

GEOLOGIA DO PRIMEIRO TRECHO DA LINHA 17-OURO DO METRÔ-SP

Magali Gurgueira¹; Claudio Riccomini²; Marcelo Denser³;
Daniela Garroux⁴; Luiz D'Agostino⁵; Rogério Martinati⁶;

Resumo – A Linha 17 - Ouro do Metrô de São Paulo (monotrilho) está localizada na zona sul do município de São Paulo, SP. Seu primeiro trecho compreende parte das avenidas das Nações Unidas (Marginal Pinheiros), Jornalista Roberto Marinho e Washington Luís. Este estudo analisou amostras e ensaios de 230 sondagens mistas e a percussão, permitindo a identificação de que as obras estão inseridas em quatro unidades geológico-geotécnicas distintas, sendo da base para o topo: - os solos residuais e rochas do embasamento pré-cambriano; as rochas sedimentares paleógenas a neógenas da Bacia de São Paulo; - os depósitos aluviais do Quaternário; - e os depósitos tecnogênicos (aterros), sendo estas duas últimas unidades mais superficiais e de menor representatividade.

Abstract – The Line 17 - Gold of São Paulo Company of the Metropolitan – Metrô (monorail) is located in the southern part of São Paulo City. Its first section comprises part of the avenues Nações Unidas (Marginal Pinheiros), Jornalista Roberto Marinho and Washington Luís. This study analyzed samples and tests of 230 rotary and the percussion drillings, allowing the identification that these works are being developed in four distinct geological-geotechnical units: - residual soils and rocks of the Precambrian bedrock; the Paleogene to Neogene deposits of São Paulo Basin; - Quaternary alluvial sediments; - and backfills, being these last two units more superficial and less representative.

Palavras-Chave – Geologia, Linha 17 – Ouro, Metrô-SP

1. INTRODUÇÃO

A Linha 17 – Ouro do Metrô de São Paulo, com estrutura aérea no sistema monotrilho, está localizada na zona sul do município de São Paulo. O primeiro trecho desta linha encontra-se na região compreendida entre a Estação Morumbi da Linha 9 – Esmeralda da CPTM e o Enlace na Avenida Jornalista Roberto Marinho com a Avenida Washington Luís até o Aeroporto de Congonhas, conforme indicado na Figura 1.

O material de estudo do presente trabalho foi obtido a partir dos projetos de fundação para o sistema monotrilho. As fundações adotadas nas obras variaram entre estaca raiz, estaca escavada (estacão) e tubulão. O critério de escolha depende da relação entre carga e comportamento geológico-geotécnico local, associados a aspectos logísticos, especialmente importante em área urbana com diversas inferências, em superfície e subsuperfície. As cargas estimadas para estaca raiz variaram entre 100tf e 140tf, com diâmetro de 31cm e 41cm respectivamente; as cargas em estação variaram entre 250tf e 770tf, para diâmetros de 80cm a 140cm; e os tubulões instalados em solo e rocha foram escavados com base de 2,0 a 3,0 metros para cargas de 190tf a 770tf.

¹ NÚCLEO: Av. das Nações Unidas, 12.399, sala 77B, São Paulo-SP, (11) 5524-7880, magali@nucleoprojetos.com.br

² USP: Rua do Lago, 562, Cidade Universitária, São Paulo-SP (11) 3091-4126, riccomin@usp.br

³ METRÔ-SP: Rua Augusta, 1.626 São Paulo-SP, (11) 3371-7244, mdmonteiro@metrosp.com.br

⁴ METRÔ-SP: Rua Augusta, 1.626 São Paulo-SP, (11) 3371-7244, dggoliveira@metrosp.com.br

⁵ NÚCLEO: Av. das Nações Unidas, 12.399 – sala 77B, (11) 5524-7880, dagostino@nucleoprojetos.com.br

⁶ NÚCLEO: Av. das Nações Unidas, 12.399 – sala 77B, (11) 5524-7880, martinati@nucleoprojetos.com.br

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS REGIONAIS

A Região Metropolitana de São Paulo, onde está inserida a Linha 17-Ouro apresenta três grandes compartimentos geológicos, sendo, em ordem estratigráfica, o embasamento pré-cambriano, o pacote sedimentar paleógeno a neógeno da Bacia de São Paulo e as coberturas quaternárias, detalhados a seguir.

2.1 Embasamento pré-cambriano

O embasamento da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) abrange diferentes unidades geotectônicas (Monteiro *et al.*, 2012). O Orógeno ou Faixa Ribeira é a unidade geotectônica que efetivamente abriga a Bacia de São Paulo e o seu embasamento (Juliani, 1992), com estrutura regional de direção NNE-SSW condicionada por sistema de falhas transcorrentes (Hasui *et al.*, 1975), como as falhas de Taxaquara e do Rio Jaguari.

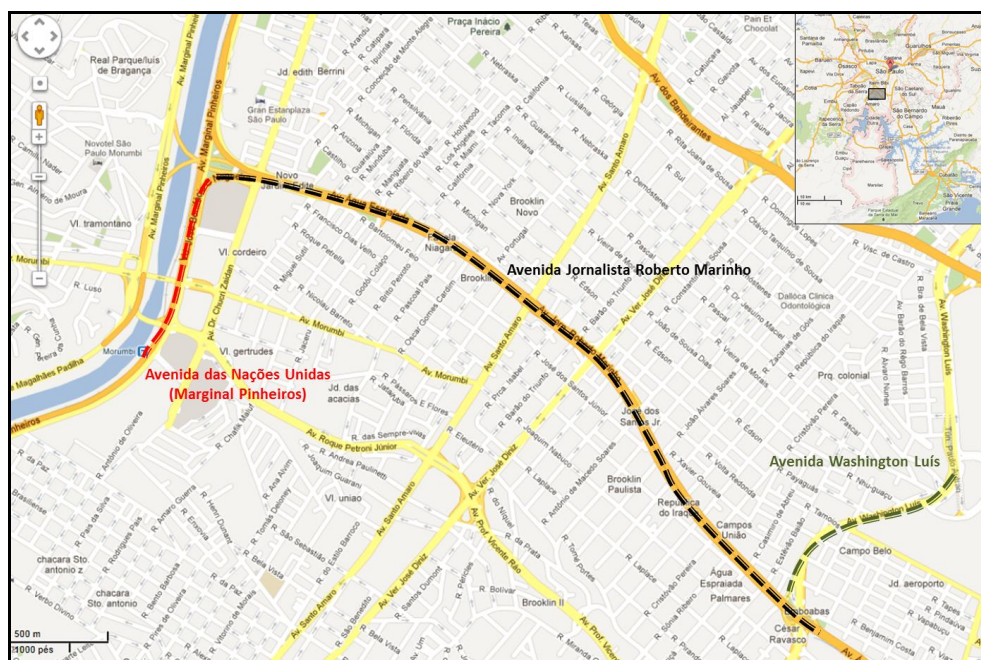


Figura 1 – Localização do trecho 1 da Linha 17 – Ouro do Metrô-SP no município de São Paulo. Fonte do mapa-base: GoogleMaps®, 2013.

Quanto aos litotipos, o embasamento da RMSP compreende basicamente rochas metamórficas e ígneas, associadas ao Complexo Embu e aos grupos São Roque e Serra do Itaberaba, além de corpos de rochas granitóides intrusivas. Com menor expressão ocorrem as rochas do Complexo Costeiro, Complexo Pico do Papagaio, da Nappe Socorro-Guaxupé e do Grupo Votuverava (Monteiro *et al.*, 2012).

O Complexo Embu ocorre na porção centro-sul da RMSP, ocupando faixa de afloramentos com direção NE-SW, formado por xistos, filitos, migmatitos, gnaisses migmatizados e corpos lenticulares de quartzitos, anfibolitos e rochas calciossilicatadas. É limitado ao norte pelo sistema de falhas de Taxaquara e do Rio Jaguari e ao sul pela falha de Cubatão, separando-o dos grupos São Roque e Serra do Itaberaba, e do Complexo Costeiro, respectivamente.

2.2 Bacia de São Paulo

A Bacia de São Paulo faz parte de um conjunto de bacias pertencentes ao Rift Continental do Sudeste do Brasil – RCSB – (Riccomini, 1989), relacionada à tectônica distensiva de idade terciária. A julgar pelo seu formato e distribuição de fácies sedimentares, pode-se considerar que a bacia era originalmente um hemigráben, controlado por falhas normais reativadas ao longo das zonas de cisalhamento proterozóicas de Taxaquara e Jaguari, dispostas ao longo de sua borda norte (Riccomini & Coimbra, 1992).

O preenchimento sedimentar da Bacia de São Paulo compreende as formações Resende, Tremembé e São Paulo (Grupo Taubaté) e a Formação Itaquaquecetuba. Na região metropolitana de São Paulo destacam-se as ocorrências das formações Resende e São Paulo.

A Formação Resende, unidade basal e lateral do Grupo Taubaté, é constituída por um sistema de leques aluviais associados à planície fluvial de rios entrelaçados. As fácies proximais são compostas por conglomerados polímiticos, interdigitados com arenitos e lamitos arenosos de leques aluviais, oriundos de corridas de lama. Nas porções distais predominam os sedimentos formados em ambiente de planície aluvial, que correspondem a arenitos intercalados com lamitos. Segundo Riccomini & Coimbra (1992) esta formação apresenta distribuição generalizada e pode chegar a 80% do preenchimento sedimentar da Bacia de São Paulo e apresenta espessuras que podem ultrapassar os 200 m. Localmente essas rochas apresentam forte cimentação hidrotermal. A cristalização destes cimentos foi penecontemporânea à sedimentação eocênica (início da deposição da Formação Resende). Em todas as unidades a cimentação ocorreu sob a atuação de controles estruturais (exercidos por falhas e fraturas preexistentes ou em nucleação nos sedimentos) e litológicos (devido a diferença na porosidade e permeabilidade das camadas) (Sant'Anna & Riccomini 2001).

A Formação São Paulo, unidade de topo do Grupo Taubaté, tem sua principal área de exposição no espigão central da cidade, entre as avenidas Paulista, Doutor Arnaldo, Domingos de Moraes e Heitor Penteado. Esta formação compreende um sistema fluvial meandrante (Riccomini, 1989), sendo as principais fácies sedimentares compostas por arenitos grossos, conglomeráticos, com abundante estratificação cruzada, base erosiva e presença de clastos argilosos representantes de canais meandrantentes; siltitos e argilitos laminados, podendo conter registro fossilífero (linhitos), depositados em meandros abandonados; arenitos médios e grossos proveniente do rompimento de diques marginais; gradando para sedimentos mais finos rítmicos e laminados, típicos de planície de inundação.

A Formação São Paulo sobrepõe-se transicionalmente ao sistema de leques aluviais da Formação Resende, indicando mudança para condições paleoclimáticas mais úmidas e redução na atividade tectônica, embora ocasionalmente pulsos tectônicos resultem em delgadas intercalações de lamitos provenientes de leques aluviais.

2.3 Coberturas quaternárias

São consideradas coberturas quaternárias os depósitos de idade pleistocênica a holocênica (e atual). Estes depósitos correspondem a associações colúvio-aluviais com espessura e distribuição relativamente restrita, predominantemente próximas às drenagens atuais.

Os depósitos pleistocênicos compreendem predominantemente coluviões argilo-arenosos, com lentes argilosas a conglomeráticas, ocasionalmente contendo madeira fóssil, e aluviões subordinados constituídos por conglomerados basais sobrepostos por areias grossas a conglomeráticas com estratificações cruzadas, gradando para areias médias a finas, com porções argilosas (Melo *et al.*, 1987).

Os depósitos holocênicos são representados por coluviões e aluviões, com espessura geralmente inferior a 10m. Os coluviões são descontínuos, embora com distribuição generalizada, podendo conter cascalheiras (*stone lines*) na base. Os depósitos aluviais estão depositados em várzeas e baixos terraços, constituídos por camadas arenosas e argilosas ricas em matéria orgânica, geralmente exibindo cascalheiras na base.

3. INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

Neste estudo foram analisadas as amostras e ensaios de 230 sondagens mistas e a percussão executadas no primeiro trecho da Linha 17 – Ouro do Metrô, com espaçamento e profundidade média da ordem de 30m. As sondagens utilizadas neste estudo foram executadas de acordo com as diretrizes da ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1999) e da norma NBR-6484 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

As sondagens a percussão e mistas foram executadas com ensaios SPT (standard penetration test) a cada metro no trecho em solo, sedimento ou rocha sedimentar. Mesmo com a padronização definida na norma, há vários fatores que influenciam na precisão do ensaio SPT (Aoki & Cintra, 2000; Belicanta & Cintra, 1998), além da própria execução em campo pelas equipes de sondagem. Para minimizar estas interferências e garantir a qualidade dos serviços, as

perfurações foram acompanhadas em campo por técnicos responsáveis pela fiscalização das equipes pelo consórcio responsável pelas obras.

Para os trechos em rocha, observou-se a alteração, coerência, fraturas, recuperação das manobras (em porcentagem) e RQD (*rock quality designation*), conforme proposto por Deere *et al.* (1967). Foram selecionadas três amostras de rocha por sondagem para realização de ensaios de compressão uniaxial, visando determinar esta variável de resistência do maciço rochoso.

Todas as amostras das sondagens utilizadas neste estudo foram analisadas com o emprego da classificação tátil-visual (Gurgueira, 2013). Nesta classificação foram observadas litologia, granulometria, presença de fragmentos, minerais visíveis a olho nu, matéria orgânica, cor, plasticidade, compactidade e consistência, entre outros aspectos.

Após a análise das amostras de sondagem, avaliação dos resultados dos ensaios SPT e comparação com as informações geológicas e geotécnicas obtidas da literatura, foram definidas as unidades geológico-geotécnicas presentes neste estudo, sendo, do topo para a base: aterro, aluvião, Formação São Paulo, Formação Resende e embasamento, conforme detalhados na Tabela 1 (Gurgueira, 2013).

Tabela 1 – Síntese da sistematização das unidades geológico-geotécnicas da Linha 17 – Ouro.

Estratigrafia	Unidade geológico-geotécnica	Descrição
Aterro	AT	Depósitos tecnogênicos de composição variada
Aluvião	ALag	Depósitos fluviais meandantes de planície de inundação ou meandros abandonados, compostos por argilas e lamas ricas em matéria orgânica
	ALar	Depósitos fluviais de canais meandantes, compostos por areias e cascalhos
Formação São Paulo	SPal	Camada superficial alterada, composta por lamitos argilosos
	SPag	Depósitos fluviais meandantes de planície de inundação ou meandros abandonados, compostos por argilitos e lamitos argilosos
	SPar	Depósitos fluviais de canais meandantes ou de rompimento de diques marginais, compostos por arenitos e conglomerados
Formação Resende	RSel	Depósitos fluviais provenientes de canais de rios entrelaçados, compostos por arenitos e conglomerados
	RSId	Depósitos de leques aluviais medianos a distais, compostos por lamitos argilosos a arenosos e argilitos
	RSIp	Depósitos de leques aluviais proximais, compostos por brechas e diamictitos
Embasamento	EMs1	Solo eluvial constituído por siltes argilosos a arenosos
	EMs2	Solo de alteração de rocha constituído predominantemente por siltes arenosos micáceos
	EMr3	Rocha alterada mole constituída predominantemente por biotita gnaisse muito alterado
	EMr1/2	Rocha sã ou rocha alterada dura constituída predominantemente por biotita gnaisse

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS LOCAIS

As obras do primeiro trecho da Linha 17 – Ouro estão inseridas em quatro unidades geológico-geotécnicas distintas, sendo da base para o topo: - os solos residuais e rochas do embasamento pré-cambriano; os sedimentos paleógenos da Bacia de São Paulo; - os depósitos aluviais do Quaternário; - e os depósitos tecnogênicos (aterros), sendo estas duas últimas unidades mais superficiais e de menor representatividade em área e espessura.

A seguir são apresentadas seções esquemáticas do primeiro trecho da Linha 17-Ouro separadas pelas principais avenidas por onde se desenvolve o eixo do mon trilho (Avenida das Nações Unidas, Avenida Jornalista Roberto Marinho e Avenida Washington Luís).

4.1 Avenida das Nações Unidas (Marginal Pinheiros)

Na Avenida das Nações Unidas ocorrem, a partir da superfície do terreno, uma camada de aterro, seguido de sedimentos aluviais sobre solos residuais e rochas do embasamento cristalino (Figura 3).

Os aterros (AT) ou depósitos tecnogênicos recobrem superficialmente a maior parte do trecho com espessura variável de até 7m e valores predominantemente baixos de Nspt.

Os aluviões foram identificados na maioria das sondagens, apresentando valores muito baixos de Nspt (geralmente inferior a 2) com espessura de até 3m de argilas e lamias ricas em matéria orgânica (ALag) e de até 10m de areias e cascalhos (Alar). Os aluviões ricos em cascalho podem apresentar valores elevados de Nspt, de até 55.

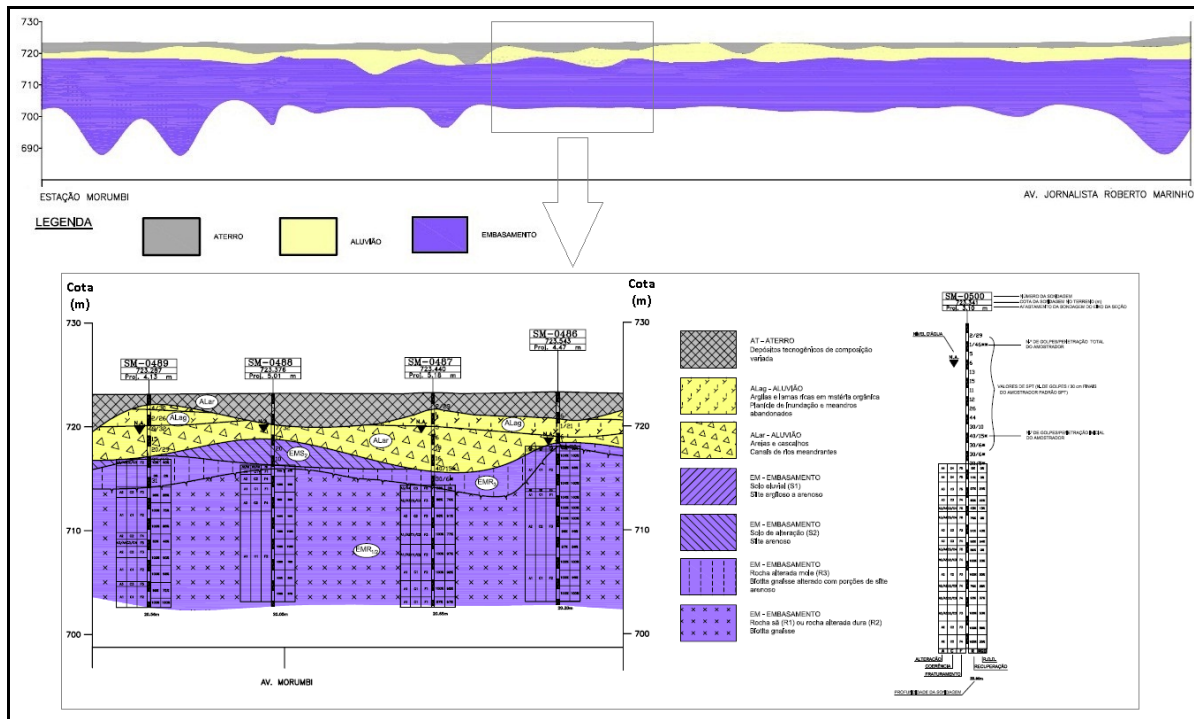


Figura 3 – Seção geológica esquemática ao longo da Marginal Pinheiros entre a Estação Morumbi e a Av. Jornalista Roberto Marinho. Detalhe: Seção geológico-geotécnica próxima ao cruzamento da Av. das Nações Unidas com a Av. Morumbi.

As rochas do embasamento ocorrem em toda a extensão da seção. O solo eluvial (EMs1) ocorre localmente entre a Av. Roque Petroni e a Estação do Morumbi, com espessura de até 4m. O solo de alteração (EMs2) ocorre na maioria das sondagens, com espessura de até 8m. A rocha alterada mole (EMr3) apresenta espessuras variáveis de até 30m próximo a Av. Jornalista Roberto Marinho e de até 13m próximo a Avenida Roque Petroni.

A rocha sã ou alterada dura (EMr1/2) encontra-se em profundidades variáveis entre 5m até acima de 37m abaixo da superfície do terreno. Em geral, apresenta fraturamento elevado e baixo RQD. Os resultados dos ensaios de Resistência à Compressão Uniaxial (RCU) indicaram significativa variabilidade na resistência da rocha, com valores distribuídos entre 2 a 197MPa e frequência predominante entre 10 e 30MPa.

3.2 Avenida Jornalista Roberto Marinho

Na Avenida Jornalista Roberto Marinho ocorrem, a partir da superfície do terreno, aterros, aluviões, rochas sedimentares da Formação Resende e do embasamento, conforme indicado na Figura 4.

Os aterros (AT) ou depósitos tecnogênicos recobrem superficialmente todo o trecho, com espessura variável entre 1 a 9m, com valores predominantemente baixos de Nspt. Em porções localizadas próximos ao córrego Água Espriada são constituídos por fragmentos de rocha ou "rachão, sendo portanto impenetráveis a percussão.

Os aluviões ocorrem sob a forma de corpos lenticulares, localmente substituídos por aterros, com valores muito baixos de Nspt (geralmente inferiores a 4), espessuras de até 6m de argilas e lamias ricas em matéria orgânica (ALag) e de até 5m de areias e cascalhos (Alar). Os aluviões ricos em cascalho podem apresentar valores elevados de Nspt, de até 55.

As rochas sedimentares da Formação Resende estão representadas pelas subunidades de arenitos e conglomerados de canais de rios entrelaçados (RSel), lamitos argilosos a arenosos e argilitos de leques aluviais distais (RSId) e brechas e diamictitos de leques aluviais proximais (RSIp).

A RSel apresenta-se associada a RSId, com maior ocorrência a partir da Rua Barão do Triunfo (próxima a Av. Vereador José Diniz) até a região do Piscinão Água Espreada. Há uma ocorrência restrita próxima a Rua Niágara. Apresenta formato lenticular ou de canais em seção com extensão variando entre 5 a 300m e espessura de até 9m Os valores de N_{spt} variam entre 5 a maior do que 50, sendo menores mais próximos ao topo.

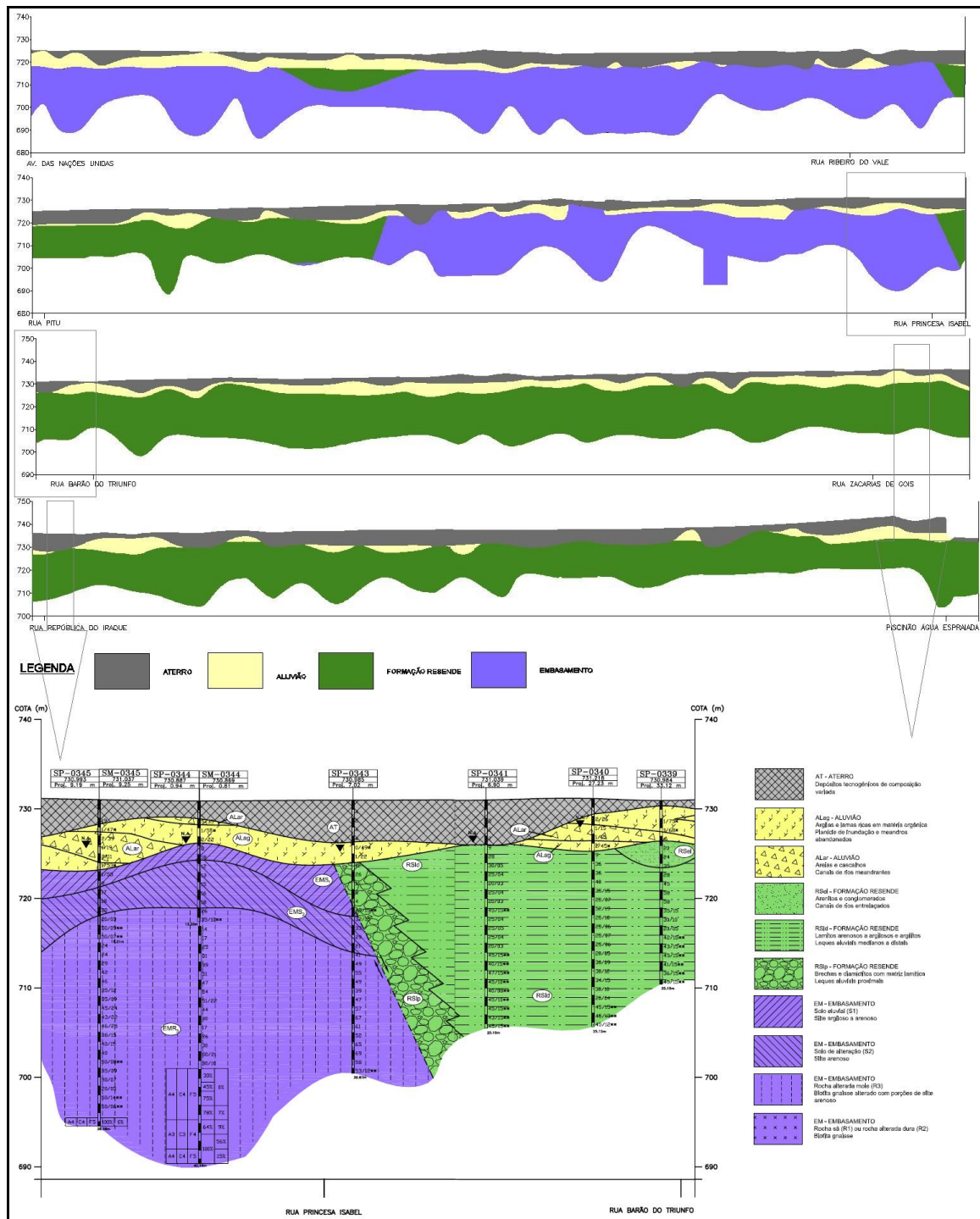


Figura 4 – Seção geológica esquemática ao longo da Av. Jornalista Roberto Marinho entre o cruzamento com a Av. das Nações Unidas e o enlace próximo a Av. Washington Luís (Piscinão Água Espreada).

A RSId é a subunidade predominante na Formação Resende nesta seção. Sua distribuição é predominante entre Rua Princesa Isabel e o Piscinão Água Espreada, mas também ocorre

entre a Rua Oscar Gomes Cardim e a Rua Pitu e na Estação Chucrí Zaidan. Apresenta valores predominantemente altos de N_{spt} , em geral acima de 35, porém pode apresentar valores menores próximo ao topo e em porções localizadas.

A RS_{lp} apresenta distribuição restrita, próxima às falhas normais localizadas nas ruas Princesa Isabel, Oscar Gomes Cardim e Pitu. É caracterizada pela presença de fragmentos de rocha, apresentando valores predominantemente altos de N_{spt} (impenetrável), com porções localizadas com valores baixos (até 4)

O embasamento ocorre entre a Av. das Nações Unidas até a Rua Pitu e entre a ruas Pitu e Oscar Gomes Cardim, interrompido por falhas normais. O solo eluvial (EM_1) ocorre de forma irregular, com espessura de até 6m. O solo de alteração (EM_2) ocorre na maioria das sondagens que interceptam o embasamento, com espessura de até 11m. A rocha alterada mole (EM_3) apresenta espessuras variáveis de até 28m.

A rocha sã ou alterada dura ($EM_{r1/2}$) encontra-se em profundidades variáveis com mínimo de 13m abaixo da superfície do terreno. Em geral, apresenta fraturamento elevado e baixo RQD. A resistência do maciço rochoso foi avaliada por meio da execução de ensaios de Resistência à Compressão Uniaxial (RCU). Os resultados destes ensaios indicaram significativa variabilidade na resistência da rocha, com valores distribuídos entre 2 a 105 MPa e frequência predominante entre 8 e 25 MPa neste trecho.

3.3 Avenida Washington Luís

Na Avenida Washington Luís ocorrem, a partir da superfície do terreno, aterros, aluviões e rochas sedimentares das formações São Paulo e Resende, conforme indicado na Figura 5.

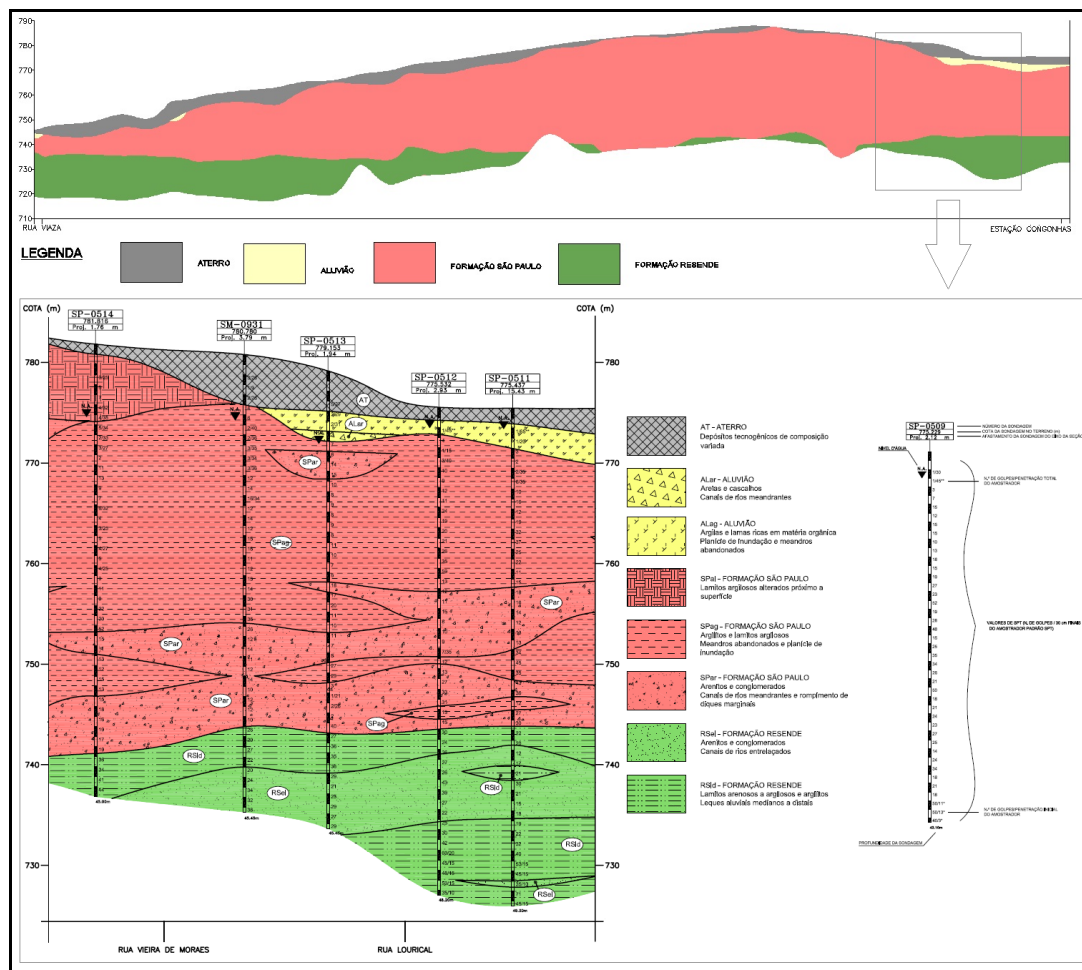


Figura 5 – Seção geológica esquemática ao longo da Av. Washington Luís.

Os aterros (AT) ou depósitos tecnogênicos recobrem superficialmente a maior parte do trecho, com espessura de até 7m, sendo menos espessos no trecho entre as ruas Vieira de Moraes e Brás de Arzão.

Os aluviões ocorrem localmente, com valores muito baixos de N_{spt} (geralmente inferiores a 2), espessura de até 3 m de argilas e lamias ricas em matéria orgânica (ALag) e inferior a 1m de areias e cascalhos (ALar) entre a Rua Vieira de Moraes e a Estação Congonhas. Apresenta espessura de até 1 m de ALag na sondagem SM-927 e de até 1m de ALal e 1m de ALar próximo a rua Vaza.

As rochas sedimentares da Formação São Paulo ocorrem em toda a extensão da seção, incluindo as três subunidades desta formação. Os lamitos argilosos alterados (SPal) ocorrem no trecho entre a Rua Vieira de Moraes e a sondagem SP-530, com uma ocorrência isolada na sondagem SP-533. Ocorrem predominantemente acima da cota 770m, com espessura máxima de 13m identificada na sondagem SP-518, sempre próxima ao topo da Formação São Paulo. Esta subunidade tende a apresentar valores menores de N_{spt} (até 5) próxima ao topo e valores maiores (até 14 próxima a base).

Segundo Vargas (2002) e Massad (2012) este horizonte de argilas vermelhas apresenta características geotécnicas específicas, devido a sua alta porosidade (inclusive com a presença de macroestruturas no solo), ao aumento da consistência com a profundidade, à colapsibilidade e a presença frequente de lentes de limonita.

Os argilitos e lamitos argilosos provenientes de meandros abandonados e planícies de inundação (ALag) constituem a subunidade predominante na Formação São Paulo. Ela apresenta espessura contínua de até 21m, identificada na sondagem SP-514, com valores variáveis de N_{spt} , predominantemente menores próximos ao topo (em torno de 5) e maiores nas demais regiões (em torno de 20).

Os arenitos e conglomerados provenientes de canais de rios meandrantos e rompimento de diques marginais (ALar) ocorrem na forma de lentes alongadas e canais com distribuição aleatória ao longo de toda a seção, com espessura máxima contínua de 16m identificada na sondagem SP-538. Apresentam valores mais baixos de N_{spt} nas lentes mais próximas ao topo, porém as camadas ricas em seixos e cascalho tendem a aumentar o valor do N_{spt} .

O contato entre as formações São Paulo e Resende ocorre em torno da cota 740m (com local mais alto em 745m e mais baixo provavelmente na cota 730m). Este contato apresenta-se irregular, com aprofundamentos localizados como observado na sondagem SP-516, onde a Formação São Paulo apresenta a espessura máxima nesta seção, superior a 50m.

As rochas sedimentares da Formação Resende estão representadas pelas subunidades de arenitos e conglomerados de canais de rios entrelaçados (RSel) e lamitos argilosos a arenosos e argilitos de leques aluviais distais (RSld).

A RSld é a subunidade predominante na Formação Resende nesta seção. Ocorre na forma de camadas alongadas, com raras lentes menores envolvidas pela RSel. A espessura máxima contínua identificada é de 10m na sondagem SP-540. Apresenta valores predominantemente altos de N_{spt} , em torno de 35 (com mínimo de 14 e máximo acima de 50).

A RSel apresenta-se como uma lente contínua entre a Rua Vaza e rua Padre Leonardo em torno da cota 730m e outra entre a Rua Vieira de Moraes e a estação Congonhas, com espessura máxima contínua de 8 m na sondagem 531, além de outras lentes menos significativas. Apresenta valores de N_{spt} em torno de 25 (com mínimo de 17 e máximo acima de 50).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo baseou-se na análise e interpretação de sondagens executadas com o objetivo de investigar e projetar as fundações do primeiro trecho da Linha 17 – Ouro do Metrô-SP. Estas sondagens apresentaram espaçamento médio de 30m e profundidade média de 30m, o que resultou em uma razoável densidade de informações, porém a uma profundidade relativamente rasa.

Como as sondagens foram executadas ao longo de três avenidas, somando cerca de 6km de extensão, em diferentes cotas de superfície (entre as cotas 788 e 722m), foi possível interceptar os três principais compartimentos geológicos de São Paulo: o embasamento pré-

cambriano, as rochas sedimentares paleógenas da Bacia de São Paulo e os depósitos aluviais do Quaternário, além dos depósitos tecnogênicos ou aterros.

Os aterros apresentam composição variada, podendo conter desde camadas de argilas ricas em matéria orgânica, até camadas de areias ou fragmentos de rocha. Há porém um predomínio de argila siltosa a arenosa, com valores baixos de N_{spt} .

Os aluviões em geral são pouco espessos quando comparado com os depósitos paleógenos, com menos de uma dezena de metros de espessura máxima, apresentando baixa resistência, com valores reduzidos de N_{spt} (com predomínio entre 0 e 5).

As rochas sedimentares da Formação São Paulo ocorrem ao longo da Av. Washington Luís, apresentando maior variabilidade nas camadas, com intercalações entre os argilitos e lamitos argilosos provenientes de meandros abandonados e os arenitos e conglomerados provenientes de canais de rios meandrantos ou arenitos de rompimento de diques marginais. A porção de lamitos argilosos alterados, gerada por intemperismo, apresenta distribuição homogênea próxima à superfície, predominantemente a partir da cota 770m. Os valores de N_{spt} tendem a ser menores próximos ao topo, porém podem apresentar valores baixos em porções mais profundas. Localmente, camadas ricas em seixos e cascalhos ou que apresentam concreções limoníticas podem elevar o valor de N_{spt} .

O contato entre a Formação São Paulo e Formação Resende ocorre próximo à cota 740m, porém podem haver escavações locais da Formação São Paulo, como observado nas sondagens SP-516, SP-522 e SP-531. Este contato do tipo erosivo é comum próximo a região central da Bacia de São Paulo, mas próximo a borda podem haver interdigitações entre os leques aluviais da Formação Resende e os depósitos fluviais meandrantos da Formação São Paulo.

A Formação Resende representa a maior parte do preenchimento sedimentar da Bacia de São Paulo, sendo predominante também na área estudada neste trabalho. Há um predomínio dos lamitos e argilitos provenientes dos leques aluviais distais, que apresentam valores em geral elevados de N_{spt} , chegando a até mais de 50.

Os arenitos e conglomerados de canais de rios entrelaçados são mais comuns nas regiões mais distantes do contato com o embasamento, como entre a Av. Vereador José Diniz e o Piscinão Água Espaiada e na Av. Washington Luís. Apresentam espessura e distribuição relativamente menor quando comparados aos depósitos de leques aluviais. Porém é fundamental identificar a presença desta unidade para a elaboração de projetos de engenharia, pois apresentam a maior permeabilidade e menor coesão da Formação Resende.

Os leques aluviais proximais ocorrem próximos às falhas normais marcando o contato entre a Formação Resende e o embasamento. Estas falhas normais foram interpretadas como sin-sedimentares com rejeito de 19m, conforme observado entre as sondagens SM-365 e SM-362. Os depósitos de leques aluviais proximais podem apresentar valores elevados de N_{spt} , chegando até o impenetrável. Como estes depósitos apresentam distribuição restrita, o espaçamento de 30m entre as sondagens muitas vezes não é suficiente para interceptá-los. Os planos das falhas que marcam o contato dificilmente podem ser analisados a partir de sondagens rotativas, pois há perda de material nesta manobra e o material próximo à falha tende a fragmentar-se. O televisionamento de furos de sondagem mostra-se como uma boa técnica para medição e análise das falhas e contatos, porém não foi realizado para este estudo.

As rochas do embasamento compreendem biotita gnaisse do Complexo Embu, localmente cortado por veios pegmatíticos relacionados às intrusões graníticas. Sua distribuição é predominante na região da Marginal Pinheiros, sendo que um alto estrutural ou horst foi identificado na Av. Jornalista Roberto Marinho, entre o cruzamento com as ruas Oscar Gomes Cardim e Pitu. O manto de intemperismo do embasamento pode superar 35m de espessura e a rocha apresenta-se em geral muito fraturada e com valores variáveis de resistência a compressão uniaxial, com predomínio entre 10 e 30MPa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô e ao Consórcio Monotrilho Integração pelo fornecimento dos dados utilizados neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABGE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA / SBG - SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA. (1999). *Manual de Sondagens*. São Paulo-SP.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2010). *NBR-6484 – Execução de Sondagem de Simples Reconhecimento dos Solos*.
- AOKI, N. & CINTRA, J.C.A. (2000). “The application of energy conservation Hamilton’s principle to the determination of energy efficiency in SPT tests”. In: *International Conference on the application of stress-wave theory to piles*. Proceedings, Rotterdam, Balkema, p.457-460.
- BELICANTA, A. & CINTRA, J.C.A. (1998). “Fatores intervenientes em variantes do método ABNT para execução de SPT”. In: *Solos e Rochas*, 21:119-133.
- DEERE, D.U.; HENDRON, A.J.; PATTON, F.D.; CORDING, E.J. (1967). “Design of surface and near surface construction in rock”. In: *U.S. Symp. Rock. Mech.* AIME, New York, p.237-302.
- GURGUEIRA, M.D. (2013). *Correlação de dados geológicos e geotécnicos na Bacia de São Paulo*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 76p.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. (1975). “The Ribeira Folded Belt”. *Revista Brasileira de Geociências*, 5:257-266.
- JULIANI, C. (1992). “O embasamento pré-cambriano da Bacia de São Paulo”. In: ABAS/ABGE/SBG-SP, *Problemas geológicos e geotécnicos na Região Metropolitana de São Paulo*. São Paulo-SP, p.3-20.
- MASSAD, F. (2012). “Resistência ao cisalhamento e deformabilidade dos solos sedimentares de São Paulo”. In: *Twin Cities – Solos das cidades de São Paulo e Curitiba*. ABMS, São Paulo-SP, p. 107-133.
- MELO, M.S.; PONÇANO, W.L.; MOOK, W.G.; AZEVEDO, A.E.G. (1987). “Datações C14 em sedimentos da Grande São Paulo”. In: *Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, 1, Porto Alegre-RS, *Anais*, p.427-436.
- MONTEIRO, M.D.; GURGUEIRA, M.D.; ROCHA, H.C. (2012). “Geologia da Região Metropolitana de São Paulo”. In: *Twin Cities – Solos das cidades de São Paulo e Curitiba*. ABMS, São Paulo-SP, p. 15-44.
- RICCOMINI, C. (1989). *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 256p.
- RICCOMINI C. & COIMBRA A.M. (1992). “Geologia da bacia sedimentar”. In *Solos da cidade de São Paulo*. FERREIRA, A.A.; ALONSO, U.R.; LUZ, P.L (Ed). São Paulo-SP, ABMS/ABEF, p.37-94.
- RICCOMINI, C; SANT'ANNA, L.C.; FERRARI, A.L. (2004). “Evolução Continental do Rift Continental do Sudeste do Brasil”. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; NEVES, B.B.B. (orgs). *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, São Paulo-SP, p. 385-405.
- SANT'ANNA, L.G. & RICCOMINI, C. (2001). “Cimentação hidrotermal em depósitos sedimentares paleogênicos do Rift Continental do Sudeste do Brasil: mineralogia e relações tectônicas”. In: *Revista Brasileira de Geociências*, 31:231-240.
- VARGAS, M. (2002). *Os solos da cidade de São Paulo: histórico de pesquisas*. Artigo técnico da ABGE, São Paulo-SP, 17, 103p.