

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GEOLOGIA E ASPECTOS GEOTÉCNICOS DA BACIA
DE SÃO PAULO NA REGIÃO DE GUARULHOS**

André da Silva Salvaterra

Orientador: Prof. Dr. Claudio Riccomini

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2003/11)

SÃO PAULO
2003

TF
S182
AS.g

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS



MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA

(TF/2003 – 11)

*"GEOLOGIA E ASPECTOS GEOTÉCNICOS DA BACIA DE
SÃO PAULO NA REGIÃO DE GUARULHOS"*

Aluno: André da Silva Salvaterra *André S. Salvaterra*

Orientador: Prof. Dr. Claudio Riccomini



DOAÇÃO Secção

Graduação - 16c

Data: 06/05/2004

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900014559



GEOLOGIA E ASPECTOS GEOTÉCNICOS DA BACIA DE SÃO PAULO NA REGIÃO DE GUARULHOS

ANDRÉ DA SILVA SALVATERRA

Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Cláudio Riccomini

Prof. Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha

Prof. Dr. José Roberto Canuto

São Paulo

2003

TF
S182
AS.g



ÍNDICE

RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. Introdução	8
2. Metas e Objetivos	10
3. Trabalhos Prévios	10
3.1. Considerações gerais	10
3.1.2. Evolução nos conhecimentos	11
3.2. Contexto geológico e tectônico regional	12
3.3. A Litoestratigrafia da Bacia de São Paulo.....	13
3.4. O Graben do Baquirivu-Guaçu	16
4. Materiais e Métodos	17
4.1. O ensaio SPT.....	17
5. Desenvolvimento do Trabalho	18
5.1. Trabalhos de campo e análise das amostras em laboratório	18
5.2. Pesquisa bibliográfica e cartográfica	19
5.3. Seleção e padronização dos dados	19
5.4. Confecção de perfis e mapas	19
6. Resultados Obtidos.....	20
6.1. Depósitos quaternários.....	20
6.1.1. Depósitos fluviais (aluvões recentes - AL)	20
6.2. Sedimentos terciários da Bacia de São Paulo (STBSP)	24
6.2.1. Concreções e couraças limoníticas.....	25
6.3. Solos residuais (SR) e solos de alteração de rocha (SAR)	26
6.4. Aterros (AT).....	27
6.5. Considerações geotécnicas	27
6.5.1. Mapas de resistência à penetração	28
7. Discussão dos Resultados	30
7.1. Geologia dos sedimentos terciários e dos depósitos quaternários.....	30
7.2. Estruturas	31
8. Conclusões	32
BIBLIOGRAFIA.....	33

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1. Mapa geológico da Bacia de São Paulo e localização da área estudada.

Figura 2. Contexto geológico regional.

Figura 3. Coluna estratigráfica para as bacias do Rift Continental do Sudeste do Brasil.

Figura 4. Modelo do equipamento de sondagem.

Figura 5. Mapa de espessuras de sedimentos quaternários.

Figura 6. Mapa de espessuras de aluviões quaternários com respectivo relevo 3D do embasamento destes depósitos.

Figuras 7, 8 e 9. Diferentes projeções do embasamento dos aluviões quaternários.

Figura 10. Mapa de distribuição de couraças e concreções limoníticas.

Figura 11. Histograma dos valores de resistência à penetração para as argilas terciárias cinza esverdeadas.

Figura 12. Histograma dos valores de resistência à penetração para as argilas quaternárias.

Figura 13. Mapa de valores de resistência à penetração a 5 m de profundidade no terreno.

Figura 14. Mapa de valores de resistência à penetração a 10 m de profundidade no terreno.

Figura 15. Mapa de valores de resistência à penetração a 15 m de profundidade no terreno.

Figura 16. Mapa de distribuição das sondagens utilizadas.

*Para Júlia e Tati,
com amor.*

RESUMO

Este trabalho enfoca as principais características geológico-geotécnicas superficiais da Bacia de São Paulo, obtidas em 335 sondagens de simples reconhecimento executadas em Guarulhos, tendo-se encontrado depósitos quaternários, sedimentos terciários, solos residuais e de alteração das rochas, e aterros superficiais.

Formados por argilas orgânicas, argilas plásticas e areias, com ou sem seixos e pedregulhos, os depósitos quaternários apresentam comportamento geotécnico ruim, sendo caracterizados como sedimentos plásticos, inconsolidados e deformáveis.

Os sedimentos terciários da Bacia de São Paulo encontrados pertencem à Formação Resende, do Grupo Taubaté, tendo-se identificado duas litofácies, uma composta por pedregulhos, seixos e fragmentos de rocha em matriz lamítica, e outra, mais arenosa, formada por areias com teores variáveis de argila. São sedimentos heterogêneos, muitas vezes imaturos, marcados por grande diversidade granulométrica e textural, e revelam que, parte da sedimentação na bacia ocorreu rapidamente e concomitante à sua subsidência. O comportamento geotécnico destes sedimentos é variável, podendo ser muito bom, caso das argilas cinza esverdeadas, até ruim, exemplificado pelas intercalações entre níveis arenosos e argilosos.

Os solos residuais e de alteração são produtos do intemperismo das rochas do embasamento, e, apresentam comportamento geotécnico variado. Nestes solos, pôde-se observar estruturas metamórficas preservadas, como foliações, crenulações, lineação e estiramento dos minerais.

A principal estrutura encontrada foram as falhas normais que originaram grabens e horsts, expondo partes do embasamento em meio à área de ocorrência dos sedimentos, causando também, variações nas espessuras dos pacotes sedimentares. Estas falhas inserem-se no contexto do Graben do Baquirivu-Guaçu, importante feição tectônica presente na região de Guarulhos.

ABSTRACT

Some geological characteristics of geotechnical significance in the region of Guarulhos municipality (Great São Paulo region) were investigated using data of 335 cores of simple recognition. The main tectonic structures in this region are normal faults related to the Baquirivu-Guaçú graben sometimes allowing the uplift and exposition of basement rocks within the Tertiary deposits and causing great variation in thickness of the sedimentary packages. Deformable Quaternary organic-rich clays, plastic clays and sands, with or without pebbles, present bad geotecnic properties. The Tertiary, immature and heterogeneous, pebbly to sandy mudstones (Resende Formation) are related to the syn-tectonic deposition in the basin; their geotecnic behavior is variable, being very good in the case of clayey rocks to bad for the intercalations of sandstone and mudstone levels. The regolith and soils derived from weathering of Precambrian basement rocks (sometimes with remains of the original metamorphic structures) present variable geoctecnic properties.

1. Introdução

Sobre os sedimentos terciários da Bacia de São Paulo e partes do seu embasamento desenvolveu-se a Região Metropolitana de São Paulo, a maior metrópole brasileira e uma das maiores concentrações populacionais urbanas do mundo, sendo Guarulhos um importante pólo dentro desta região.

A escolha do sítio de São Paulo foi determinada pelas condições geológicas que dominam entre a Baixada Santista, de onde partiram os primeiros colonizadores há quase 500 anos, e São Paulo. Após atravessar o relevo abrupto da Serra do Mar, com terrenos íngremes e acidentados compostos por rochas cristalinas como gnaisses e granito-gnaisses, ao se chegar na Bacia de São Paulo a topografia torna-se suave, com uma planície aluvial ampla do Rio Tietê e seus afluentes, ideal para se iniciar o processo de colonização.

Porém, foi só no século 19 que se iniciaram alguns poucos estudos referentes às "camadas de São Paulo", e até a década de 50, os conhecimentos sobre a bacia tinham um enfoque mais tecnológico e aplicado do que científico (VARGAS, 2002). A partir de 1980, intensificaram-se os estudos detalhados sobre a bacia, e hoje, um grande número de trabalhos, teses e dissertações discorrem sobre a geologia e geotecnica da região.

O conhecimento geológico da Bacia de São Paulo se deu em grande parte graças à Geologia de Engenharia, às necessidades de gestão territorial, disposição de lixo e utilização de recursos hídricos. Devido à grande demanda por obras em toda a Região Metropolitana, com a construção das linhas do metrô, túneis, viadutos, canalização de rios, escolas, casas e prédios, os conhecimentos adquiridos sobre a geologia e a geotecnica da bacia foram de fundamental importância para o desenvolvimento destes projetos. Entretanto, muito há de ser feito ainda para a melhoria das condições sócio-ambientais da metrópole, pois diversos aspectos urbanísticos e sociais precisam ser implantados, e os já existentes, clamam por melhorias.

O déficit habitacional e urbano da metrópole paulistana é grande, com a ocorrência de um aumento de 2540% na população favelada entre os anos de 1973 e 1987, conforme dados oficiais da Secretaria da Habitação (1995). A principal consequência disto é a proliferação das "áreas de risco", pois, estas populações acabam deslocando-se para regiões sem infra-estrutura urbana, e muitas vezes, áreas de mananciais, e, portanto, o conhecimento adequado do ambiente físico urbano é de grande utilidade para o desenvolvimento destas áreas, buscando-se assim, obter um controle ambiental mais adequado.

Em Guarulhos, a demanda por obras de engenharia é grande, onde um vasto pátio industrial e comercial necessita periodicamente de ampliações e adequações. Outro aspecto relevante é a passagem das principais rodovias paulistas pelo município, como a Via Dutra, a Rodovia Ayrton Senna e a Rodovia Fernão Dias, destacando-se ainda, a presença do

Aeroporto Internacional de São Paulo. Sendo assim, a execução de levantamentos geológicos e geotécnicos garantem a viabilização, a estabilidade, a confiabilidade e a segurança destes empreendimentos, contribuindo também para o avanço do conhecimento científico da bacia e seu embasamento.

Neste trabalho, muitos furos de sondagem foram executados para obras sociais, na construção de conjuntos habitacionais, escolas municipais, obras de canalização de córregos e sistemas de esgotos, realizando-se também, sondagens para obras viárias, indústrias, torres de telecomunicações, prédios, residências, e ampliações no Aeroporto Internacional de São Paulo.

Os dados apresentados, interpretados e discutidos neste trabalho, visam contribuir para o avanço dos conhecimentos geológicos e geotécnicos da Bacia de São Paulo na região de Guarulhos, e suas aplicações em obras de engenharia civil.

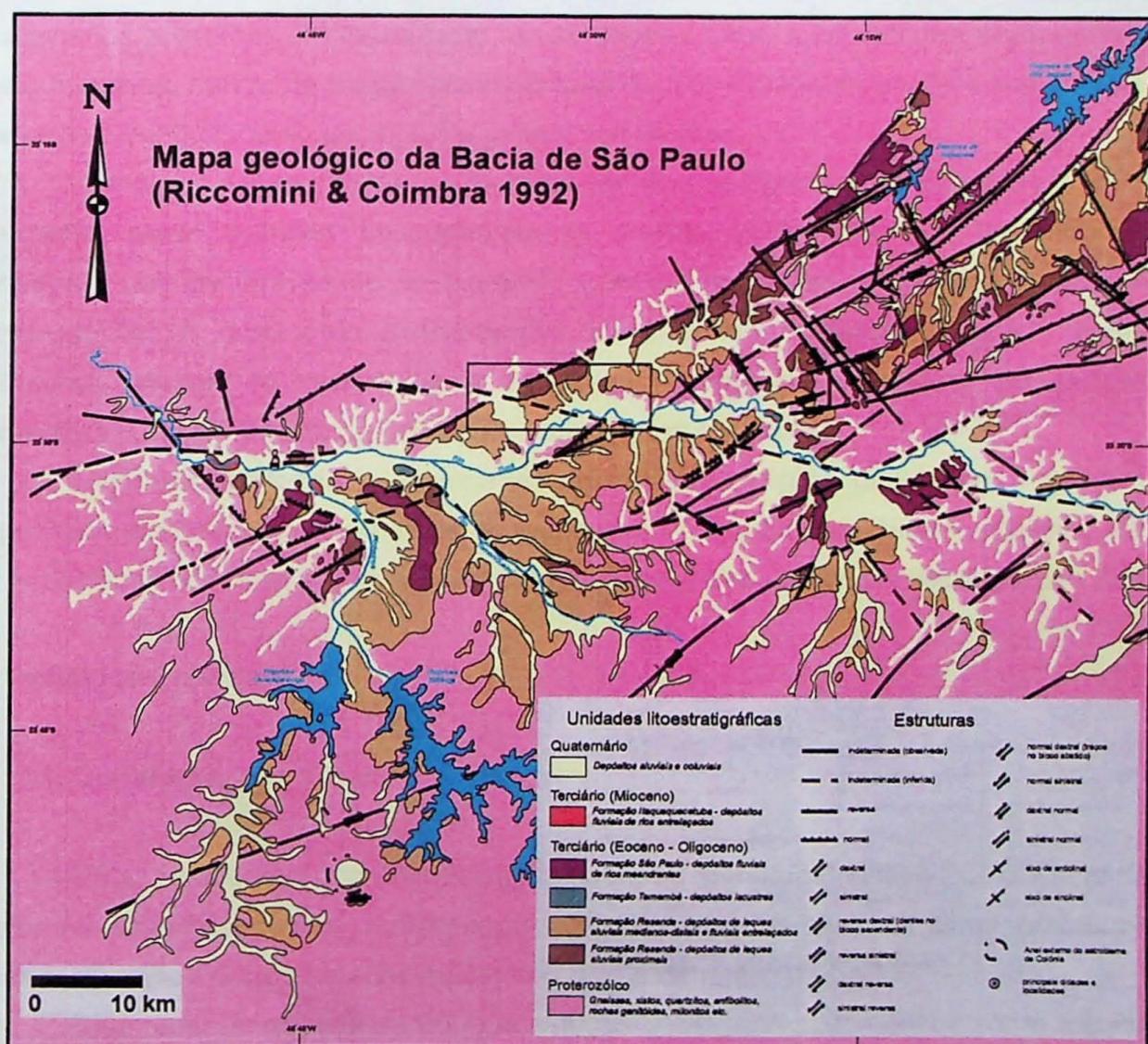


Figura 1. Mapa geológico da Bacia de São Paulo. A área em estudo (delimitada pelo retângulo) situa-se entre as coordenadas UTM's 7.401.000 N / 7.411.000 N, e UTM's 340.000 E / 359.000 E.

2. Metas e Objetivos

Este trabalho apresenta, analisa e discute dados sobre os sedimentos da Bacia de São Paulo, seu embasamento e depósitos quaternários na região de Guarulhos obtidos em 335 furos de sondagens a percussão que atingiram profundidades variáveis entre 10 e 45 m, com média de profundidade dos furos de 17,53 m, e metragem total de 5.872,55 m perfurados, enfocando-se desta maneira, as principais características geológicas e geotécnicas das camadas superficiais desta porção da bacia.

Dentro do contexto da Bacia de São Paulo, diversas poderiam ter sido as áreas selecionadas para estudo, mas, optou-se pela região de Guarulhos por esta apresentar uma boa concentração de sondagens com suas respectivas cotas e coordenadas, e, onde as descrições dos testemunhos e a confecção de perfis propiciaram a visualização de importantes relações entre os sedimentos da bacia, seu embasamento, e os depósitos quaternários presentes em Guarulhos. Alia-se a estes fatos, a importância sócio-econômica deste município dentro da Região Metropolitana de São Paulo, tornando-se assim, bastante relevante o conhecimento geológico e geotécnico da área.

A análise, a descrição e a interpretação dos sedimentos da Bacia de São Paulo realizadas neste trabalho basearam-se na análise táctil-visual dos testemunhos de sondagem obtidos através do ensaio SPT. Com os dados em mãos, foram desenhados perfis geológicos mostrando a distribuição dos diferentes litotipos presentes na área e estruturas, mapas de resistência a penetração, mapa de espessura de sedimentos quaternários, e distribuição de couraças e concreções limoníticas.

Com isso, pretende-se mostrar as principais condições geológicas e geotécnicas superficiais dos diferentes materiais ocorrentes em Guarulhos, tentando-se assim, auxiliar no avanço dos conhecimentos científicos e aplicados desta porção da Bacia de São Paulo.

3. Trabalhos Prévios

3.1. Considerações gerais

Até a década de 50, o conhecimento sobre as “camadas de São Paulo” vinha de um maior interesse tecnológico, investigando-se a disposição de suas camadas, ocorrência de água subterrânea e propriedades mecânicas dos sedimentos da bacia.

Foi a partir da década de 80, que estudos geológicos sistemáticos sobre a Bacia de São Paulo foram intensificados, realizando-se trabalhos de mapeamento geológico, apresentação de teses e dissertações, estudos geotécnicos e geológicos locais e regionais. Organizaram-se também diversos encontros e “mesas redondas”, com a apresentação e discussão dos conhecimentos adquiridos sobre a bacia.

3.1.2. Evolução nos conhecimentos

A extração de amostras representativas das camadas de São Paulo iniciou-se em 1939, sendo realizada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), com a finalidade de se obter dados sobre a resistência e a compressibilidade das camadas de solo de fundações de edifícios e pontes da cidade. Na década de 50, as atividades do IPT relacionadas a investigações do subsolo paulistano para fins de engenharia civil, foram intensificadas e possibilitaram uma melhor caracterização dos tipos de solos da Bacia de São Paulo (VARGAS, 1992).

COZZOLINO (1969) apresentou à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo uma dissertação de mestrado sobre os solos da Bacia de São Paulo, contendo dados coligidos pela autora para o anteprojeto da linha Norte-Sul do Metrô de São Paulo, propondo então, a existência de cinco tipos de solos, sendo estes denominados, "camadas superficiais" entre as cotas 825 e 750 m (argilas porosas vermelhas), "camadas de transição" entre as cotas 800 e 750 m (argilas rijas e duras vermelhas, amarelas e cinzas), "camadas intermediárias do centro da cidade" entre as cotas 750 e 720 m (argilas rijas variegadas e areias finas e médias argilosas variegadas), "camadas profundas" abaixo da cota 725 m (areias duras vermelhas e cinza no Vale do Rio Ipiranga e argilas duras cinzas e esverdeadas nos vales dos Rios Tietê e Pinheiros), e, finalmente, as "areias basais" abaixo da cota 725 m (areias grossas e médias, pouco argilosas). Numa segunda parte da dissertação, descreve as principais propriedades tecnológicas dos vários tipos de solo (VARGAS, 1992).

Um maior interesse científico sobre a Bacia de São Paulo teve início a partir da década de 70, com a apresentação de alguns trabalhos em congressos. Em maio de 1980, com o intuito de se avaliar a situação atual dos conhecimentos adquiridos até o momento sobre a Bacia de São Paulo, a Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e o Núcleo São Paulo da Sociedade Brasileira de Geologia (SBG-SP) organizaram uma "Mesa Redonda".

Em junho de 1989, o Núcleo São Paulo da SBG e o Instituto de Geociências da USP promoveram um "workshop" sobre a Geologia da Bacia de São Paulo, no qual, foram apresentados dez trabalhos de autoria de proeminentes geólogos, notórios conhecedores da geologia local. O interesse científico sobre a bacia já agora transcende às questões tecnológicas (VARGAS, 1992).

Em maio de 1992, a Associação Brasileira de Mecânica de Solos (ABMS) e a Associação Brasileira de Engenharia de Fundações e Serviços Geotécnicos Especializados (ABEF) publicaram o volume "Solos da Cidade de São Paulo", contendo uma síntese do estado do conhecimento até o momento sobre os sedimentos que ocorrem na cidade,

incluindo-se também dados sobre os depósitos quaternários e residuais do Pré-Cambriano. Neste livro, cada capítulo foi escrito por um ou mais autores destacados, enfocando-se os conhecimentos sobre a geologia da Bacia Sedimentar de São Paulo, geotecnia, aspectos hidrogeológicos, evolução nos conhecimentos, fundações, etc, sendo considerada uma consulta indispensável para estudos sobre esta bacia.

No final da década de 80 e durante os anos 90, além dos encontros realizados a fim de se debater os conhecimentos sobre a Bacia de São Paulo, foram apresentadas algumas teses de doutoramento de grande valor científico e tecnológico relacionadas à Bacia de São Paulo. Merecem destaque os trabalhos de RICCOMINI (1989), ROCHA (1995), DINIZ (1996), e TAKIYA (1997), onde os autores apresentam dados e estudos inéditos e relevantes para o estudo das "camadas de São Paulo" e seu contexto geológico regional.

3.2. Contexto geológico e tectônico regional

A Bacia de São Paulo é uma das unidades que compreendem o denominado Rift Continental do Sudeste do Brasil - RCSB (RICCOMINI, 1989). Anteriormente definido por ALMEIDA (1976) como Sistema de Rifts Continentais da Serra do Mar, esta feição tectônica de idade cenozóica é formada pelas bacias de São Paulo, Taubaté, Resende, Volta Redonda e Curitiba. Foram incluídos ainda no RCSB as bacias de Itaboraí e Bonfim, e o Graben de Sete Barras (MELO *et al.* 1989a).

RICCOMINI & COIMBRA (1992) consideraram o Graben de Barra de São João (MOHRIAK & BARROS, 1990) e o Graben Guarapeçaba (RICCOMINI & COIMBRA 1992), como pertencentes ao RCSB.

O embasamento destas bacias desenvolveu-se em terrenos policíclicos, compostos por rochas pré-cambrianas incluídas no denominado Cinturão de Dobramentos Ribeira (HASUI *et al.* 1975), formado por rochas metamórficas (gnaisses, xistos, filitos, quartzitos, milonitos, anfibolitos, etc), migmatitos com variadas estruturas e granitóides relacionados ao Ciclo Brasiliano/Pan Africano ou resultantes do retrabalhamento de rochas de ciclos mais antigos. Inúmeras falhas transcorrentes dextrais cortam este conjunto, orientados segundo ENE a EW e ativas até o fim do Ciclo Brasiliano, cujas reativações ficaram registradas em sedimentos cenozóicos (RICCOMINI, 1989).

A origem do rift estaria relacionada a fenômenos de compensação isostática, devido à ruptura da porção crustal adjacente à Bacia de Santos por atuação de esforços verticais opostos, gerando subsidência na bacia e soerguimento da região costeira adjacente.

O rift tem orientação E-NE, paralela à linha de costa atual, perfazendo uma faixa de 900 km, e o arcabouço estrutural das bacias do RCSB configura semigrabens basculados para NNW, com disposição retilínea (RICCOMINI, 1989).

Dentro do contexto geomorfológico, o Rift Continental do Sudeste do Brasil encontra-se no denominado Planalto Atlântico, e que em São Paulo, segundo ALMEIDA (1958), corresponde a terrenos mais ou menos acidentados, com altitudes entre 650 e 1250 m, e com estruturas complexas e feições como planícies aluviais, colinas, morros e serras com traçado linear.

Na Bacia de São Paulo, os mapas de contorno estrutural do topo do embasamento sugerem uma compartimentação em blocos, com cotas mais baixas situadas ao longo da borda norte da bacia (HASUI & CARNEIRO, 1980). RICCOMINI (1989) sugere a forma de hemi-graben com maior afundamento na zona norte.

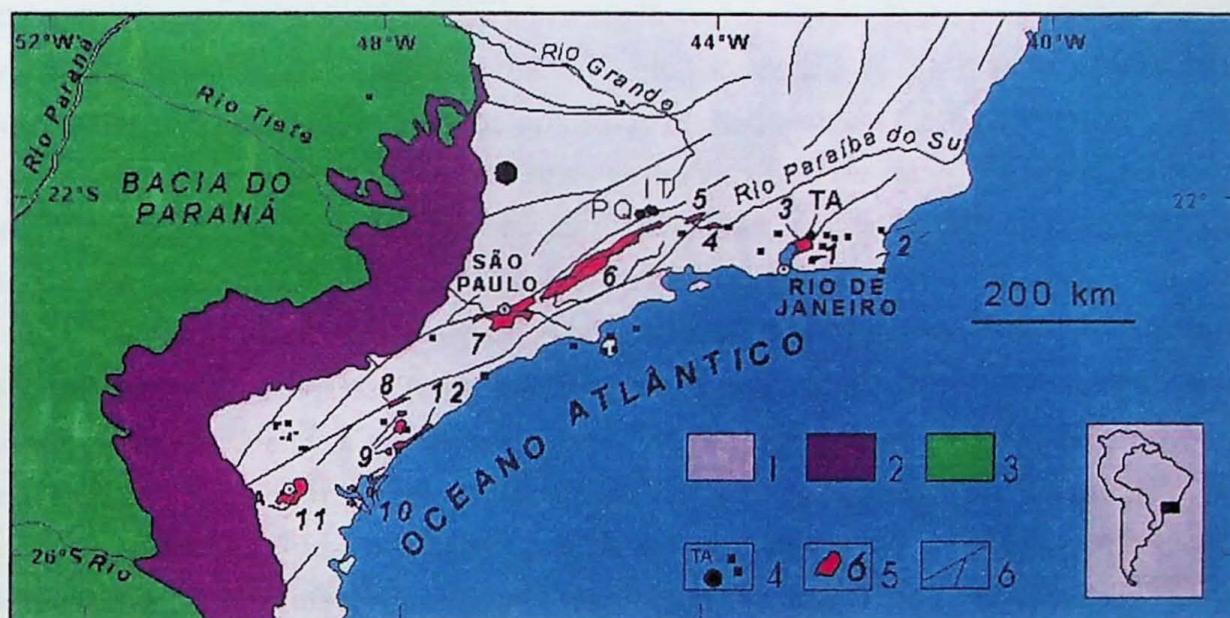


Figura 2. Contexto geológico regional (RICCOMINI, 1989). 1. embasamento Pré-Cambriano; 2. sedimentos Paleozóicos e Mesozóicos da Bacia do Paraná; 3. rochas relacionadas ao vulcanismo da Formação Serra Geral, em parte recobertas por sedimentos e, nesses últimos, algumas intercalações de lavas alcalinas; 4. rochas relacionadas ao magmatismo Mesozóico-Cenozóico; 5. bacias terciárias; 6. zonas de cisalhamento relacionadas ao Ciclo Brasiliano/Pan-Africano, em parte reativadas pelo menos durante o Mesozóico-Cenozóico.

3.3. A Litoestratigrafia da Bacia de São Paulo

Até o ano de 1989, a estratigrafia considerada para a Bacia São Paulo separava os sedimentos terciários em 7 "camadas" (ROCHA, 1995): "areias basais", "areias médias pouco argilosas de cor amarela", "argilas duras cinza esverdeadas", "solos variegados", "argilas porosas vermelhas", "aluviões antigos" e "aluviões recentes".

As "areias basais" são correlacionadas por VARGAS (1992) a depósitos de "entulhamento" por não apresentarem estruturas sedimentares visíveis, e recebem este nome, pois em suas primeiras observações apresentaram-se depositadas diretamente sobre

o embasamento. Cada autor admite uma cota máxima de ocorrência destas areias variando entre 715 a 725 m. Vargas (1992) admite a cota de 725 m, sendo esta então a mais provável, devido ao fato deste autor ter definido estas areias.

As "areias médias pouco argilosas de cor amarela" ocorrem abaixo da cota 715 m, sendo consideradas por VARGAS (1992) como equivalentes às areias basais.

As "argilas duras cinza esverdeadas (Taguá)" ocorrem intercaladas com areias finas argilosas cinza escuro, e, apresentam alto grau de pré-adensamento ocorrendo sempre abaixo da drenagem local (COZZOLINO, 1980).

Os "solos variegados" têm como característica principal grande heterogeneidade e alternância de camadas, e, segundo COZZOLINO (1980), são formados por argilas com teores variados de areia e areias finas argilosas, apresentando cores variegadas em tons amarelos, arroxeados, róseos, vermelhos, etc, ocorrendo desde o nível inferior dos solos vermelhos (cota de 790 m) até logo abaixo da drenagem local (cota de 715m).

Recobrindo as porções mais altas da bacia, entre as cotas 750 e 830 m, encontram-se as argilas porosas vermelhas, caracterizadas por sua porosidade, alto grau de laterização, sendo admitidas por diversos autores como coberturas coluviais.

Os "aluviões antigos", descritos por SUGUIO (1980), distribuem-se principalmente ao longo dos vales dos rios Tietê e Pinheiros, sendo constituídos predominantemente por areias grossas e níveis de cascalho com raras intercalações de argila orgânica. Estes depósitos foram, e têm sido explorados para extração de materiais de construção.

Finalmente, os "aluviões recentes" são depósitos fluviais holocênicos, com espessuras que podem chegar em alguns locais até 14 m, constituídos por argilas orgânicas, areias e níveis de cascalho.

RICCOMINI (1989) propôs uma nova coluna estratigráfica para os sedimentos terciários, descrevendo 20 diferentes fácies distribuídas em quatro formações: Resende, Tremembé, São Paulo e Itaquaquecetuba.

A Formação Resende comprehende quase 90% dos sedimentos que preenchem a bacia, apresentando duas litofácies principais, sendo uma composta por conglomerados, matações e seixos em matriz lamítica e arenosa, com coloração esverdeada, e outra, formada por lamitos arenosos de coloração verde esbranquiçada ou acinzentada, com estratificações cruzadas. Devido ao seu caráter mais homogêneo, esta formação apresenta maior previsibilidade geotécnica nas obras subterrâneas. As argilas cinza esverdeadas correspondem às argilas "Taguá", com a fácie mais grossa relacionada às "areias basais" e o restante, correlacionado às "areias médias pouco argilosas cinza e amarelas".

A Formação Tremembé, relacionada por RICCOMINI (1989) a depósitos de origem lacustre de idade oligocênica, é composta por camadas tabulares de argila verde, intercaladas com argilas cinza-escuro e pretas com matéria orgânica, com total ausência de areias. Sua ocorrência em área e volume é restrita, tendo sido identificada por MELO et al.

(1989a) nas escavações do Metrô na Barra Funda. Por apresentar homogeneidade litológica, a previsibilidade quanto ao comportamento geotécnico destas argilas é boa.

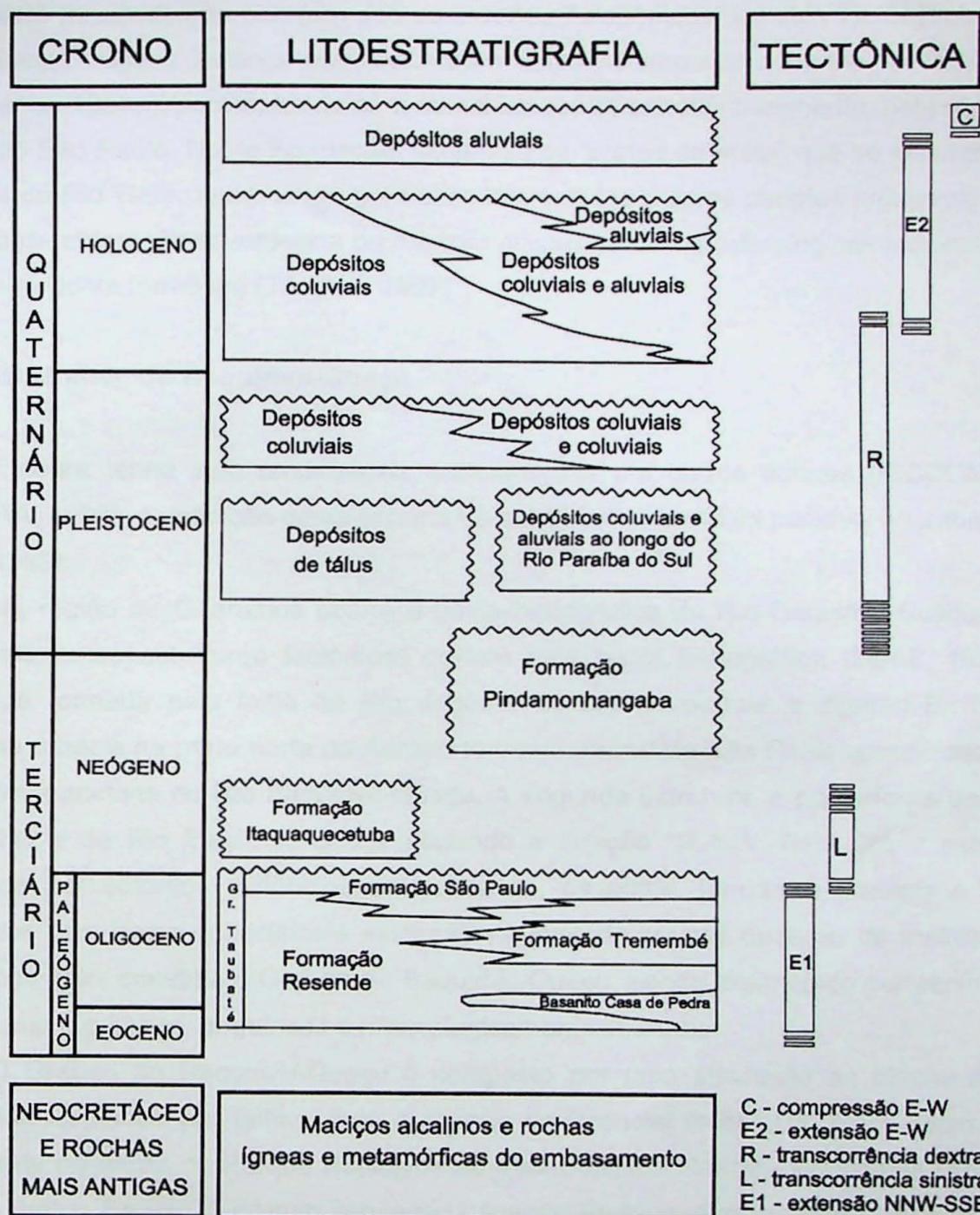


Figura 3. Coluna estratigráfica para as bacias do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RICCOMINI, 1989).

A Formação São Paulo, de idade oligocênica, apresenta uma variedade de litotipos e grande variação tridimensional de fácies, com comportamento geotécnico de menor previsibilidade. São depósitos de sistema fluvial meandrante do Grupo Taubaté (RICCOMINI *et al.* 1992) ocorrendo predominantemente acima da cota 760 m na região central de São Paulo. É composta por sedimentos silto-arenosos e areias finas a grossas, imbricados em

argilas lacustres, com o aparecimento freqüente na interface entre as argilas e areias, de crostas e concreções limoníticas.

A Formação Itaquaquecetuba corresponde aos depósitos do sistema fluvial entrelaçado (braided) que ocorrem sob os aluviões holocênicos dos rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí. Alguns autores correlacionaram estes sedimentos com as "areias basais" (MELO *et al.* 1989a), porém, tende-se a admiti-las como, estratigraficamente, sobrepostas à Formação São Paulo. Nesta Formação, situam-se os "portos de areia" que se encontram às margens do Rio Tietê, aparecendo por vezes intercalados a estes pacotes arenosos, lentes de argila de coloração esverdeada ou marrom escuro. Análises palinológicas indicam idade oligocênica desta formação (TAKIYA, 1997).

3.4. O Graben do Baquirivu-Guaçu

Embora tenha sido reconhecida anteriormente por outros autores (RICCOMINI & COIMBRA, 1992), a definição desta importante estrutura somente foi possível no trabalho de DINIZ (1996).

Na região de Guarulhos ocorre a bacia hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu, onde duas importantes estruturas tectônicas cortam esta bacia hidrográfica (DINIZ, 1996). A primeira é formada pela falha do Rio Jaguari, de caráter normal e direção E-NE, que intercepta a bacia na parte norte do Aeroporto Internacional de São Paulo, condicionando a drenagem autóctone do Rio Baquirivu-Guaçu. A segunda estrutura, é posterior, e secciona toda a bacia do Rio Baquirivu-Guaçu segundo a direção NE-SW. Esta última estrutura, provocada por esforços tectônicos compressivos, os quais, formaram grabens e horsts sucessivos com forma quadrática e extensão variável, de poucas dezenas de metros até 4 km de extensão, constitui o Graben do Baquirivu-Guaçu, sendo preenchido por sedimentos quase sempre grossos, angulosos e mineralogicamente imaturos.

O Graben do Baquirivu-Guaçu é composto por uma sucessão de blocos altos e baixos, interceptados por falhas, com a direção preferencial N45E. Um bloco baixo surge inicialmente na altura do Parque Ecológico do Tietê, entre a Rodovia Presidente Dutra e a Rodovia Ayrton Senna. O graben segue pela ligação Rodovia Ayrton Senna - Aeroporto de Cumbica (bloco alto), indo pelo Parque Industrial de Cumbica (bloco baixo), prosseguindo na direção nordeste, entre a Rodovia Presidente Dutra e a Zona Industrial de Cumbica (bloco alto). Nesta altura, o graben se subdivide em dois ramais, contendo blocos baixos (DINIZ, 1996).

Esta estrutura é posterior à falha do Rio Jaguari, cuja movimentação foi ativa durante a fase inicial de sedimentação da Bacia de São Paulo, provavelmente, no final do Oligoceno e durante o Mioceno. Os dados atuais mostram que o graben faz parte de uma estrutura

maior, com largura média de 6 km e que se estende na direção NE por cerca de 18 km (DINIZ, 1996).

4. Materiais e Métodos

4.1. O ensaio SPT

O ensaio utilizado em campo foi o “*Standard Penetration Test – SPT*”. Este é o ensaio mais executado em todo o mundo, e no Brasil foi regulamentado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas pela NBR 6484 “Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento”, seguindo as seguintes recomendações:

A partir do tipo de obra e das características do terreno, determina-se o número de furos a serem executados, bem como suas localizações. A perfuração é realizada por tradagem e circulação de água utilizando-se um trépano de lavagem como ferramenta de escavação.

A sondagem consiste essencialmente em dois tipos de operação: perfuração e amostragem (SCHNAID, 2000). Em cada ponto determinado, monta-se um tripé com um conjunto de roldanas e cordas, sendo a amostra zero coletada. Na base do furo coloca-se o amostrador padrão com 50,8 mm (duas polegadas) de diâmetro externo e 34,9 mm de diâmetro interno acoplado a hastes de perfuração, marcando-se com um giz três segmentos de 15 cm cada perfazendo um total de 45 cm. A uma altura de 75 cm, ergue-se um peso batente de 65 kg e deixa-se cair em queda livre sobre a haste (PINTO, 2000). Repete-se o procedimento até que o amostrador penetre 45 cm no solo contando-se o número de golpes necessários para perfurar esta profundidade. A soma do número de golpes necessários para a penetração do amostrador nos últimos 30 cm é o que dará o índice de resistência do solo na profundidade ensaiada.

Intercalados às operações de amostragem, deve-se utilizar o trado cavadeira ou o helicoidal. A perfuração com trado é feita até se atingir o nível d'água ou até que avanço seja inferior a 5 cm após 10 minutos de operação. Depois de atingido o nível d'água, a perfuração prossegue com a técnica de circulação de água, conhecida também como percussão e lavagem. Uma bomba d'água motorizada injeta água na extremidade inferior do furo, através de uma haste de menor diâmetro, por dentro do tubo de revestimento, e na extremidade existe um trépano com ponto afiado e com dois orifícios pelos quais a água sai com pressão.

As amostras coletadas a cada metro são guardadas, etiquetadas e enviadas ao laboratório para análise táctil-visual do material. Por fim, apresenta-se um relatório final que inclui a planta do local da obra com cotas e coordenadas das sondagens, o perfil individual de cada sondagem e/ou seções do subsolo, indicando a resistência do solo a cada metro

perfurado, sua classificação, tipo, espessura do material e a posição do nível d'água quando encontrados durante a perfuração.

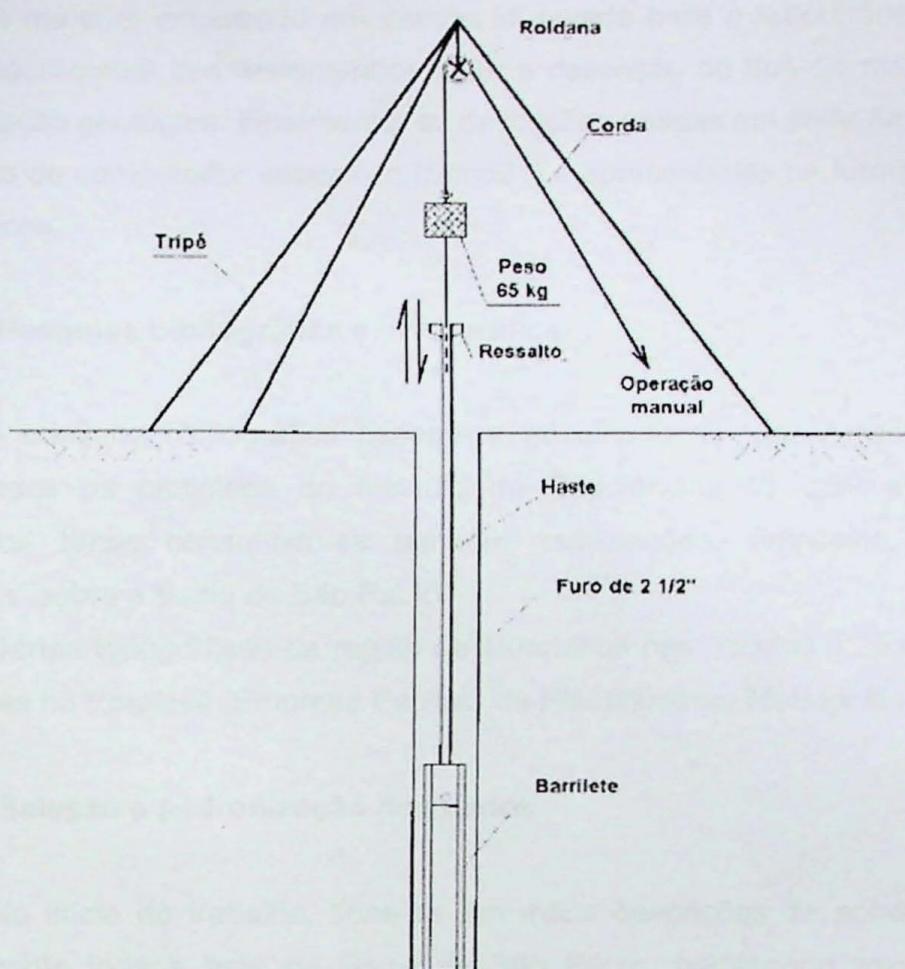


Figura 4. Modelo do equipamento de sondagem.

5. Desenvolvimento do Trabalho

Basicamente, este trabalho foi dividido nas seguintes etapas:

- a) trabalhos de campo e análise das amostras em laboratório realizadas ao longo de 2003;
- b) pesquisa bibliográfica e cartográfica de fevereiro a junho de 2003;
- c) seleção e padronização dos dados nos meses de março, abril e maio de 2003;
- d) confecção de perfis e mapas durante o 2º semestre de 2003.

5.1. Trabalhos de campo e análise das amostras em laboratório

Os trabalhos de campo compreenderam o acompanhamento das sondagens a percussão no Município de Guarulhos. Em campo, o trabalho baseou-se na locação dos

furos de sondagem no terreno, no acompanhamento e fiscalização da execução das sondagens, e na coleta de amostras e anotação dos respectivos valores de resistências à penetração obtidas durante o ensaio SPT.

O material amostrado em campo foi levado para o laboratório, onde se efetuou a análise táctil-visual dos testemunhos, com a descrição do tipo de material coletado e sua interpretação geológica. Finalmente, as descrições obtidas em cada furo foram digitadas em programa de computador específico (Sond21) e apresentadas na forma de perfis geológico-geotécnicos.

5.2. Pesquisa bibliográfica e cartográfica

A consulta bibliográfica baseou-se no estudo de teses, dissertações e trabalhos encontrados na biblioteca do Instituto de Geociências da USP e livros cedidos pelo orientador, tendo consultado-se também, publicações, simpósios, reuniões e "mesas redondas" sobre a Bacia de São Paulo.

Cartas topográficas da região de Guarulhos nas escalas 1:25.000 e 1:10.000 foram adquiridas na Emplasa (Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano SA).

5.3. Seleção e padronização dos dados

No início do trabalho, tinha-se em mãos descrições de sondagens realizadas em praticamente toda a área da Bacia de São Paulo, perfazendo mais de 6.000 furos de sondagem. A fim de se manter a viabilidade deste projeto, optou-se pela seleção de uma área específica da bacia, a região de Guarulhos, por esta atender às exigências de trabalho contendo um bom número de sondagens e informações dos litotipos.

Concomitante à análise do material bibliográfico e cartográfico, realizou-se a seleção e a padronização dos dados, locando-se também as sondagens nas cartas topográficas de Guarulhos em escala 1:25.000.

5.4. Confecção de perfis e mapas

A locação das sondagens nas cartas topográficas de Guarulhos em escala 1:25.000 permitiu a visualização da distribuição dos furos, escolhendo-se assim, os traçados mais adequados para a execução de perfis geológicos e geotécnicos, com o intuito de se esboçar as principais feições estruturais e litotípicas da área.

Para a confecção do mapa de espessuras dos sedimentos quaternários, levou-se em conta, além da distribuição e densidade dos furos, a presença de sedimentos quaternários

no local e do “embasamento” destes, onde se considerou como “embasamento”, tanto os sedimentos terciários como o próprio embasamento cristalino.

Os perfis e mapas foram confeccionados utilizando-se os softwares Surfer8, Autocad e Sond21, tendo sido desenhados também à mão. Os mapas de espessuras de sedimentos e de contorno topográfico 3D do embasamento foram executados no software Surfer8, utilizando-se as coordenadas UTM's e cotas das sondagens e as respectivas espessuras de sedimentos.

6. Resultados Obtidos

A análise e a interpretação dos testemunhos de sondagem com suas respectivas resistências à penetração permitiu uma boa divisão e caracterização superficial dos depósitos sedimentares que preenchem a bacia e seu embasamento na região de Guarulhos.

Os materiais encontrados são de cinco tipos, sendo denominados como depósitos quaternários (aluviões e coluviões recentes), sedimentos terciários da Bacia de São Paulo (STBSP), solos residuais (SR) e de alteração de rochas (SAR), e ainda os aterros superficiais (AT).

6.1. Depósitos quaternários

Formados por depósitos fluviais (aluviões) e coluviais recentes, são constituídos por sedimentos geralmente pouco consolidados, deformáveis e plásticos, apresentando comportamento geotécnico ruim.

Nas sondagens estudadas, os aluviões foram os mais encontrados dentre os depósitos quaternários, sendo representados ao longo das planícies aluviais e baixos terraços da região.

Em algumas poucas sondagens realizadas a norte de Guarulhos foram encontrados depósitos coluviais descontínuos, gerados por escorregamentos, sendo depositados nos sopés de encostas e serras presentes na parte norte do município.

6.1.1. Depósitos fluviais (aluviões recentes - AL)

Os sedimentos encontrados que formam os aluviões recentes são de três tipos: argilas orgânicas, argilas plásticas, e areias com ou sem seixos e pedregulhos.

As argilas orgânicas têm coloração preta/cinza escura/marrom escura, apresentando teores variáveis de areia, podendo conter ou não detritos vegetais, predominando na região de Guarulhos, argilas orgânicas pouco arenosas com detritos vegetais. São sedimentos

extremamente plásticos, colapsíveis, inconsolidados e altamente deformáveis, com comportamento geotécnico ruim, ocorrendo em alguns casos durante o ensaio SPT, a penetração do amostrador em mais de 50 cm neste material apenas com o peso do equipamento, indicando uma resistência à penetração praticamente nula.

As argilas plásticas são de coloração mais clara do que as argilas orgânicas, sendo geralmente cinza claras e/ou marrom acinzentadas, e com teores variáveis de areia. Quanto ao comportamento geotécnico, a alta plasticidade e a deformabilidade destas argilas tornam seu comportamento geotécnico ruim, bastante semelhante ao das argilas orgânicas.

Os níveis arenosos são formados por areias finas, médias e/ou grossas, com teores variáveis de argila, predominando, entretanto, areias finas a médias pouco argilosas. Podem ocorrer ainda nestes níveis, seixos e pedregulhos de tamanhos diversos. Do ponto de vista geotécnico, estes níveis apresentam geralmente baixas resistências à penetração, porém, a presença de pedregulhos e de seixos pode impedir o avanço da perfuração.

Por serem os sedimentos mais recentes, juntamente com os coluvões, estes depósitos posicionam-se no topo da coluna estratigráfica, podendo-se localizar sobre os sedimentos terciários da bacia, ou diretamente depositados sobre o embasamento.

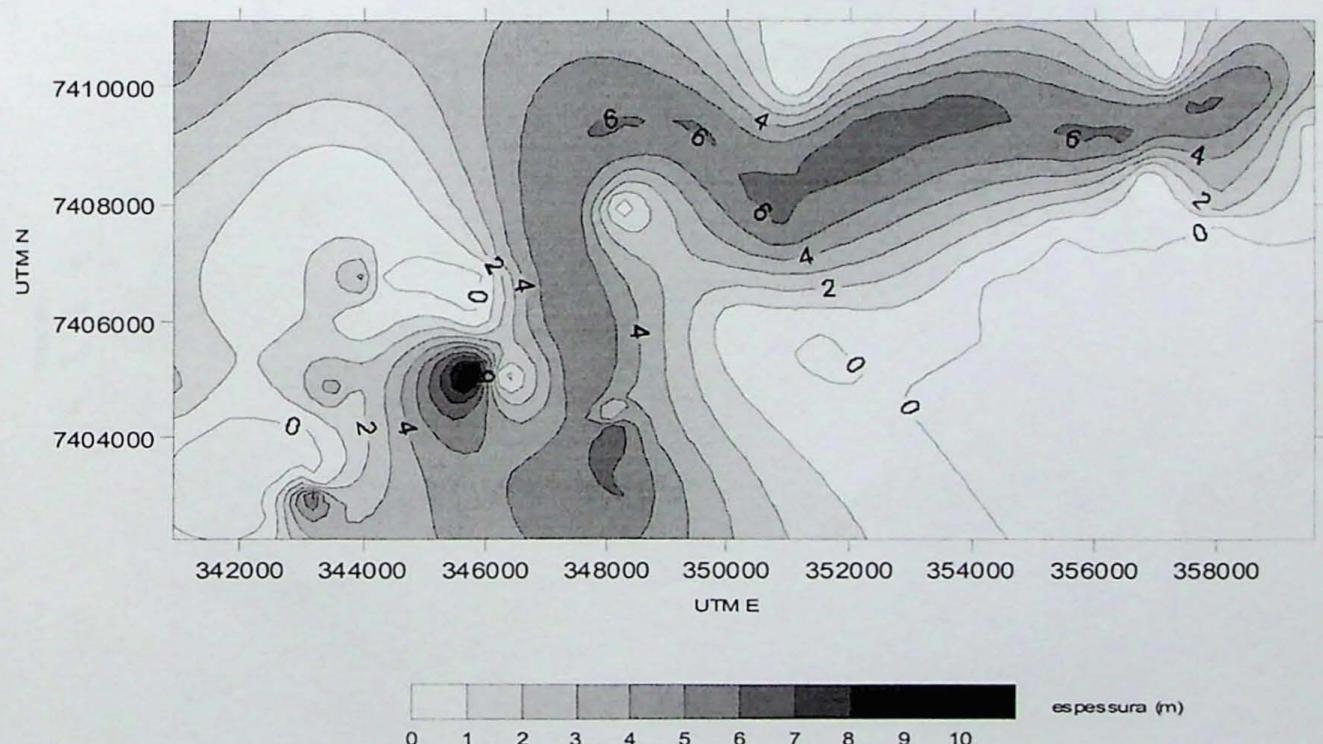


Figura 5. Mapa de espessuras de sedimentos quaternários na região de Guarulhos.

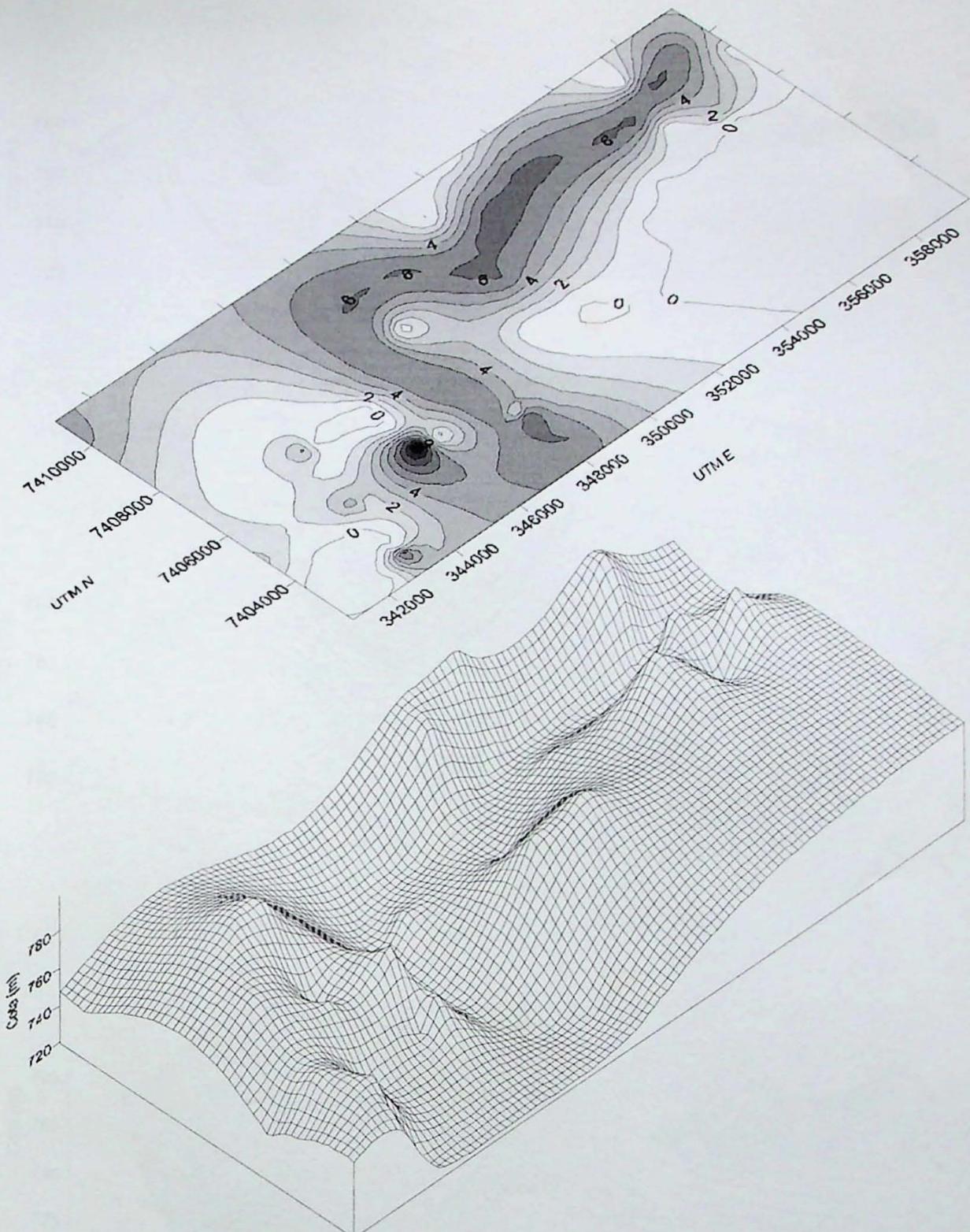
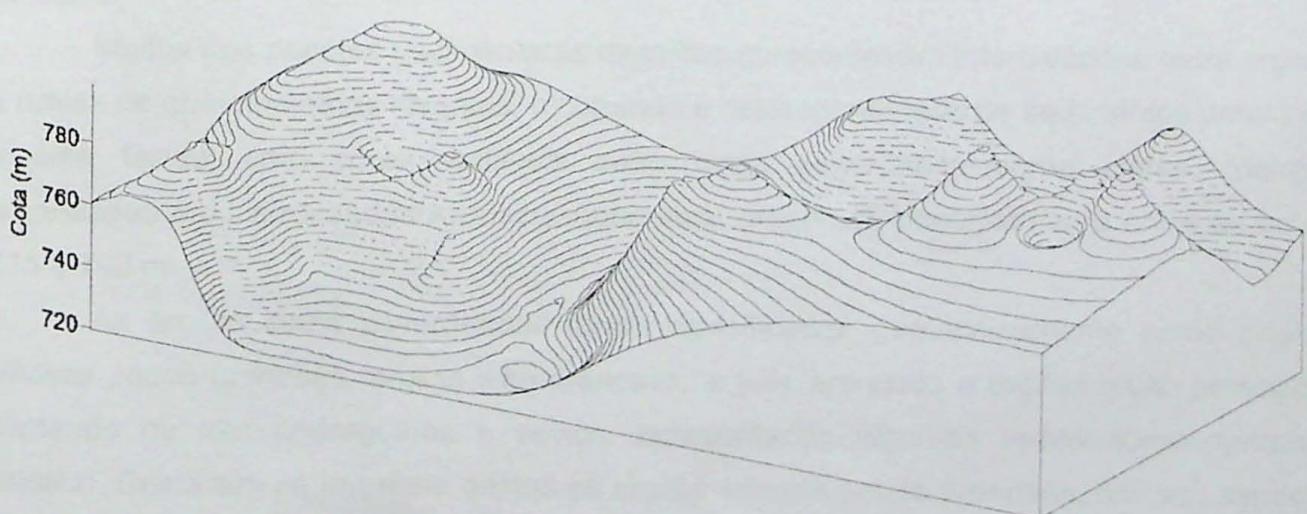
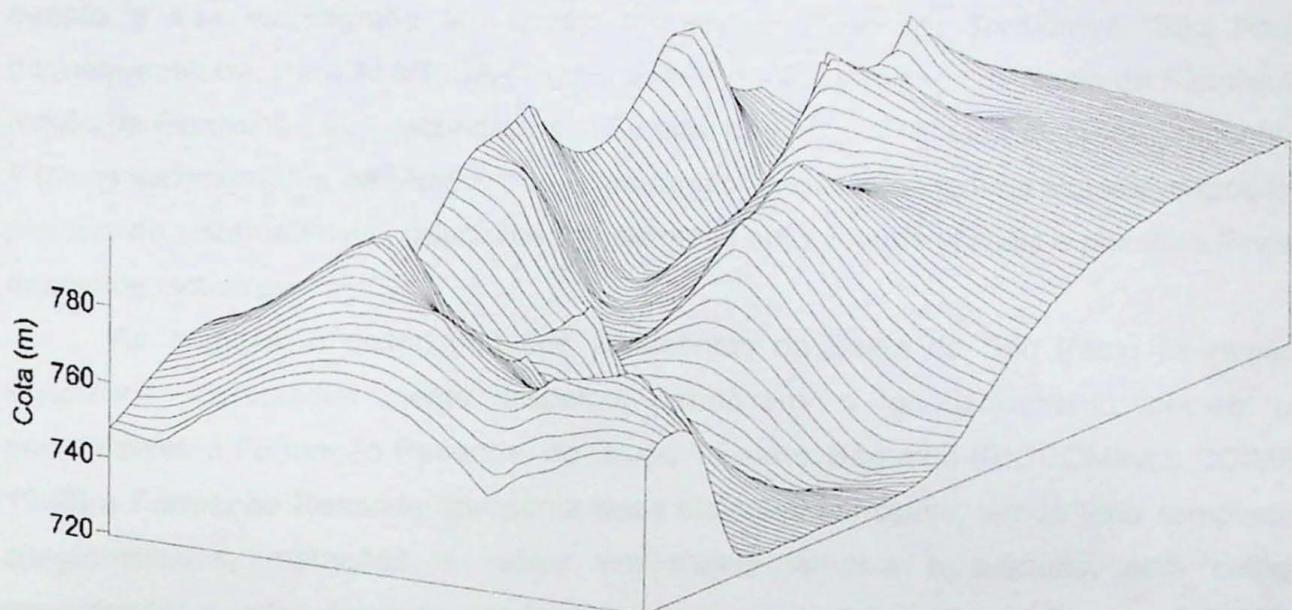
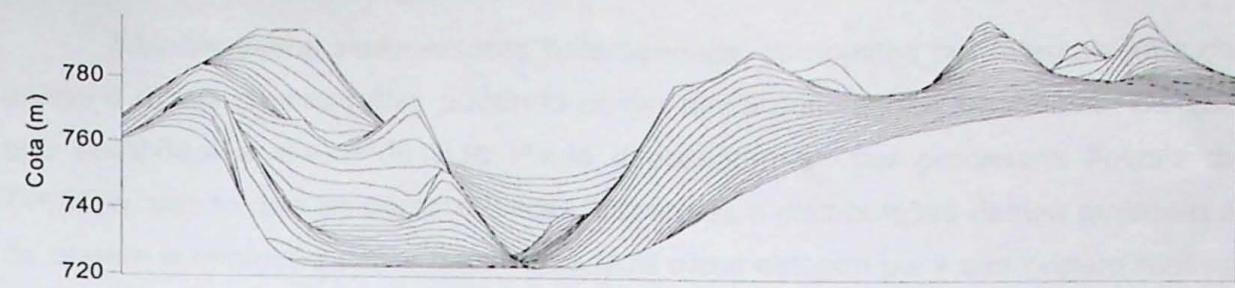


Figura 6. Mapa de espessura de aluviões quaternários com respectivo relevo 3D do embasamento destes depósitos. O Rio Baquirivu-Guaçu corre entalhado em meio aos blocos altos e baixos, podendo-se ver a distribuição dos sedimentos quaternários ao longo deste, que parte de NE, sofre deflexão na porção central da área direcionando-se para o centro-sul da região.



Figuras 7, 8 e 9. Diferentes projeções do embasamento dos aluviões quaternários.

6.2. Sedimentos terciários da Bacia de São Paulo (STBSP)

São depósitos sedimentares heterogêneos, compostos por intercalações de argilas, areias e níveis de cascalho, podendo conter ainda concreções limoníticas. Os sedimentos que compõem a Bacia de São Paulo depositaram-se por processos fluviais durante o Terciário, sendo que as características, estruturas e distribuições destes guardam a história da origem e evolução desta bacia, que teve como estopim para sua origem reativações de antigas falhas presentes no embasamento cristalino (RICCOMINI, 1989).

Segundo RICCOMINI *et al.* (1992), as camadas de São Paulo podem ser divididas quanto à sua estratigrafia em quatro formações: Resende, Tremembé, São Paulo e Itaquaquecetuba. Para ALMEIDA (1958), os sedimentos terciários da Bacia de São Paulo na região de Guarulhos são encontrados até a cota de 850 m. MELO *et al.* (1986), reconhecem 4 fácies sedimentares na região: depósitos fanglomeráticos de leques aluviais, depósitos de planície de sistema fluvial, depósitos transicionais entre leques aluviais e planícies fluviais, e depósitos lacustres.

As análises e descrições dos sedimentos da Bacia de São Paulo na região de Guarulhos executadas neste trabalho permitiram o enquadramento destes como pertencentes à Formação Resende, do Grupo Taubaté. Segundo (RICCOMINI & COIMBRA, 1992) a Formação Resende apresenta duas litofácies principais, sendo uma composta por conglomerados, matações e seixos em matriz lamítica e arenosa, com coloração esverdeada, e outra, formada por lamitos arenosos de coloração verde esbranquiçada ou acinzentada, com estratificações cruzadas. Ela encerra depósitos fanglomeráticos (leques aluviais) que gradam para depósitos relacionados à planície aluvial de rios entrelaçados (braided).

Muitos dos pacotes sedimentares descritos apresentavam intercalações entre argilas e areias de granulometrias diversas, mostrando a heterogeneidade de sedimentos dentro da mesma fácie, com cores variáveis entre cinza esverdeadas/verde claras, marrom amareladas e/ou arroxeadas/vermelhas/amarelas, presentes principalmente entre as cotas 715 e 790 m.

As argilas cinza esverdeadas foram classificadas geotecnicalemente como argilas siltosas pouco arenosas, argilas silto-arenosas, argilas arenosas e argilas muito arenosas, contendo ou não pedregulhos e seixos, apresentando algumas vezes comportamento plástico. Destacam-se em meio destas as argilas siltosas pouco arenosas, por seu aspecto homogêneo e comportamento geotécnico bom, sendo em sua maioria rijas e duras, com altos valores de resistência à penetração.

As fácies mais grossas da Formação Resende compostas por areias pouco argilosas encontradas nas sondagens deste trabalho podem ser, possivelmente, relacionadas às

"areias basais", necessitando-se, entretanto, de estudos mais detalhados para se caracterizar se estas são ou não as "areias basais".

Fato importante e que deve ser salientado, é a cota máxima de 725 m encontrada neste trabalho para a ocorrência destas areias. Caso sejam as "areias basais", corroboram com o admitido por VARGAS (1992) para a cota máxima de ocorrência destas a 725 m, ampliando também seus locais de ocorrência.

As espessuras de sedimentos terciários encontrados neste estudo foram bastante distintas, onde algumas perfurações atingiram profundidades de 50 m sem alcançar o embasamento e, em outros locais, este foi alcançado a 3 m de profundidade, mostrando a variedade de espessuras entre os pacotes sedimentares. Segundo DINIZ (1996), na parte central e sudoeste do Graben do Baquirivu-Guaçu ocorre grande número de falhas normais escalonadas, com a espessura do pacote sedimentar variando bastante, entre 30 e 240 m. Segundo RICCOMINI *et al.* (1992), as maiores espessuras de sedimentos terciários encontram-se a norte da bacia (região de Guarulhos), e a leste (Moóca, Tatuapé e Vila Formosa), ultrapassando os 170 m.

6.2.1. Concreções e couraças limoníticas

As concreções e couraças limoníticas foram identificadas em alguns locais da região (figura 10), ocorrendo principalmente na interface entre os pacotes de argilas e os níveis arenosos. Podem aparecer como crostas de 1 a 3 cm de espessura formando delgadas couraças na interface entre sedimentos de granulometrias diferentes, ou então, na forma de pequenas concreções milimétricas a centimétricas disseminadas em meio aos sedimentos.

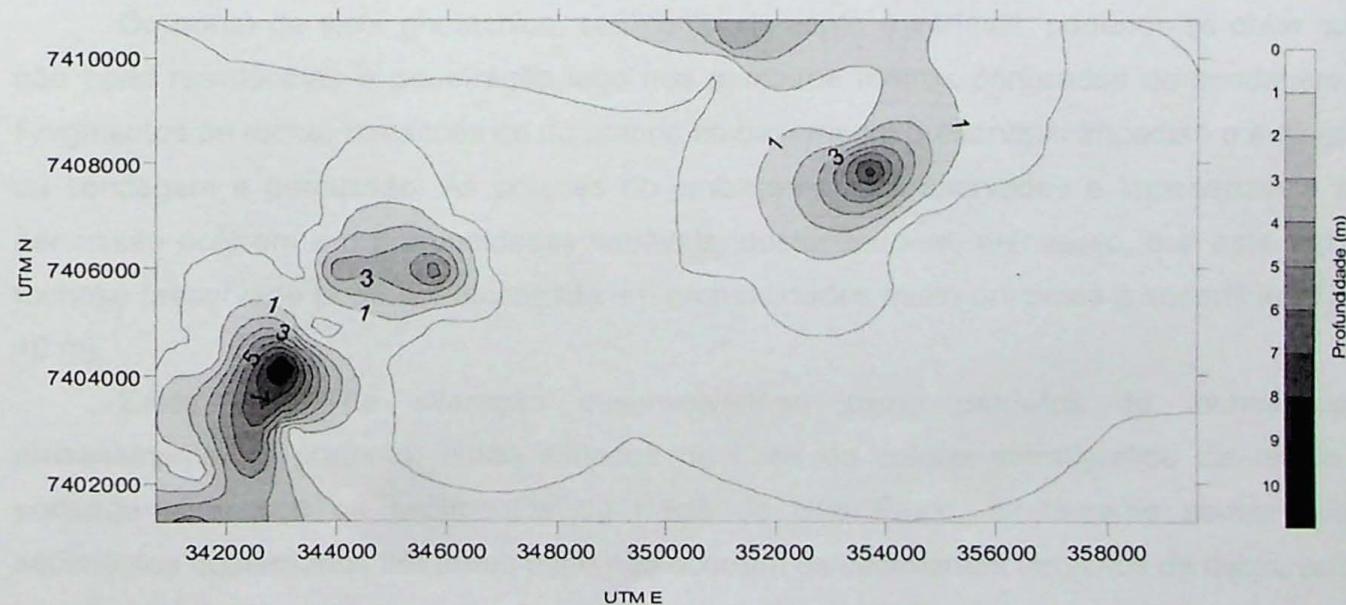


Figura 10. Mapa de distribuição de couraças e concreções limoníticas, em metros abaixo da superfície.

6.3. Solos residuais (SR) e solos de alteração de rocha (SAR)

Os solos residuais (SR) reconhecidos neste trabalho são formados principalmente por argilas silto-arenosas e argilas siltosas pouco arenosas, e em menor escala argilas arenosas, apresentando cores marrom-amareladas e/ou marrom avermelhadas. Estes solos são um estágio bastante avançado de alteração das rochas do embasamento, onde não se pode reconhecer texturas, estruturas e minerais das rochas que os originaram.

De modo geral, seu comportamento geotécnico é ruim, apresentando índices de resistência à penetração baixos entre 2 e 5 golpes durante o ensaio SPT, não atendendo assim as exigências para a implantação de fundações.

Suas espessuras variam de 0,5 m até 4 m, ocorrendo em sua maioria nas porções superficiais do terreno em profundidades de até 5 m, e podem ser encontrados na interface entre os sedimentos da bacia e seu embasamento, ou diretamente expostos à superfície sobre os solos de alteração de rocha.

Os solos de alteração de rocha (SAR) são formados por siltes areno-argilosos e siltes argilo-arenosos, oriundos da alteração de filitos, xistos, quartzitos, calciosilicáticas, gnaisses e granito-gnaisses que compreendem o embasamento da Bacia de São Paulo.

Apesar do alto grau de alteração, pode-se notar ainda as principais texturas e estruturas metamórficas preservadas, como texturas granolepidoblásticas e porfiroblásticas, clivagens de crenulação, arcos poligonais, sigmoides e estiramento de minerais, sendo reconhecíveis minerais como sillimanita, biotita, granada, muscovita, quartzo e feldspato (caulim). Estes solos de alteração têm colorações que podem variar entre marrom-avermelhada, arroxeadas, marrom-amarelada, cinza-amarelada e rosada, ocorrendo por vezes porções caulíníticas brancas e fragmentos de rocha.

Do ponto de vista geotécnico, seu comportamento é variável, podendo-se obter ou não boas resistências à penetração logo nos primeiros metros perfurados da sondagem. Fragmentos de rocha, matações ou do próprio embasamento preservado impedem o avanço da sondagem a percussão. As porções do embasamento preservadas e impenetráveis à percussão ocorrem em profundidades variáveis, destacando-se, entretanto, que este topo rochoso preservado pode ser alcançado em profundidades muito próximas à superfície (5 a 10 m).

Estes solos de alteração desenvolvem-se como produtos de rochas do embasamento, e, portanto, estão situados na base da coluna estratigráfica da região, podendo estar sob os sedimentos da Bacia de São Paulo, diretamente abaixo dos sedimentos quaternários em áreas onde não ocorrem os sedimentos terciários da bacia, sob os solos residuais ou, por vezes, aflorar diretamente à superfície.

6.4. Aterros (AT)

O alto grau de urbanização da região gerou a necessidade de mobilização das porções superficiais do terreno, fazendo com que praticamente toda a área urbanizada do Município de Guarulhos apresente uma camada superficial de aterro com espessuras variáveis entre 0,10 m e 10 m, predominando, porém, aterros com 1 a 2 m de espessura.

São diversos os materiais utilizados para aterro, podendo ser argilas, siltes e areias, contendo ou não entulhos e matéria orgânica. Do ponto de vista geotécnico, estes níveis de aterro são ruins. Para a correta caracterização do terreno, deve-se ultrapassar estes níveis aterrados durante a execução das sondagens, a fim de se conhecer as condições das camadas naturais situadas abaixo destas porções aterradas.

6.5. Considerações geotécnicas

As investigações geológico-geotécnicas realizadas, se não permitiram uma caracterização completa em profundidade dos sedimentos da Bacia de São Paulo em Guarulhos, devido a limitações impostas pelas baixas profundidades (no máximo até 45 m em cada sondagem), por outro lado, auxiliaram na identificação a caracterização dos diferentes materiais presentes na região, tentando-se enfocar da maneira mais abrangente possível as condições geológicas e geotécnicas das camadas superficiais da bacia.

Dentre os sedimentos terciários encontrados destacam-se, do ponto de vista geotécnico, as argilas siltosas pouco arenosas cinza esverdeadas (figura 11), por apresentarem bons valores de resistência à penetração, sendo geralmente argilas rijas, duras e homogêneas, e, mesmo quando plásticas, apresentam valores de resistência à penetração satisfatórios.

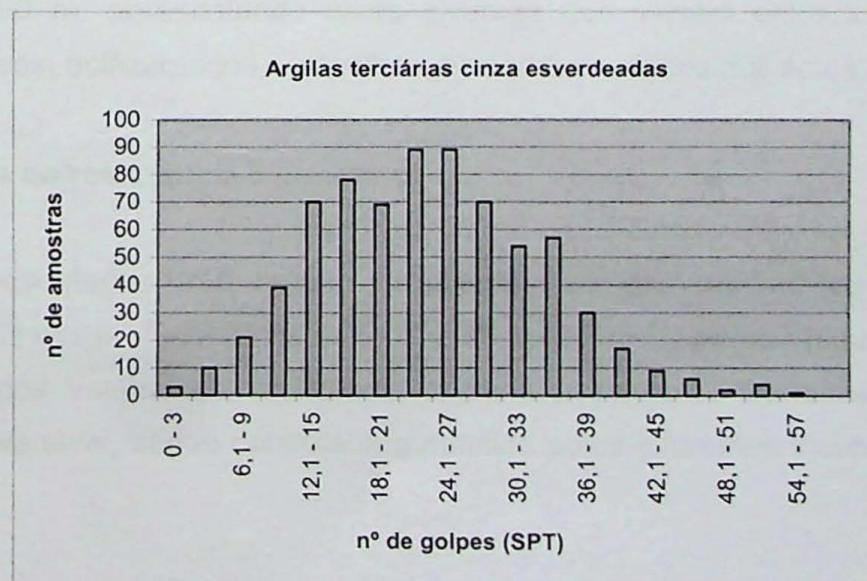


Figura 11. Histograma dos valores de resistência à penetração para as argilas terciárias cinza esverdeadas.

Os depósitos quaternários, compostos principalmente por argilas orgânicas e argilas plásticas caracterizam-se geotecnicalemente por serem sedimentos extremamente plásticos, colapsíveis, inconsolidados e altamente deformáveis, com comportamento geotécnico ruim e apresentando baixos valores de resistência à penetração (figura 12).

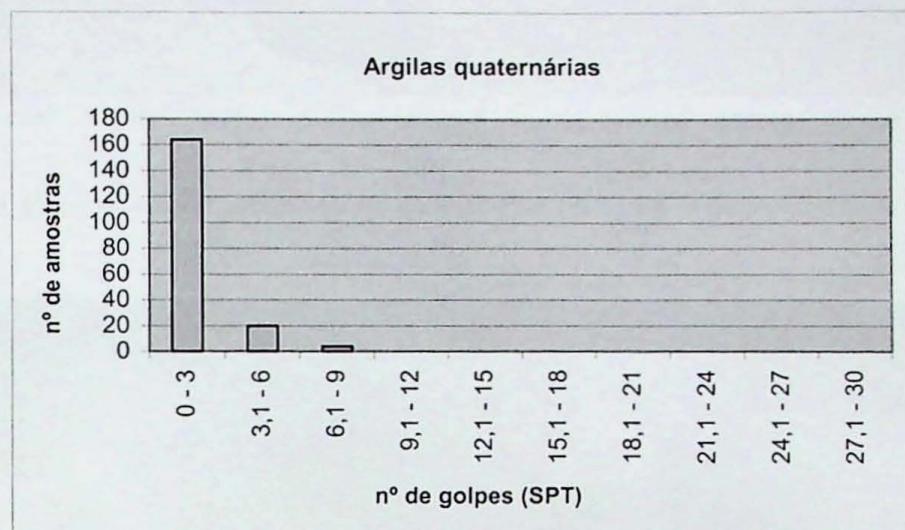


Figura 12. Histograma dos valores de resistência à penetração para as argilas quaternárias.

Nas perfurações onde se encontraram níveis argilosos intercalados com areias, os valores de resistência, de maneira geral, apresentaram-se menos satisfatórios (menos de 15 golpes), muitas vezes com quedas nos valores SPT nas porções mais profundas, justamente pela grande alternância entre estes níveis com comportamentos heterogêneos. Na região estudada as intercalações entre argilas e areias ocorrem principalmente entre as cotas 725 e 790 m, apresentando cores diversas que variam entre tons amarelados, arroxeados, róseos, acinzentados, vermelhos, etc, característicos dos solos tropicais.

6.5.1. Mapas de resistência à penetração

São apresentados três mapas de distribuição dos valores de resistências a penetração (SPT) nas profundidades de 5, 10 e 15 m abaixo do terreno (figuras 13, 14 e 15). A distribuição dos valores de resistência a penetração tanto lateralmente quanto em profundidade é variável, sendo controlada e definida pelos diferentes litotipos presentes na região.

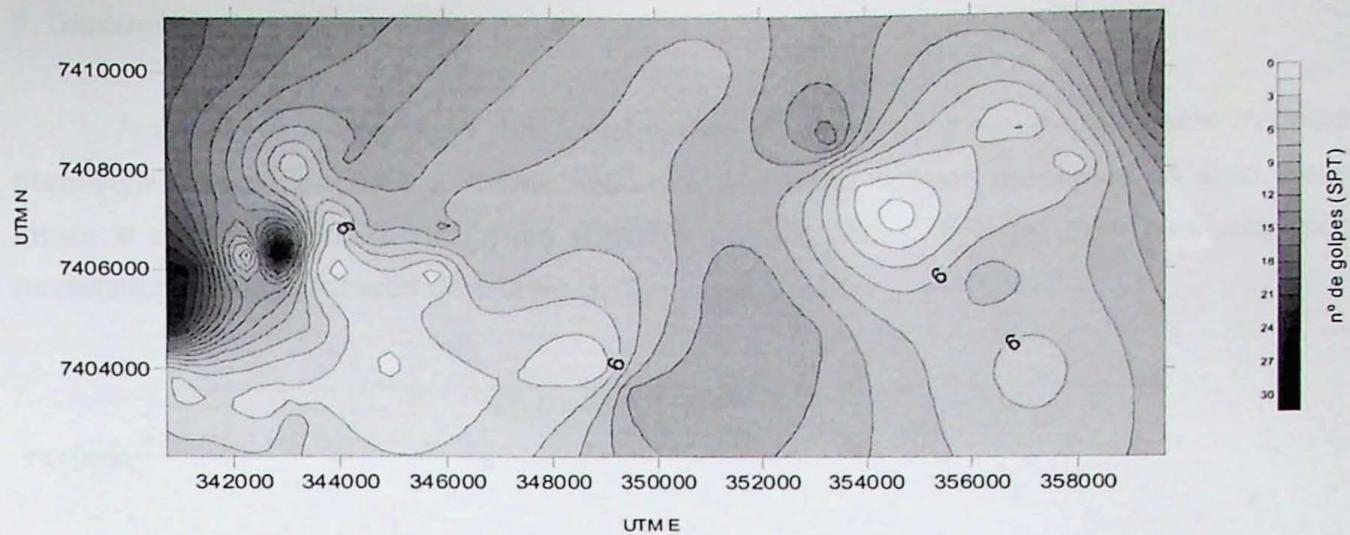


Figura 13. Mapa de valores de resistência à penetração (SPT) a 5 m de profundidade no terreno.

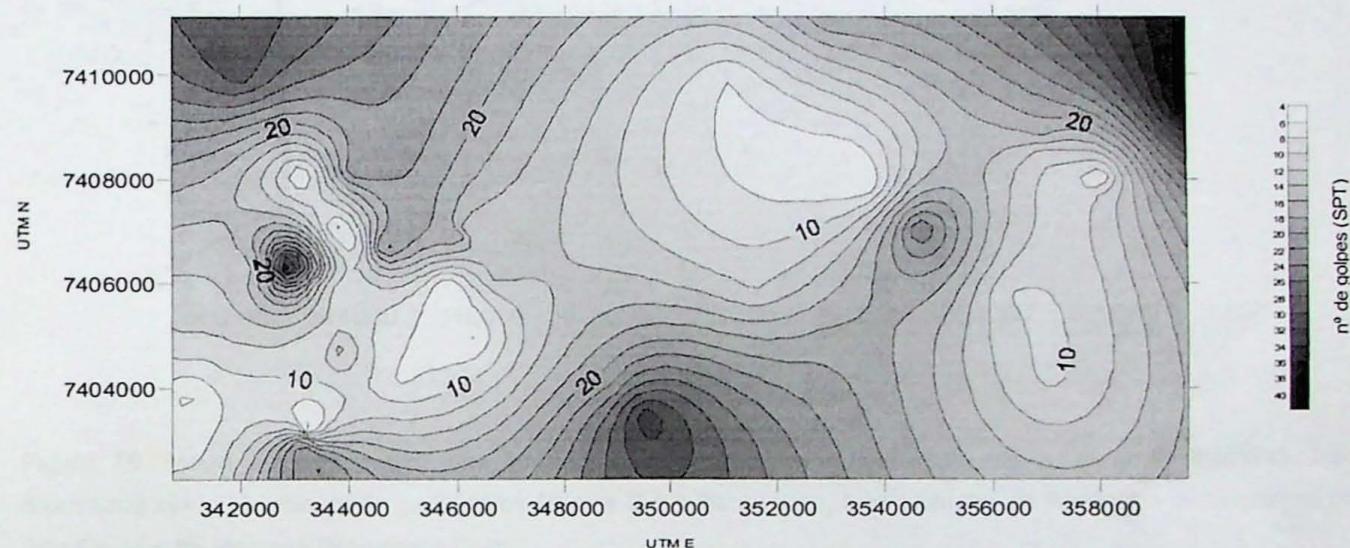


Figura 14. Mapa de valores de resistência à penetração (SPT) a 10 m de profundidade no terreno.

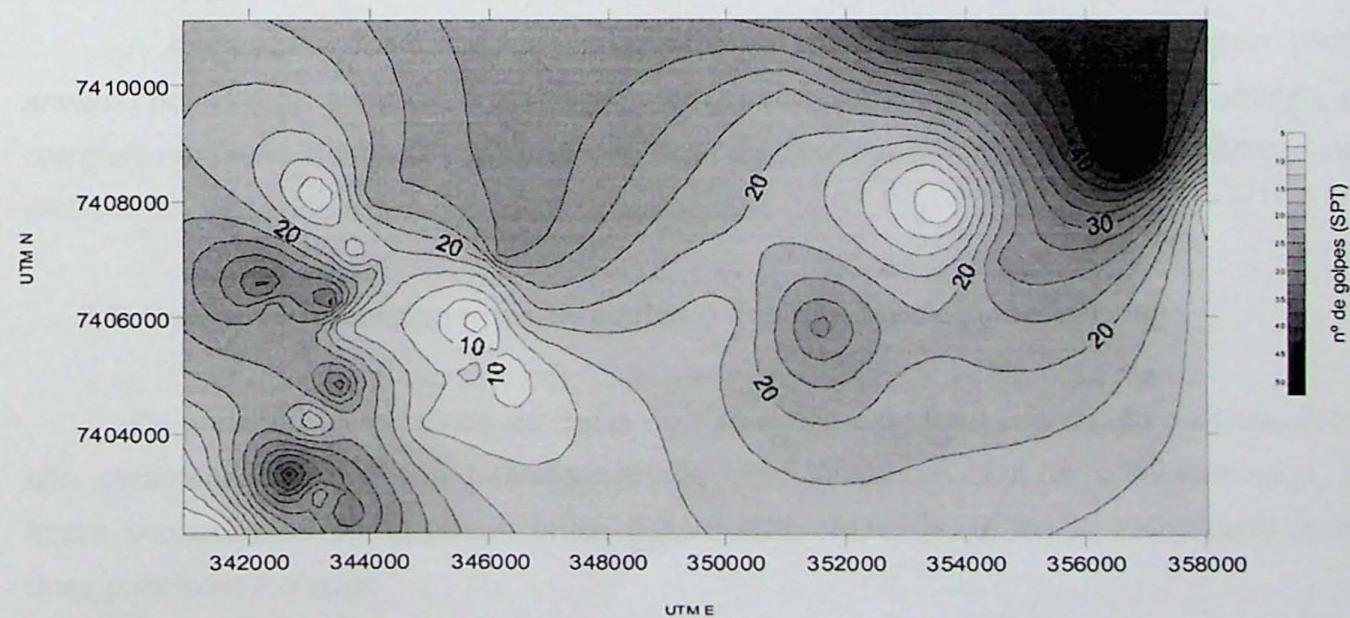


Figura 15. Mapa de valores de resistência à penetração (SPT) a 15 m de profundidade no terreno.

7. Discussão dos Resultados

A análise e a descrição dos testemunhos de sondagens realizadas neste trabalho permitiu a caracterização e a identificação dos diferentes litotipos presentes na área, seus locais e cotas de ocorrência, suas relações estratigráficas, e seus principais aspectos geotécnicos obtidos através do ensaio SPT.

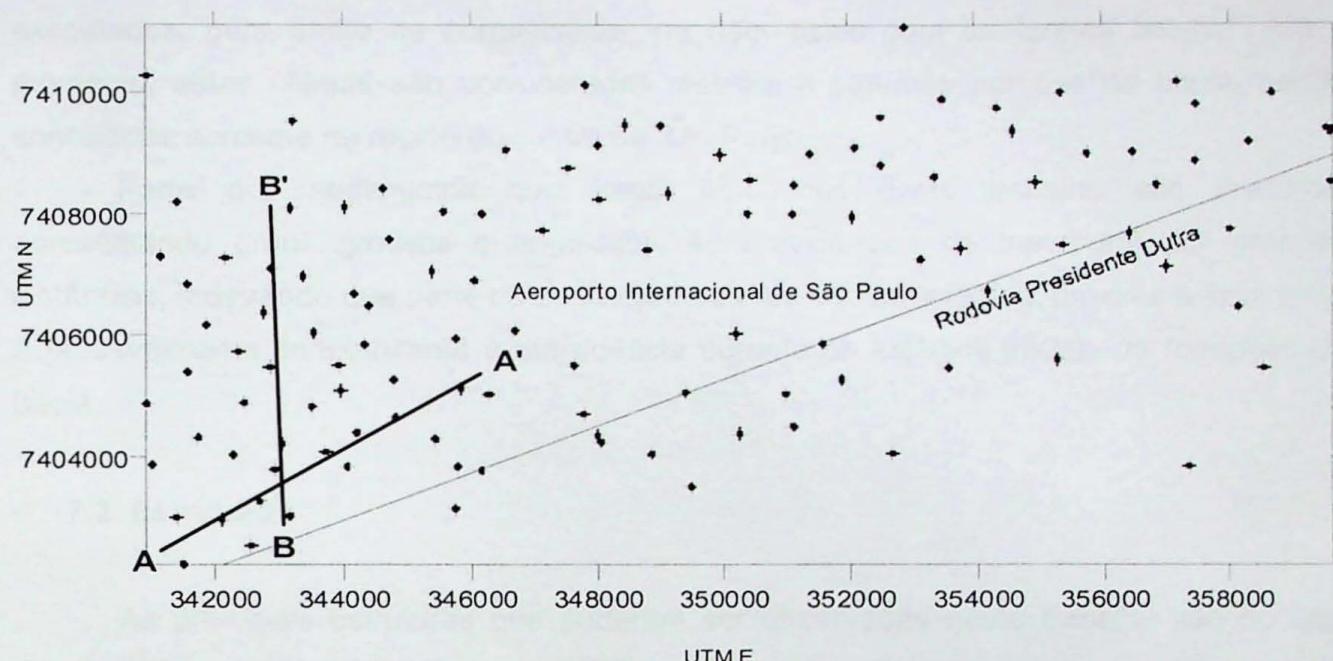


Figura 16. Mapa de distribuição das sondagens executadas em Guarulhos utilizadas neste trabalho. São mostrados ainda os dois perfis geológicos (A-A' e B-B'), bem como, a localização do Aeroporto Internacional de São Paulo e da Rodovia Presidente Dutra.

A integração dos furos de sondagens em perfis determinados da região (vide anexos) possibilitou a visualização de importantes estruturas presentes no embasamento, a compartimentação deste nestas áreas, mostrando também a variação das espessuras de sedimentos terciários e dos depósitos quaternários.

7.1. Geologia dos sedimentos terciários e dos depósitos quaternários

Os sedimentos terciários da Bacia de São Paulo estudados na região de Guarulhos são caracterizados por sua heterogeneidade granulométrica, textural e mineralógica, e foram enquadrados como pertencentes à Formação Resende, tendo-se identificado suas duas principais litofácies.

A fácie mais argilosa da Formação Resende pode ser exemplificada neste trabalho pelas argilas cinza esverdeadas contendo ou não fragmentos de rocha imaturos, seixos e

pedregulhos, disseminados em meio à matriz lamítica cinza esverdeada. A litofácie mais arenosa é exemplificada pelas areias com teores variáveis de argila que ocorrem intercaladas a pacotes argilosos, formando os "solos variegados" presentes entre as cotas 715 e 790 m.

As areias encontradas nas cotas 715-725 m caracterizam-se por serem areias de granulações variáveis, geralmente médias e/ou grossas, pouco argilosas, e de cor cinza em sua maioria. Para sua melhor caracterização, estudos mais detalhados devem ser executados, para então se correlacionar, ou não, estas com as "areias basais". Até o momento, estas últimas são consideradas restritas a algumas porções da bacia, sendo conhecidas somente na região do centro de São Paulo.

Parte dos sedimentos que foram estudados neste trabalho são imaturos, apresentando grãos grossos e angulosos, sem evidências de transporte por grandes distâncias, mostrando que parte da deposição ocorreu de forma rápida, próxima à área fonte e provavelmente concomitante à subsidência durante os estágios iniciais de formação da bacia.

7.2. Estruturas

As principais estruturas que puderam ser observadas neste trabalho são de dois tipos: as estruturas metamórficas e as falhas normais do embasamento.

As estruturas metamórficas observadas estão preservadas nos solos de alteração de rocha (SAR), onde a análise dos testemunhos permitiu a identificação de foliações e suas superposições, evidenciando diferentes estágios de deformação. Ocorrem ainda o desenvolvimento de crenulações, arcos poligonais, estiramento e lineação dos minerais, e aparecimento de texturas miloníticas, podendo-se notar também a presença de alguns minerais como biotita, muscovita, sillimanita, quartzo, granada e feldspato.

Apesar das baixas profundidades de investigação obtidas nas sondagens de simples reconhecimento utilizadas neste trabalho, a execução de perfis geológicos mostrou, provavelmente, uma das principais estruturas presentes no embasamento da bacia, as falhas normais. Estas controlam, em grande parte, a distribuição dos diferentes litotipos e espessuras de sedimentos presentes na área, gerando blocos altos e baixos e expondo porções do embasamento junto à superfície em meio aos sedimentos terciários.

Mais detalhadamente, dois perfis geológicos desenhados à mão (vide anexos), mostram estas importantes feições estruturais e a variedade de litotipos da região. O perfil A-A', de direção SW/NE e coordenadas UTM 7401500N / 341260E e 7405625N / 346625E, situa-se próximo à Via Dutra em corte paralelo a esta, e mostra, a existência de um bloco alto do embasamento com a exposição deste junto à superfície, e, uma sucessão de falhas normais com abatimento de blocos e diferentes espessuras dos sedimentos terciários.

O perfil B-B', de direção aproximadamente N-S e coordenadas UTM 7402300 N / 343470 E e 7408320 N / 343315, passa pela região do centro de Guarulhos. Assim como no perfil A-A', este, permite a observação de porções do embasamento falhadas com componentes normais, mostrando o abatimento de blocos do embasamento e com variação nas espessuras dos sedimentos terciários.

As duas principais estruturas analisadas, descritas e interpretadas neste trabalho, condizem com o proposto por RICCOMINI (1989), onde as estruturas identificadas na área da Bacia de São Paulo podem ser agrupadas em dois conjuntos principais, um compreendendo aquelas do Pré-Cambriano a Eopaleozóico, como as foliações metamórfica e de transposição, zonas de cisalhamento e juntas, e outra, correspondente às estruturas de reativação, afetando o embasamento pré-cenozóico e os sedimentos.

8. Conclusões

O estudo sobre a geologia e a geotecnica da Bacia de São Paulo na região de Guarulhos permitiu a caracterização das principais feições superficiais das "camadas de São Paulo" e distinção dos principais litotipos e estruturas superficiais desta importante região da metrópole paulistana.

Os sedimentos analisados têm como principal característica sua heterogeneidade e variabilidade vertical e lateral, apresentando comportamentos geotécnicos diversos.

Os depósitos quaternários encontram-se presentes principalmente ao longo das principais drenagens e baixos terraços da região, com espessuras entre 1 e 12 m, sendo compostos principalmente por argilas orgânicas e areias pouco argilosas com pedregulhos, apresentando de maneira geral, comportamento geotécnico ruim.

Os sedimentos terciários são compostos por intercalações entre argilas e areias, com duas litofácies principais bem marcadas, uma de matriz lamítica contendo ou não seixos, pedregulhos e fragmentos de rocha, e outra, mais arenosa, com grande número de intercalações de granulometrias diferentes, que podem influenciar no comportamento geotécnico destes sedimentos abaixando os valores de SPT.

As principais estruturas podem ser vistas nos perfis geológicos, notando-se a presença de falhas com componentes normais que formaram blocos altos e baixos. Estas estruturas foram geradas pela reativação de antigas descontinuidades presentes no embasamento pré-cambriano, formando assim, espaços para a deposição na bacia durante o Terciário, que em grande parte, se deu concomitante à sua subsidência.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F.F.M. 1958. O Planalto Paulistano. In: AZEVEDO, A. (ed.). *A Cidade de São Paulo*. São Paulo, Companhia Editora Nacional. p. 113-167.
- ALMEIDA, F.F.M. 1976. The System of Continental Rifts Bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* (suplemento). **48**:15-26.
- COZZOLINO, V. M. N. 1969. *A Bacia Sedimentar de São Paulo*. São Paulo, 132 p. (Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, USP).
- COZZOLINO, V. M. N. 1980. Considerações Sobre o Conceito de Camadas sob o Ponto de Vista Geotécnico, na Bacia de São Paulo. In: MESA REDONDA: ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS DA BACIA SEDIMENTAR DE SÃO PAULO. São Paulo, 1980. *Publicação Especial*. São Paulo, ABGE/SBG-SP. p.47-52.
- DINIZ, H.N. 1996. *Estudo do Potencial Hidrogeológico da Bacia Hidrográfica do Rio Baquirivu-Guaçu, Municípios de Guarulhos e Arujá, SP*. São Paulo, 296p. (Tese de Doutoramento, Instituto de Geociências, USP).
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. 1975. The Ribeira Folded Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, **5**:257-266.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R. 1980. Origem e Evolução da Bacia Sedimentar de São Paulo. In: MESA REDONDA: ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS DA BACIA SEDIMENTAR DE SÃO PAULO. São Paulo, 1980. *Publicação Especial*. São Paulo, ABGE/SBG-SP. p.5-13.
- MELO, M.S.; CAETANO, S.L.V.; COIMBRA, A.M., 1986. Tectônica e Sedimentação nas áreas das bacias de São Paulo e Taubaté. XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. v.1 p. 321-336, Goiânia-GO.
- MELO, M.S.; FERNANDES, L.A.; COIMBRA, A.M.; RAMO, R.G.N. 1989a. O Graben (Terciário?) de Sete Barras, Vale do Ribeira, SP. *Revista Brasileira de Geociências*, **19**:260-262.

MOHRIAK, W.U. & BARROS, A.Z.N. 1990. Novas Evidências de Tectonismo Cenozóico na Região Sudeste do Brasil: o Graben de Barra de São João na Plataforma de Cabo Frio, RJ. *Revista Brasileira de Geociências*, 20:187-196.

PINTO, C.S. 2000. *Curso Básico de Mecânica de Solos em 16 aulas*. São Paulo: Oficina de Textos. 247p.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO – SECRETARIA DA HABITAÇÃO E DESENVOLVIMENTO URBANO. 1994. Favelas na Cidade de São Paulo. *Relatório Gerencial*. (D.O.M. de março de 1995). 40(10):2-12.

RICCOMINI, C. 1989. *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. São Paulo, 256p. (Tese de Doutoramento, Instituto de Geociências, USP).

RICCOMINI, C., COIMBRA, A.M., TAKIYA, H. 1992. Tectônica e Sedimentação na Bacia de São Paulo. In: PROBLEMAS GEOTÉCNICOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO. São Paulo, 1992. *Publicação Especial*. ABMS/ABGE, SBG/SP. p.21-46.

RICCOMINI, C., COIMBRA, A.M. 1992. Geologia da Bacia Sedimentar. In: SOLOS DA CIDADE DE SÃO PAULO – MESA REDONDA. São Paulo. ABMS/ABFE/ABGE. cap. 2, p.37-94.

ROCHA, H. C. 1995. *Algumas Características dos Solos Arenosos Terciários de São Paulo e Suas Implicações em Obras Subterrâneas*. São Carlos, 156p. (Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP).

SCHNAID, F. 2000. *Ensaios de Campo e Suas Aplicações à Engenharia de Fundações*. São Paulo: Oficina de Textos. 189p.

SUGUIO, K. 1980. Síntese dos Conhecimentos sobre a Sedimentação da Bacia de São Paulo. In: MESA REDONDA: ASPECTOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS DA BACIA SEDIMENTAR DE SÃO PAULO. São Paulo, 1980. *Publicação Especial*. São Paulo, ABGE/SBG-SP. p.25-32.

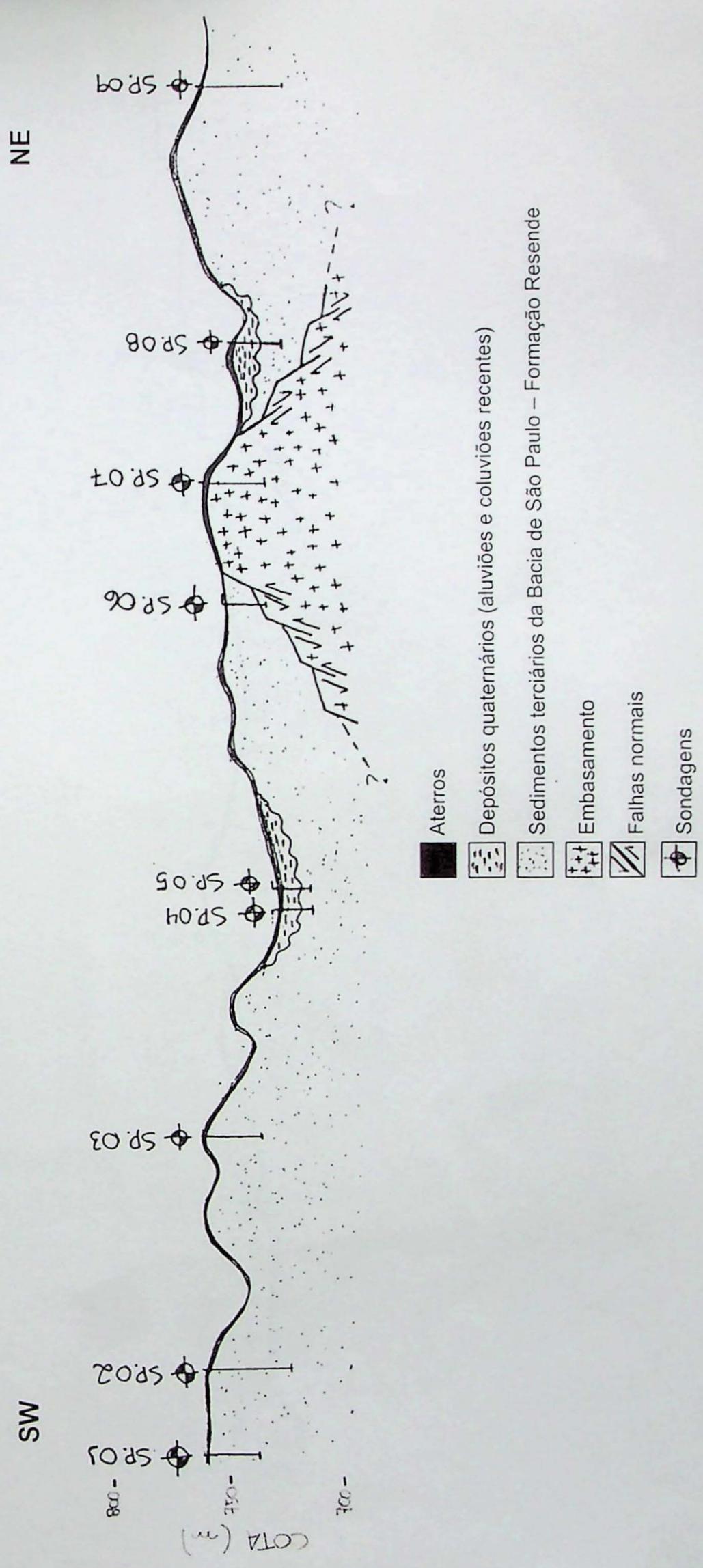
TAKIYA, H. 1997. *Estudo da Sedimentação Neogênico-Quaternária no Município de São Paulo: Caracterização dos Depósitos e Suas Implicações na Geologia Urbana*. São Paulo, 152p. (Tese de Doutoramento, Instituto de Geociências, USP).

VARGAS, M. 1992. Evolução dos Conhecimentos. In: SOLOS DA CIDADE DE SÃO PAULO – MESA REDONDA. São Paulo. ABMS/ABFE/ABGE. cap. 1, p.1-36.

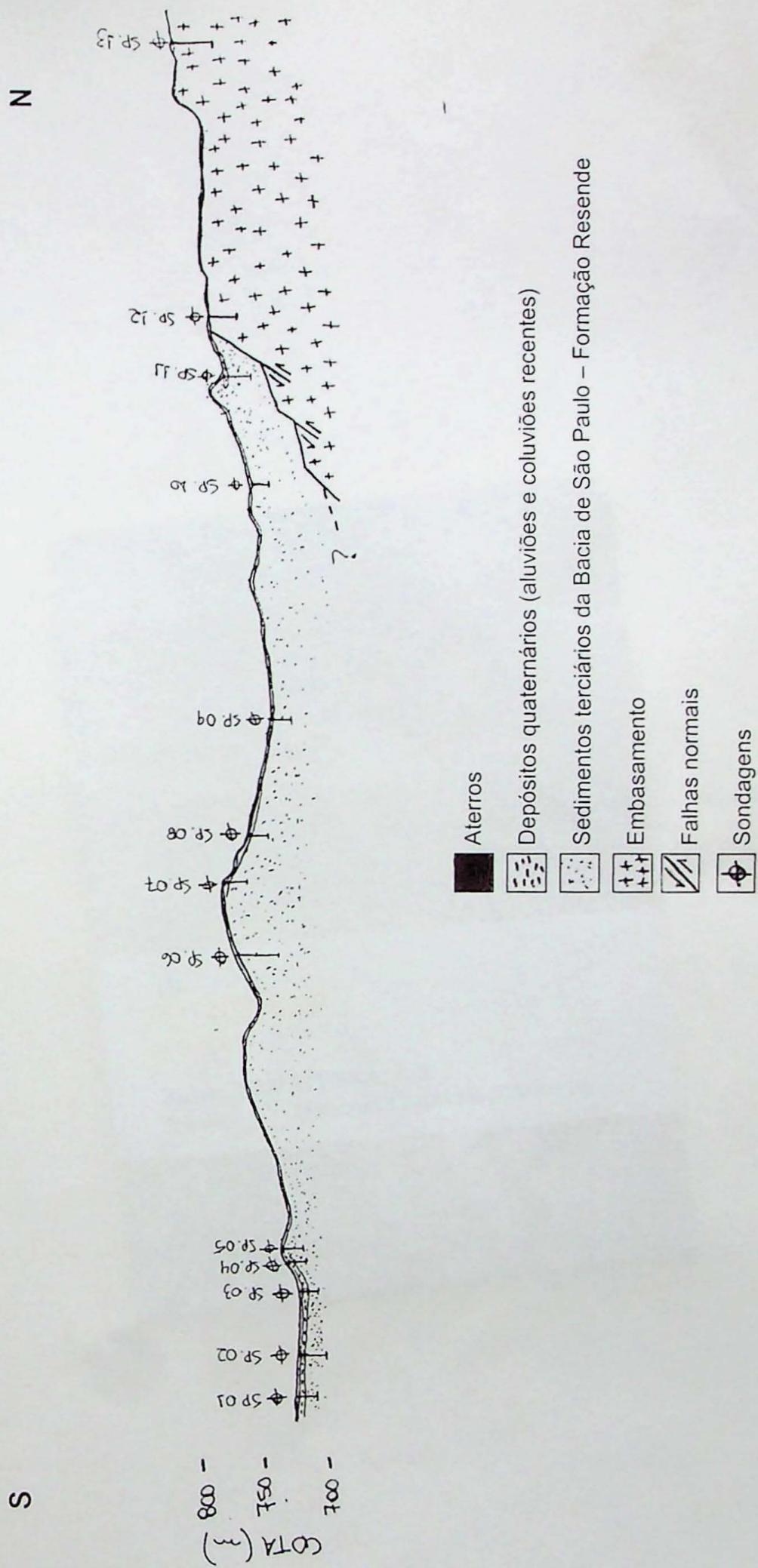
VARGAS, M. 2002. *Os Solos da Cidade de São Paulo (Histórico das Pesquisas)*. São Paulo. Artigo Técnico nº 17. ABGE. 103p.

ANEXOS

PERFIL A – A'



PERFIL B – B'



1 : 5.000

Escala horizontal

1 : 25.000

Escala vertical

