. **Geologia Aplicada À Engenharia**. Grêmio Politécnico - DLP 2° ed. São Paulo, 1979.
- CLEARY, R. W., 1989. **Hidrologia de águas subterrâneas**. In: Coleção ABRH, n. Engenharia ambiental. Rio de Janeiro, ed. da UFRJ. p 293-404.
- _____, et. al. **Engenharia Hidrológica**. Rio de janeiro: ABRH, Ed. UFRJ, 1989, v.: 2 il.
- COPASA Saneamento. **Saúde e Desenvolvimento Social. Departamento de Obras Públicas de Minas Gerais**. 199_.
- CORRÊA FILHO, Diogo; QUADROS, Eda Freitas. **Metodologia para Determinação do Componente Hidrogeotérmico dos maciços Rochosos**. 1996. II Simpósio Sul Americano de Mecânica das Rochas p 291.
- COTTAS, L. R. **Estudo Geológico-Geotécnicos Aplicados ao Planejamento urbano de Rio Claro - SP**. Tese de Doutorado, USP, São Paulo, 1993.

- DEGRAFF, J. V. et al. **Principles of Engineering Geology**. John Wiley & Sons, New York Chichester Brisbane Toronto Singapore, 1988.
- DEL GROSSI, S. R. De Uberabinha Uberlândia: Os Caminhos da Natureza. Contribuição ao Estudo da Geomorfologia Urbana. São Paulo. FFLCH, 1991 108 p. (Tese, Doutorado em Geografia Física).
- DOMENICO, P. A., SCHWARTZ, F. W. **Physical and Chemical Hydrogeology**. Hohn Wiley e Sons, New York, 1990.
- FILHO, D. C. e QUADROS E. F. Metodologia para Determinação do Comportamento Hidrogeotécnico dos Maciços Rochosos. In: **II Simpósio Sul Americano de Mecânica das Rochas**. Porto Alegre - Associação Brasileira Mecânica dos Solos, 1996. p. 45-46.
- FRANCISS, Fernando Olavo. **Hidráulica de meios permeáveis: escoamento em meios porosos**. - Rio de Janeiro: São Paulo: Ed. Da Universidade de São Paulo, 1980.
- FREEZE, R. A. & CHERRY, J. A. **Grondwater**, Prentice- Hall Inc., New Jersey, 1979. 604 p.
- FURLANI, G. M. **Estudo Geomorfológico da Boçorocas de Casa Branca - SP**. Dissertação (mestrado). Faculdade de Filosofia Ciências, Departamento de Geografia, USP. São Paulo, 1980.
- GONDA, Jorge. **Contaminação de solos e de águas do lençol freático por fossas absorventes**. Dissertação de Mestrado, USP, São Carlos, 1985 P. 30.
- IPT. **Orientações para o Combate a Erosão no Estado São Paulo (bacia do Peixe - Paranapanema)**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas - Relatório interno nº 24739, S. Paulo, 1986.

- KÖPPEN, W. **Climatologia**. Ed. Fundo Cultura Econômica. Ilustrada (Trad. De Grundriss der Klimakund 1923) Cidade do México, 1948.
- LAMBE, T. W. & WHITMAN, R.V. **Mecânica de Suelos**, 3ª edição, México Ed. Limusa, 1981. 582 p.
- LEITE, J. C., **Metodologia para elaboração da Carta de suscetibilidade à contaminação e poluição das águas subsuperficiais**. Dissertação de Mestrado, USP São Carlos, 1995, 192p. 2v.
- _____ e ZUQUETTE, L. V. Carta de Susceptibilidade à Contaminação e Poluição das Águas Subsuperficiais de Ribeirão Preto, SP. In.: **III Simpósio Sobre Barragens de Rejeitos e Disposição de Resíduos - REGEO' 95**. Ouro Preto - MG 1995.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no Solo**. ESALQ / USP, Departamento de Física e Metodologia, Piracicaba - SP, 1995. 497 P.
- LIMA, Maria José C. Porto A. de. **Prospecção Geotécnica do Subsolo**. Livros Técnicos e Científicos Rio de Janeiro, 1979.
- LINSLEY, J. et al. **Hydrology for Engineers**. New York, McGraw-Hill Book, 1958.
- LOUIS, C. **Etude des et conhemento d' eaux dans les reches fissurées**. There presented l'Université de Carlsruhe, 1969.
- LVOVITCH, M.I. **World water balance; general report**. "Proc. Symposium World Water Balance". Internacional Assoc. Sci. Hydrol. 2, 1970, p 401-415.
- MONTENEGRO, S. M. G. L. **Estudo Experimental e Numérico de Drenagem Subterrânea - Aplicação do Método dos Elementos de Contorno**. Dissertação de Mestrado, USP. São Carlos, 1989.

NISHIYAMA, Luiz. Geologia do Município de Uberlândia e áreas adjacentes. Revista *Sociedade e Natureza*, EDUFU, Uberlândia, 1 (1): 9 - 16, junho 1989.

_____, **Procedimentos de Mapeamento Geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1: 100.000: Aplicação no Município de Uberlândia - MG.** São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998. (Tese de Mestrado).

_____, et al. Águas Subsuperficiais: Procedimentos para Levantamento e Estimativa de Informações para a Elaboração e Apresentação do Mapa de Profundidade da Zona Saturada. Revista *Sociedade e Natureza*, EDUFU, Uberlândia, 1 (1): 9 - 16, junho 1989.

OLIVEIRA, A. M. 1981. **Estudo de Percolação D'água em Maciços Rochosos para projetos de grandes barragens.** Dissertação de Mestrado. IGUSP, S. Paulo.

PEARSON, F.J.Jr. & WHITE, D.E. Carbon 14 ages and flow rates of water in Carrizo Sand, Atascosa County, Texas. "Water Resources Research", 1967. Vol. 3, p251-261.

PALÁCIOS, _____, SHMERTMANN

PEJON, O. **Mapeamento Geotécnico da Falha de Piracicaba (SP). Estudo de Aspectos metodológicos de Caracterização e de Apresentação de Atributos.** Tese (doutorado). Escola Engenharia S. Carlos - USP, 1992.

PENTEADO, M. M. Condições Geomorfológicas do Aproveitamento da Água na Área de Rio Claro. In.: *Notícia Geomorfológica*, Vol. VI, Campinas, 1966.

PONCE, V. M. **Engineering Hydrology: Principles and Practices.** Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1989.

- PRANDINI, F. L. Occurrence of Boçorocas in Southern Brazil: Geological conditioning of environmental degradation. In: **International Congress. IAG, Proc.**, v. 1, 1974.
- RAMOS, F. et al. **Engenharia Hidrológica**. Rio de Janeiro: ABRH, Editora da UFRJ, 1989 404 p. v.: 2 il; 23 cm.
- RAHN, P. H. **Engineering Geology: an Environmental Approach**. 2º ed. Prentice-Hall, Inc. Saddle River. New Jersey, 1996.
- RODRIGUES, J. E. **Estudo de Fenômenos erosivos acelerados**. Tese (doutoramento) Escola de Engenharia de São Carlos . USP, 1982.
- SILVEIRA, A L. da; LOUSADA, J. A; BELTRAME, L. Infiltração e Armazenamento no Solo. p. 335 - 372 In.: TUCCI, C. E. M. (ORG). **Hidrologia: ciência e aplicação**, Eb UFRGS, EDUSP e ABRH, Porto Alegre - RS, 1993. Cap. 9, p. 335 - 369.
- SOUZA, Sérgio Menin Teixeira de (Ed.). **Disponibilidades Hídricas subterrâneas no Estado de Minas Gerais**. - Belo Horizonte: HIDROSISTEMAS, 1995. 525p. :il. ; 30 cm.
- STURARO, J. R. **Mapeamento Geoestatístico de propriedades geológico-geotécnicas Obtidas de Sondagens de Simples Reconhecimento**. Tese de Doutorado, USP, São Carlos, 1994.
- TEIXEIRA, J. A. **Estimativa de infiltração como parâmetro básico para o estudo do aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos do município de Olinda, PE**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1978.
- TODD, D. K. **Groundwater Hydrology**. 1ª ed. , New York, Wiley, 1993.
- _____, **Hidrologia de Águas Subterrâneas**. Rio de Janeiro, USAID, 1967.

- TERZAGHI, K e PECK, R B. **Mecânica dos Solos na Prática da Engenharia**
(Tradução de ^a J. Costa Nunes e M.L. Campos Campello) 1962.
- TUCCI, C. E. M. (Org). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Ed. da Universidade:
ABRH: EDUSP, 1993 p. 335 - 372.
- VIEIRA, N. M. **Estudo Geomorfológico das Boçorocas de Franca - SP**. Tese
(doutoramento). FFCL, UNESP, 1978.
- VILAR, O. M. , PRANDI, E. C. **Erosão dos Solos**. In: Cintra, J. C. A, Albieiro, J. H.
(Eds). **Solos do Interior de São Paulo**. São Carlos, 1993.
- VILELA, Swami M. e MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill
do Brasil, 1975.
- WISE, D. L. e TRANTOLO. **Remediation of Hazardous Waste Contaminated Soils**.
Marcel Dekker, Inc. New York , 1994.
- ZAYTSEV, A. M. G. et. al. **Hydrogeology and Engineering Geology**. A. A.
Balkema/Rotterdam/Brookfield, 1993.
- ZUQUETTE, L. V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do
meio físico**. São Carlos, 1993 - Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de
São Carlos, Universidade de São Paulo . 2V.
- _____, **Mapeamento Geotécnico: uma nova abordagem**. Ribeirão Preto.
Relatório Técnico, FAPESP. 1991. 2 v. 269 pp.
- _____, **Mapeamento Geotécnico Preliminar na Região de São Carlos**.
Dissertação de Mestrado, USP, São Carlos, 1981.

_____, et al. Mapeamento Geotécnico: Parte 1 - Atributos e Procedimentos Básicos para Elaboração de Mapas e Cartas. In.: **Geociências**, São Paulo, 1997.

_____, **Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para Condições Brasileiras**. Tese de Doutorado. USP, São Carlos, 1987.

_____ et al, O Mapeamento Geotécnico na Previsão de Riscos Geológicos em Águas Urbanas. In.: **I Simpósio Latino-americano Sobre Riscos Geológicos Urbano**. São Paulo, 1990.

_____, GANDOLFI, N. Análise da relação entre Rejeitos Perigosos (Baixa Periculosidade) e Meio Físico (Geológico) Receptor. In.: **Revista de Geologia Aplicada e do Ambiente**. Vol. 4. Fasc. I e II. Lisboa, 1990.

AneXo 1

RELATORIOS E FUROS APROVEITADOS

Bairro	Cód. do furo	X(m)	Y(m)	Z(terreno)(m)	Prof. N.A. (m)	Z(N.A)(m)
B. Jesus	G7JL0962	787538	7908472	874,5	10,27	864,23
B. Jesus	G7JL0961	787529	7908470	874,6	10,5	864,1
Brasil	G6JA0071	788520	7907637	856,8	0,4	856,4
Brasil	G6JA0073	788516	7907650	858,1	0,4	857,7
Brasil	G6JA0072	788517	7907649	857,8	0,5	857,3
Brasil	G0JN0701	788583	7907957	869,43	2,6	866,83
Brasil	G3MR0281	788844	7908344	874,75	6	868,75
Brasil	G3MR0282	788850	7908328	873,57	6,2	867,37
Brasil	G3MR0283	788848	7908336	874,1	6,25	867,85
Brasil	G8AG1372	788654	7908118	870,87	7,08	863,79
Brasil	G8AG1371	788634	7908101	870,85	7,1	863,75
Brasil	G8AG1374	788639	7908116	871	7,12	863,88
Brasil	G8AG1373	788647	7908125	871	7,15	863,85
Brasil	I8AB0822	788245	7907768	873,27	9,95	863,32
Brasil	I8AB0821	788232	7907751	873,46	10,01	863,45
Brasil	I8AB0823	788245	7907756	873,45	10,07	863,38
Brasil	G9JN0632	788204	7907511	870,12	10,43	859,69
Brasil	G9JN0633	788200	7907502	870,16	10,44	859,72
Brasil	I8AB0824	788255	7907756	873,4	10,69	862,71
Brasil	G9MR0172	788257	7907922	875,61	11,7	863,91
Brasil	G9MR0171	788264	7907934	875,85	11,8	864,05
Brasil	G6MR0191	787928	7907204	870,86	13,5	857,36
Brasil	G6MR0192	787921	7907216	870,83	13,5	857,33
Brasil	G6MR0151	787890	7908021	878,06	14,2	863,86
Brasil	G6MR0153	787823	7908003	878,13	14,3	863,83
Brasil	G9JN0631	788209	7907516	870	14,4	855,6
Brasil	G6MR0152	787885	7908029	878,08	14,5	863,58
Brasil	G7SE0971	788874	7908040	900,56	16,15	884,41
Cazeca	I6DE0361	788466	7906705	837,5	2,08	835,42
Cazeca	I6DE0361a	788468	7906698	838	2,3	835,7
Cazeca	I6NO0351a	788658	7906652	839,33	3,04	836,29
Cazeca	I6NO0352	788646	7906643	839	3,07	835,93
Cazeca	I6NO0352a	788645	7906647	839	3,07	835,93
Cazeca	I6NO0351	788664	7906658	839,41	3,1	836,31
Cazeca	I6NO0352b	788652	7906646	838	3,1	834,9
Cazeca	I6NO0352c	788648	7906638	837,8	3,12	834,68
Cazeca	I6NO0351b	788668	7906633	839	3,14	835,86
Cazeca	I9JA1662b	788044	7906154	832,41	4	828,41
Cazeca	G6OU1231	787760	7906070	848	4,1	843,9
Cazeca	G6JN0571	788208	7906396	842	4,5	837,5
Cazeca	I9JA1662	788046	7906132	832	4,5	827,5
Cazeca	I9JA1662a	788050	7906156	832	4,83	827,17
Cazeca	G6JN0572	788205	7906402	842	4,9	837,1
Cazeca	I9JA1661b	788046	7906158	833	5	828
Cazeca	I9JA1161	788050	7906156	833,21	5,13	828,08
Cazeca	I9JA1661a	788052	7906151	833	5,15	827,85
Cazeca	G0AG0925	787960	7906259	844,85	6,1	838,75
Cazeca	G0AG0924	787945	7906268	844,8	6,2	838,6
Cazeca	G0AG0922	787958	7906269	846	6,25	839,75
Cazeca	G9JA0111	787795	7906120	847,14	6,55	840,59
Cazeca	G0AG0923	787943	7906276	846	6,7	839,3
Cazeca	G9JA0112	787796	7906129	847,68	7,6	840,08

Bairro	Código do furo	X(m)	Y(m)	Z(terreno)(m)	Prof. N.A. (m)	Z(N.A)(m)
				843	7,8	835,2
Cazeca	G9AG0872	787822	7906062	843,83	8	835,83
Cazeca	G9AG0871	787809	7906064	847,95	9,1	838,85
Cazeca	G0AG0921	787943	7906299	858,32	4	854,32
Centro	G9MR0211	787070	7905875	834	4,01	829,99
Centro	I7MA0501	786960	7903618	834,5	4,06	830,44
Centro	I7MA0502	786964	7903610	858,45	4,15	854,3
Centro	G9MR0212	787076	7905884	856,23	5	851,23
Centro	G0JL0801	786877	7905646	854	5	849
Centro	G9SE0891	786652	7905552	854,21	5	849,21
Centro	G9SE0892	786643	7905552	855,5	5,15	850,35
Centro	G0JL0802	786890	7905643	839,4	6,09	833,31
Centro	I7MR0421b	786880	7903501	839	6,1	832,9
Centro	I7MR0421a	786884	7903494	839,7	6,34	833,36
Centro	I7MR0421c	786885	7903507	858,3	6,36	851,94
Centro	G8OU0961	787070	7905875	858,25	6,4	851,85
Centro	G8OU0962	787076	7905884	840,1	7,71	832,39
Centro	I7MR0422	786897	7903489	852,3	3,5	848,8
Centro	G6MA0391	788204	7906665	852,47	3,8	848,67
Centro	G6MA0392	788206	7906660	860,7	6,75	853,95
Centro	I6MA0182	787069	7906028	861,45	7,48	853,97
Centro	I6MA0181	787066	7906045	870	10	860
Centro	G8JL0542	787321	7906645	870,07	10,4	859,67
Centro	G8JL0541	787320	7906643	869	10,4	858,6
Centro	G7AG1231	787359	7906454	869,32	10,6	858,72
Centro	G7AG1232	787356	7906458	876	10,55	865,45
Finotti	G0JN0511	789012	7905622	872,31	11,31	861
Finotti	I8MA0851	788822	7905352	872,36	11,34	861,02
Finotti	I8MA0852	788832	7905342	874,53	12,2	862,33
Finotti	G9MA0341	788932	7905282	881,33	12,2	869,13
Finotti	G0JN0532	789172	7905300	881,21	12,3	868,91
Finotti	G0JN0531	789168	7905285	875,8	12,4	863,4
Finotti	G9MR0251	788979	7905413	881,2	12,6	868,6
Finotti	G6JL0601	789060	7905748	875,43	12,8	862,63
Finotti	G9MR0201	788950	7905420	875,82	13,35	862,47
Finotti	G9MR0252	788977	7905422	883	13,4	869,6
Finotti	G0MR291	789254	7905564	888,46	16,7	871,76
Finotti	G8JN0451	789405	7905498	876,75	17,1	859,65
Finotti	G8JA0151	789007	7905443	894	18,7	875,3
Finotti	G8FE0241	789572	7905445	882,81	18,7	864,11
Finotti	G7NO1901	789224	7905454	893,3	18,75	874,55
Finotti	G8FE0242	789550	7905435	882,76	18,8	863,96
Finotti	G7NO1902	789216	7905438	886	19,7	866,3
Finotti	G9DE1341	789310	7905418	829,82	0,53	829,29
J. Karaiba	I7SE0631a	788023	7903613	829	0,64	828,36
J. Karaiba	I7SE0631	788021	7903607	830	0,73	829,27
J. Karaiba	I7SE631b	788026	7903606	830,3	1,05	829,25
J. Karaiba	I7SE632b	788034	7903589	831	1,06	829,94
J. Karaiba	I7SE632d	788038	7903590	830,4	1,23	829,17
J. Karaiba	I7SE632	788038	7903590	829,9	1,28	828,62
J. Karaiba	I7SE632a	788040	7903594	827,32	1,42	829,05
J. Karaiba	I7SE632c	788042	7903586	795	1,43	825,89
J. Karaiba	I7SE633	788036	7903630	794	13,19	781,81
Lagoinha	I0JA1472	791096	7904372	794	13,41	780,59
Lagoinha	I0JA1461	791088	7904380			

Bairro	Código do furo	X(m)	Y(m)	Z(terreno)(m)	Prof. N.A. (m)	Z(N.A)(m)
Lidice	G7OU1751	787026	7905522	843,21	1,7	841,51
Lidice	G0OU1752	787032	7905520	843,83	1,7	842,13
Lidice	G0AB0391	787056	7905294	820	3	817
Lidice	G0AB0392	787064	7905294	819,31	3	816,31
Lidice	10JA1451	786412	7905084	812	3,8	808,2
Lidice	10JA1451a	786418	7905088	811,3	4,02	807,28
Lidice	18OU1052	786655	7904669	786,35	4,1	782,25
Lidice	18OU1054	786665	7904674	787,33	4,11	783,22
Lidice	G7OU1621	787469	7905930	852,45	4,4	848,05
Lidice	10JA1452	786428	7905072	810	4,51	805,49
Lidice	10JA1452a	786432	7905078	811	4,72	806,28
Lidice	G7OU1622	787470	7905924	851,23	5,04	846,19
Lidice	18OU1053	786660	7904682	787,46	5,95	781,51
Lidice	18OU1051	786650	7904678	787	6,28	780,72
Lidice	10AB1504	786660	7904718	791	6,5	784,5
Lidice	10AB1501	796658	7904736	793	6,8	786,2
Lidice	10AB1502	786660	7904728	792,4	6,9	785,5
Lidice	10AB1503	786671	7904720	791,5	6,9	784,6
Lidice	19OU1421	787227	7905189	803	7,95	795,05
Lidice	18MR0781	776346	7905084	839	8	831
Lidice	18MR0782	786346	7905078	838	8	830
Lidice	18MR0783	789345	7905077	838	8	830
Lidice	19OU1423	787234	7905182	803,23	9,72	793,51
Lidice	19OU1422	787226	7905183	803,15	9,83	793,32
Lidice	18MR0791	786784	7905052	802,2	14	788,2
Lidice	18MR0792	786777	7905032	806,83	15,6	791,23
M. Colina	G0JL0783	787832	7903502	850	1,6	848,4
M. Colina	G0JL0782	787846	7903510	848	1,8	846,2
M. Colina	G0JL0781	787846	7903483	850	2,1	847,9
M. Colina	G0AB0421	787323	7903566	846,84	2,15	844,69
M. Colina	G0AG1051	787247	7903450	850,84	3,7	847,14
M. Colina	18JL0965	786760	7903451	840,37	3,93	836,44
M. Colina	G6JN0581	787278	7903432	851,23	4	847,23
M. Colina	18JL0964	786784	7903450	840,2	4,16	836,04
M. Colina	G6JN0582	787274	7903450	851,87	4,2	847,67
M. Colina	18JL0962	786778	7903460	840,32	4,29	836,03
M. Colina	G0AG1052	787242	7903465	851,27	4,3	846,97
M. Colina	G0AG1273	786800	7903242	844,32	4,35	839,97
M. Colina	G0AG1272	786800	7903253	844,21	4,4	839,81
M. Colina	18JL0963	786766	7903458	840,41	4,45	835,96
M. Colina	G0AG1271	786849	7903249	844,3	4,6	839,7
M. Colina	18JL0961	786778	7903470	840,81	4,63	836,18
M. Colina	18MA0861	787046	7903032	853,4	4,87	848,53
M. Colina	18MA0862	787040	7903020	853,3	4,93	848,37
M. Colina	18JL0951	786644	7903062	841	4,95	836,05
M. Colina	18JL0952	786650	7903047	841,33	5	836,33
M. Colina	G0JL0011	787840	7903472	850,43	5,3	845,13
M. Colina	G0JL0012	787849	7903483	850,27	5,3	844,97
M. Colina	19JL1351	785877	7903972	795,45	12,24	783,21
M. Colina	18DE1072	787020	7903792	828	12,26	815,74
M. Colina	18DE1071	787030	7903720	829	12,86	816,14
M. Colina	G6NO1581	787038	7903792	826,2	14,2	812
M. Colina	G6NO1582	787050	7903812	825	14,3	810,7
M. Colina	G6NO1583	787028	7903812	823,97	14,7	809,27

Bairro	Código do furo	X(m)	Y(m)	Z(terreno)(m)	Prof. N.A. (m)	Z(N.A)(m)
M. Colina	I9JA1141	786553	7903464	834	15,3	818,7
Martins	G6AB0327	786970	7907520	850,61	0,4	850,21
Martins	G6AB0324	786864	7907512	851	0,5	850,5
Martins	G6AB0326	786850	7907413	851	0,7	850,3
Martins	G6AB0328	786899	7907536	849	0,8	848,2
Martins	G7AG0971	786464	7907410	848,6	0,9	847,7
Martins	G7AG0972	786470	7907410	848,8	0,92	847,88
Martins	G6AB0325	786925	7907532	848,8	1	847,8
Martins	G6AB0322	786926	7907479	852	1,05	850,95
Martins	G6AB0323	786968	7907490	851	1,15	849,85
Martins	G6AB0321	786899	7907473	853,4	1,45	851,95
Martins	I8JN0941	786478	7906270	844,5	2,11	842,39
Martins	G7OU1741	786593	7907496	848,8	2,3	846,5
Martins	I8AG1001	786830	7907682	840,71	2,35	838,36
Martins	I8AG1002	786824	7907666	840,8	2,35	838,45
Martins	G7OU1742	786598	7907500	848,3	2,5	845,8
Martins	G6JN0652	786774	7906647	859	3,35	855,65
Martins	G6JN0651	786784	7906640	859,37	3,4	855,97
Martins	G0JL0741	786287	7906429	853,69	3,9	849,79
Martins	G0JL0742	796287	7906437	853,72	4	849,72
Martins	G8OU0972	785674	7905585	817,2	4,15	813,05
Martins	I8DE1081	786230	7907419	838,8	4,19	834,61
Martins	I8DE1082	786232	7907418	838,5	4,2	834,3
Martins	G7OU1771	786375	7906484	853,89	4,3	849,59
Martins	G7OU1772	786383	7906476	853,63	4,35	849,28
Martins	G6AB0341	786605	7906898	860,32	5	855,32
Martins	I8JN0942	786466	7906276	844	5,42	838,58
Martins	G0JL0771	786346	7906742	857,48	5,5	851,98
Martins	G6AB0342	786632	7906907	860,41	5,5	854,91
Martins	G6JN0561	785950	7906520	854,8	5,8	849
Martins	G6JN0562	785960	7906118	854,78	5,85	848,93
Martins	G9SE0912	786032	7905832	835,77	6	829,77
Martins	G7DE2002	786720	7906838	860,5	6	854,5
Martins	G7DE2001	786724	7906856	860,75	6,05	854,7
Martins	G8OU0971	785632	7905556	815	6,05	808,95
Martins	G9SE0911	786008	7905808	835	6,2	828,8
Martins	I7MR0421	786885	7903501	839,6	6,22	833,38
Martins	G6MR0261	786062	7906113	841,3	6,45	834,85
Martins	G9JA0074	787007	7907083	864,2	6,98	857,22
Martins	G9JA0072	787000	7906986	864,62	7	857,62
Martins	G9JA0076	787023	7907062	864,37	7	857,37
Martins	G9JA0077	787019	7907044	864,34	7,05	857,29
Martins	G6OU1312	785542	7906468	851	7,2	843,8
Martins	G6MR0262	786058	7906104	841,44	7,3	834,14
Martins	G9JA0075	787032	7907092	864	7,3	856,7
Martins	G6OU1311	785532	7906472	864	7,4	843,6
Martins	G9JA0073	786982	7907076	851	7,4	856,72
Martins	G9JA0071	787026	7906995	864,12	7,8	857,03
Martins	G0MR0244	785667	7905763	864,83	8,15	817,85
Martins	G9JN0652	785374	7906781	826	8,2	838,97
Martins	G0MA0502	785400	7905587	847,17	8,6	803,71
Martins	G9JN0651	785358	7906778	812,31	8,7	838,14
Martins	G0MA0501	785418	7905598	846,84	8,8	804,2
Martins	G7OU0871	785414	7906393	813	9	838,83
Martins				847,83		

Bairro	Código do furo	X(m)	Y(m)	Z(terreno)(m)	Prof. N.A. (m)	Z(N.A)(m)
Martins	G7OU0872	785433	7906400	847,91	9,1	838,81
Martins	G7OU0874	785407	7906417	848,45	9,1	839,35
Martins	G7OU0873	785426	7906424	848,3	9,15	839,15
Martins	G0MR0242	785656	7905790	828	9,2	818,8
Martins	G0MR0243	785656	7905780	827	9,25	817,75
Martins	G7JN0831	785608	7905755	827	9,3	817,7
Martins	G7JN0832	785625	7905752	827,32	9,7	817,62
Martins	G0MR0241	785648	7905789	828	9,75	818,25
Martins	G0JA0041	785506	7906500	850,39	11	839,39
Martins	G0JA0042	785519	7906517	850,54	11,5	839,04
Martins	G6SE1172	785576	7906262	848,3	12,5	835,8
Martins	G6SE1171	785576	7906266	848,5	12,8	835,7
N. S. Ap.	I8MA0872	788151	7906951	864	6,45	857,55
N. S. Ap.	I8MA0871	788148	7906948	864,3	6,49	857,81
N. S. Ap.	I9MA1312	787739	7906715	867,33	8,86	858,47
N. S. Ap.	I9MA1314	787752	7906707	867,59	8,87	858,72
N. S. Ap.	I9MA1313	787740	7906696	867,52	9,05	858,47
N. S. Ap.	I9MA1311	787726	7906704	867,2	9,33	857,87
N.S. Ap.	G7NO1851	788489	7907298	847,33	1,1	846,23
N.S. Ap.	G8JN0392	788544	7907446	850,2	1,18	849,02
N.S. Ap.	G8JN0391	788522	7907448	849,56	1,2	848,36
N.S. Ap.	G7NO1852	788470	7907318	848,25	1,2	847,05
N.S. Ap.	I6JA0122	788422	7906959	841	2,44	838,56
N.S. Ap.	I6JA0121	788409	7906968	842,4	2,8	839,6
N.S. Ap.	G8OU0931	788269	7907162	861,45	5	856,45
N.S. Ap.	G8OU0932	788263	7907110	861,33	5,1	856,23
N.S. Ap.	G6AG1071	788244	7907262	864,9	5,6	859,3
N.S. Ap.	G6AG1072	788249	7907260	865	5,65	859,35
N.S. Ap.	G6JN0553	787832	7907113	870,2	9	861,2
N.S. Ap.	G6JN0554	787844	7907116	869,02	9	860,02
N.S. Ap.	G6JN0555	787827	7907090	871,35	9,1	862,25
N.S. Ap.	G9JN0661	787752	7907234	871,9	9,15	862,75
N.S. Ap.	G9JN0662	787747	7907230	872,2	9,25	862,95
N.S. Ap.	G6JN0552	787828	7907102	869,07	9,3	859,77
N.S. Ap.	G6AG0941	788261	7907570	869,27	9,4	859,87
N.S. Ap.	G6AG0942	788274	7907578	869,2	9,4	859,8
N.S. Ap.	G6JN0551	787820	7907092	869,2	9,5	859,7
N.S. Ap.	G6JL0721	787510	7907172	870,26	11	859,26
N.S. Ap.	G6JL0722	787516	7907168	870,34	11	859,34
N.S. Ap.	G6AG1061	787599	7907429	872,77	11,3	861,47
N.S. Ap.	G6AG1062	787606	7900741	873	11,35	861,65
N.S. Ap.	G6DE1683	788046	7907548	874,27	12	862,27
N.S. Ap.	G6DE1682	788048	7907560	874,25	12,5	861,75
N.S. Ap.	G6DE1681	788049	7907582	874,23	12,7	861,53
N.S. Ap.	G7NO0311	788060	7907674	874,9	14,6	860,3
N.S. Ap.	G7NO0312	788068	7907658	875,01	14,64	860,37
Oswaldo	G9JN0712	785456	7905113	842,48	6,8	835,68
Oswaldo	G9JN0711	785467	7906114	842,72	6,83	835,89
Oswaldo	G9JN0713	785759	7906102	842,37	7,6	834,77
Patrimônio	G0MA0792	785598	7904454	776,93	2	774,93
Patrimônio	G0MA0793	785585	7904456	776,95	2,2	774,75
Patrimônio	I6JA0101	785533	7904499	776,75	2,4	774,35
Patrimônio	G0MA0791	785592	7904450	777	2,5	774,5
Patrimônio	I6JA0102	785547	7904492	776	2,51	773,49

Bairro	Código do furo	X(m)	Y(m)	Z(terreno)(m)	Prof. N.A. (m)	Z(N.A)(m)
Patrimônio	I9JN1322	785383	7904482	776,41	5	771,41
Patrimônio	I9JN1321	785375	7904496	776,2	5,35	770,85
Patrimônio	G7SE1481	786150	7904405	786,8	5,5	781,3
Patrimônio	G7SE1482	786154	7904390	787,5	5,9	781,6
Patrimônio	G9SE0991	785621	7904099	784,43	7,3	777,13
Patrimônio	G9SE0992	785638	7904098	785,23	7,35	777,88
Patrimônio	G6AG0973	785898	7904394	783,42	8,12	775,3
Patrimônio	G6AG0972	785902	7904400	783,33	8,15	775,18
Patrimônio	G6AG0971	785898	7904498	782,42	8,22	774,2
Patrimônio	I8AB0812	785703	7904173	787	8,57	778,43
Patrimônio	I8AB0811	785694	7904185	787,57	8,83	778,74
Patrimônio	G7NO1952	786044	7904195	796,82	10,05	786,77
Patrimônio	G6DE1651	785997	7904312	791,2	10,15	781,05
Patrimônio	G6DE1652	785978	7904313	790,85	10,2	780,65
Patrimônio	G7NO1951	786042	7904205	796,33	10,2	786,13
Roosevelt	G6FE0104	786943	7907858	845	0	845
Roosevelt	G6FE0103	786941	7907840	877,4	0,1	877,3
Roosevelt	G6FE0102	786933	7907870	848	0,6	847,4
Roosevelt	I0JL1541	785813	7907544	824,7	0,6	824,1
Roosevelt	I0JL1542a	785835	7907550	825,23	0,87	824,36
Roosevelt	I0JL1542	785834	7907544	824,91	1,48	823,43
Roosevelt	G6FE0101	786924	7907881	850,22	1,5	848,72
Roosevelt	I0JL1541a	785811	7907550	824,65	1,5	823,15
Roosevelt	I0JL1541b	785817	7907556	825,22	2	823,22
Roosevelt	G8JL0521	786552	7907695	841,57	3,05	838,52
Roosevelt	G6JN0961	786203	7908195	864,09	8,1	855,99
Roosevelt	G6JN0962	786207	7908203	864,24	8,2	856,04
Saraiva	G0JN0601	788211	7905500	853	5	848
Saraiva	G0JN0602	788214	7905518	854	5,6	848,4
Saraiva	G6AG1002	788073	7905103	859,7	7,53	852,17
Saraiva	G6AG1001	788098	7905100	860,6	7,76	852,84
Saraiva	G9SE0882	788160	7905440	853,41	8	845,41
Saraiva	G9SE0883	788156	7905440	853	8	845
Saraiva	G9SE0881	788164	7905428	953,54	8,1	945,44
Saraiva	G9AB0272	787888	7905250	849	8,12	840,88
Saraiva	G9AB0271	787880	7905252	848,81	9,2	839,61
Saraiva	G9SE0982	788360	7905154	854,4	9,8	844,6
Saraiva	G9SE0981	788350	7905144	854,55	10	844,55
Sta. Maria	G0JA0053	788520	7906397	834,21	0,75	833,46
Sta. Maria	G0JA0052	788506	7906393	833,21	0,8	832,41
Sta. Maria	G0JA0051	788491	7906390	838,85	1,2	837,65
Sta. Maria	G0JN0663	788560	7906258	842,3	2,4	839,9
Sta. Maria	G0JN0664	788582	7906263	843,41	2,4	841,01
Sta. Maria	G0MR0271	788340	7906040	842,37	2,8	839,57
Sta. Maria	G0MR0272	788350	7906030	843,21	2,95	840,26
Sta. Maria	G0MR0031	788380	7906020	843,63	3,2	840,43
Sta. Maria	G0JN0622	788570	7906262	843,47	3,3	840,17
Sta. Maria	G0MR0032	788395	7906020	843,82	3,4	840,42
Sta. Maria	G0JN0621	788558	7906263	842,37	3,5	838,87
Sta. Maria	G0MR0201	788138	7905916	837	4,2	832,8
Sta. Maria	G0MR0202	788154	7905945	839	4,9	834,1
Sta. Maria	G0JN0561	788592	7906212	845,82	5,15	840,67
Sta. Maria	G0JN0562	788586	7906212	845,52	5,15	840,37
Sta. Maria	I9AB1261a	788464	7906200	841,22	5,19	836,03

Bairro	Código do furo	X(m)	Y(m)	Z(terreno)(m)	Prof. N.A. (m)	Z(N.A)(m)
Sta. Maria	I9AB1261	788460	7906205	841	5,21	835,79
Sta. Maria	I9AB1262	788467	7906180	842	5,78	836,22
Sta. Maria	G7OU1682	788297	7906108	836,7	5,8	830,9
Sta. Maria	G7OU1683	788290	7906097	838,47	5,8	832,67
Sta. Maria	G7OU1681	788300	7906099	838,43	5,85	832,58
Sta. Maria	G7OU1684	788284	7906095	837,49	6	831,49
Sta. Maria	G7OU1685	788292	7906086	839,4	6	833,4
Sta. Maria	G8MR0282	788087	7905725	840,61	6,52	834,09
Sta. Maria	G8MR0281	788095	7905724	840,3	6,58	833,72
Sta. Maria	G0FE0151	788567	7906269	842,2	7	835,2
Sta. Maria	I8FE0771	788212	7905870	843,3	7,19	836,11
Sta. Maria	G0FE0152	788582	7906283	843,41	7,3	836,11
Sta. Maria	I8FE0772	788222	7905884	843,41	7,47	835,94
Sta. Maria	I8FE0773	788236	7905874	844	7,6	836,4
Sta. Maria	G7NO1892	788115	7905707	843	8	835
Sta. Maria	G7NO1891	788127	7905713	843,7	8,05	835,65
Sta. Maria	G7NO1893	788105	7905099	842,23	8,1	834,13
Sta. Maria	I8FE0774	788233	7905855	845,35	8,42	836,93
Sta. Maria	I8FE0774a	778228	7905850	845,42	8,5	836,92
Sta. Maria	G7OU1761	788243	7905820	846	8,6	837,4
Sta. Maria	G7OU1762	788256	7905807	847,21	8,8	838,41
Sta. Môn	G8JN0411	791126	7906305	884	0,3	883,7
Sta. Môn	G8JN0412	791126	7906323	883	0,3	882,7
Sta. Môn	I9JL1363	788736	7906570	835,42	0,38	835,04
Sta. Môn	I9JL1361a	788727	7906567	835,32	0,69	834,63
Sta. Môn	I9JL1361	788722	7906536	835,3	0,94	834,36
Sta. Môn	I9JL1364	788725	7906555	835,41	1	834,41
Sta. Môn	G0MR0311	789252	7906592	854,61	1,05	853,56
Sta. Môn	I9JL1361b	788725	7906550	835,43	1,09	834,34
Sta. Môn	G0MR0312	789243	7906594	853,8	1,3	852,5
Sta. Môn	I9JL1362b	788756	7906546	835,5	1,74	833,76
Sta. Môn	G0JL0762	789877	7906820	852,8	1,8	851
Sta. Môn	I9JL1362a	788748	7906505	835,57	1,82	833,75
Sta. Môn	I9JL1362d	788745	7906540	832,81	1,95	830,86
Sta. Môn	G0JL0761	789902	7906814	853,3	2	851,3
Sta. Môn	I9JL1362c	788752	7906540	835,32	2,03	833,29
Sta. Môn	G0JA0091	788988	7906426	850	3,05	846,95
Sta. Môn	G0AG1032	788860	7906545	839,45	3,2	836,25
Sta. Môn	G8AG0652	788880	7906293	853,18	3,75	849,43
Sta. Môn	G8AG0651	788900	7906297	854	3,8	850,2
Sta. Môn	G0AG1033	788880	7906534	838,35	4,3	834,05
Sta. Môn	G0AG1031	788870	7906544	839	4,4	834,6
Sta. Môn	I8JA0751	789900	7905018	894,45	4,42	890,03
Sta. Môn	I8JA0752	789912	7905022	894,32	4,42	889,9
Sta. Môn	I8JA0153	789920	7905012	894,52	4,44	890,08
Sta. Môn	G6AG0991	789031	7906535	848	4,8	843,2
Sta. Môn	G6AG0992	789042	7906533	848,53	4,87	843,66
Sta. Môn	G0MR192	789160	7906202	866,8	6,2	860,6
Sta. Môn	G6JL0691	788778	7906610	838,61	6,3	832,31
Sta. Môn	G6JL0692	788767	7906605	838,4	6,3	832,1
Sta. Môn	G0MR191	789184	7906202	867,5	6,3	861,2
Sta. Môn	G6MR0141	789550	7906432	871,3	9	862,3
Sta. Môn	G6MR0142	789558	7906434	871,3	9	862,3
Sta. Môn	G0SE1121	789628	7906494	870,83	9,7	861,13

Bairro	Código do furo	X(m)	Y(m)	Z(terreno)(m)	Prof. N.A. (m)	Z(N.A)(m)
Sta. Môn	G0SE1122	789648	7906483	871,43	9,8	861,63
Sta. Môn	G3JA0031	789765	7905334	899,32	10,3	889,02
Sta. Môn	G8AG0721	789217	7906204	868,8	10,8	858
Sta. Môn	I8OU1031	789472	7906294	873,83	11,97	861,86
Sta. Môn	G9MA0552	789440	7905944	879,85	15	864,85
Sta. Môn	G9MA0551	789452	7905963	880	15,05	864,95
Sta. Môn	G9MA0531	790726	7906138	894	15,2	878,8
Sta. Môn	G9MA0532	790740	7906128	894	15,2	878,8
Sta. Môn	G3JA0031	789765	7905320	899,23	16,05	883,18
Sta. Môn	G8JA0021	789885	7905324	902,3	17,3	885
Sta. Môn	G9JL0741	789985	7905266	902,81	17,3	885,51
Sta. Môn	G8JA0022	789869	7905323	901,7	17,4	884,3
Tabajaras	G6JA0061	789766	7905734	896,35	23	873,35
Tabajaras	G0DE2022	785655	7905225	829,43	1,5	827,93
Tabajaras	G0DE2021	785650	7905220	829,42	1,6	827,82
Tabajaras	G0DE2023	785654	7905210	829,51	1,6	827,91
Tabajaras	G0DE2024	785648	7905204	829,32	1,6	827,72
Tabajaras	G0DE2025	785653	7905200	829,35	1,6	827,75
Tabajaras	IOJL0644	785474	7905540	812	3,85	808,15
Tabajaras	IOJL0641	785456	7905548	812,4	5,5	806,9
Tabajaras	IOJL0643	785453	7905536	812,8	5,5	807,3
Tabajaras	IOJL0642	785474	7905551	812	5,82	806,18
Tabajaras	G6JA0032	785945	7904854	799	6,8	792,2
Tabajaras	G6JA0033	785945	7904860	800	7	793
Tabajaras	G0JL0722	785840	7904728	791,41	7	784,41
Tabajaras	G0JN0641	785320	7905335	802	7,1	794,9
Tabajaras	G0JN0642	785330	7905354	802,31	7,15	795,16
Tabajaras	G0JL0721	785848	7904724	791	7,2	783,8
Tabajaras	G8JA0142	785881	7904645	781	7,2	773,8
Tabajaras	G8JA0143	785891	7904653	781,53	7,32	774,21
Tabajaras	G8JA0141	785876	7904654	781,52	7,45	774,07
Tabajaras	G6JA031	785924	7904866	800,91	7,5	793,41
Tabajaras	G8JA0061	785716	7905529	823,3	7,75	815,55
Tabajaras	G0JL0723	785828	7904716	791,21	8,5	782,71
Tabajaras	G6DE1622	785853	7904822	801,32	12	789,32
Tabajaras	G6DE1621	785850	7904833	802	12,8	789,2
Tabajaras	G9SE0931	785812	7904748	795,33	13,5	781,83
Tabajaras	G9SE0932	785816	7904764	794,61	13,5	781,11
Tibery	G7JL1082	789519	7907092	865	7,15	857,85
Tibery	G7JL1081	789534	7907088	865,2	7,2	858
Tibery	G6JA0012	789534	7907092	862	9,3	852,7
Tibery	G6JA0011	789514	7907132	862,5	9,5	853
Tibery	G6AB0371	789040	7907214	870	10,55	859,45
Tibery	G6AB0372	789028	7907210	869,81	10,7	859,11
Tibery	G0JN0661	789415	7908088	804,92	13,9	791,02
Tibery	G0JN0662	789415	7908088	804,92	14,1	790,82
V. Pereira	G0AB431	786734	7904158	794	3	791
V. Pereira	G0AB432	786720	7904152	794,5	3	791,5
V. Pereira	G0AB433	786720	7904139	795	4,1	790,9
V. Pereira	G0JL0792	787192	7902808	855	5,15	849,85
V. Pereira	G0JL0791	787205	7902812	855,7	5,2	850,5
V. Pereira	I7AB0472	787904	7904646	857	5,72	851,28
V. Pereira	I7AB0471	787924	7904650	857,5	5,9	851,6
V. Pereira	I8AB0801	787718	7904478	843	6,6	836,4

Bairro	Código do furo	X(m)	Y(m)	Z(terreno)(m)	Prof. N.A. (m)	Z(N.A)(m)
V. Pereira	G0AG1061	787375	7903114	856,75	7,15	849,6
V. Pereira	G0AGJ062	787360	7903114	856,8	7,15	849,65
V. Pereira	G0JL742	787612	7902987	859,32	7,3	852,02
V. Pereira	G0JL741	787612	7902996	859,33	7,4	851,93
V. Pereira	G0JN0571	785238	7902662	799	8	791
V. Pereira	G0JN0572	785243	7902692	799	8	791
V. Pereira	G0JL0811	787806	7902792	862,43	8	854,43
V. Pereira	I8SE1021	786840	7905780	857,8	8,58	849,22
V. Pereira	G0JL832	787564	7903040	859	8,6	850,4
V. Pereira	I8SE1022	786854	7905771	857,83	8,68	849,15
V. Pereira	G0JL831	787560	7903024	859	8,8	850,2
V. Pereira	G0JL0831	787115	7904841	805,83	8,9	796,93
V. Pereira	I8MA0892	788268	7904784	863,33	9	854,33
V. Pereira	G7JL0932	788234	7904808	863,61	9,15	854,46
V. Pereira	G7JL0931	788248	7904810	863,68	9,2	854,48
V. Pereira	I8MA0891	788268	7904782	863,57	9,28	854,29
V. Pereira	G0JL0832	787124	7904846	804,3	9,7	794,6
V. Pereira	G0MR252	785816	7903924	797,47	9,9	787,57
V. Pereira	G0MR251	785822	7903932	797,91	10	787,91
V. Pereira	G8SE892	785630	7903928	781,53	10,38	771,15
V. Pereira	G8SE891	785614	7903920	780,82	10,4	770,42
V. Pereira	G6FE0103	786962	7904635	802,32	10,9	791,42
V. Pereira	G6FE0102	786965	7904630	802,42	11	791,42
V. Pereira	G0FE101	786020	7903881	804,21	11,5	792,71
V. Pereira	G0FE102	786028	7903892	803,37	11,5	791,87
V. Pereira	G0FE102	786028	7903892	803,37	11,5	791,87

Anejo 2