

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA NA DUPLICAÇÃO DA BR-040 NO TRECHO  
COMPREENDIDO ENTRE RESSAQUINHA E BARBACENA, MG**

Arthur Hideo Pereira Toyoshima

Orientador: Prof.Dr. Edilson Pissato  
Co-orientador: Geól. Aluisio da Silva Ramos

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2016 / 04)

SÃO PAULO  
2016

TF  
T756  
AHP.i

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA NA DUPLICAÇÃO DA BR-040 NO TRECHO  
COMPREENDIDO ENTRE RESSAQUINHA E BARBACENA, MG**

Arthur Hideo Pereira Toyoshima



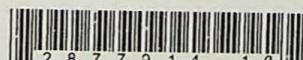
O CD-Rom encontra-se no setor de referência

Orientador: Prof.Dr. Edilson Pissato

Co-orientador: Geól. Aluisio da Silva Ramos

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-2016 / 04)

IGc-Instituto de Geociências



2 8 7 7 9 1 4 - 1 0

Investigação geotécnica na duplicação da BR-040 no  
trecho compreendido entre Ressaquinha e Barb  
M27123

SÃO PAULO

2016

TF  
T 756  
AHP.i



TRABALHO DE FORMATURA (TF-2016 / 04)

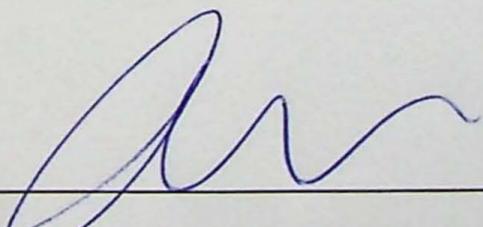
Arthur H D Toyoshima

Arthur Hideo Pereira Toyoshima



De acordo:

Prof. Dr. Edilson Pissato



De acordo:

Geólogo Aluisio da Silva Ramos

Dedico este trabalho aos meus pais  
Paulo e Vera, meu irmão Edson e  
minha companheira Carol.

*"We're gonna live forever".*

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho de formatura finalizou uma trajetória longa, árdua e trabalhosa de 5 anos. Para essa saga terminasse em final mais do que feliz, muitos personagens foram essenciais. Primeiramente, e nada clichê, a minha família. A presença e apoio deles foram importantes pela paciência e apoio incondicional. A minha mãe Vera e ao meu pai Paulo que sempre me deram o suporte nos momentos mais difíceis, e que deixaram de realizar diversos desejos em detrimento aos sonhos dos filhos. O certificado de geólogo finalmente chegará às mãos do meu pai. Ao meu irmão Edson, um amigo e com futuro brilhante pela frente.

A minha vó Maria, exemplo de mulher e de mãe. A minha prima Patrícia que me ajudou num momento decisivo da minha vida, mostrando que mesmo os pequenos gestos mudam a trajetória de vida das pessoas. Aos meus tios e primos que formam essa família única que posso.

A minha companheira Caroline. Para ela me faltam palavras para descrever a importância no período de graduação. Espero viver para sempre e mais um dia ao seu lado, que a luz que brilha sobre nós continue sendo única. "*I wanna talk tonight...*".

Aos meus amigos que fiz nesses anos de geologia, Carol Mafra, Lucas Milani, Akira, Paulo, Thomás, Jorge, Fabio, Érick, César, Seiji, Marcelo, Lorena, Wesley, Monique, Laura, e muitos outros, pois não dá para escrever todas as pessoas que passaram por mim e foram importantes nesses anos de graduação.

Aos funcionários da EPT, Aluisio, Angélica, Ana, Mariana, Vitor, Alan e Wagner. Agradeço muito pelos ensinamentos e pela amizade durante esse período pouco mais de um ano de estágio. Todos me ajudaram na confecção deste trabalho de formatura na sua maneira e especialidade.

Aos professores do Instituto de Geociências, principalmente meu orientador Prof. Dr. Edilson Pissato. A eles pelo conhecimento adquirido que possibilitaram a confecção deste trabalho e conhecimento técnico-profissional.

## **Resumo**

Os trabalhos geotécnicos para obras viárias têm como proposta classificar, identificar e compartimentar os maciços terrosos e rochosos onde os projetos serão implantados, sendo vitais na construção civil para a definição dos tipos de fundação nas obras de arte especiais (OAE) e áreas de corte e aterro. O estudo tem como objetivo classificar os solos e caracterizar os maciços rochosos provenientes da duplicação da BR-040 no trecho entre Ressaquinha e Barbacena (MG), com base em dados de sondagens e ensaios laboratoriais. Foram realizadas análises tático-visual das amostras, determinando suas características, as unidades geológico-geotécnicas nas quais estão inseridas e suas implicações para obras. Com isso, foram classificadas as unidades de aterro, aluvião, solo de alteração e horizonte de rocha. O pacote predominante é o solo de alteração (SA), composto por siltes arenosos a argilosos. Com a caracterização da porção rochosa, utilizando o parâmetro RQD (*Rock Quality Designation*), definiu-se a estrutura em duas partes: 1) rocha alterada dura em qualidade de má a boa; 2) rocha sã de regular a excelente. Com os ensaios laboratoriais, concluiu-se que poucas áreas amostradas possuem potencial de uso como materiais de empréstimo, tal qual uma pedreira a sul da cidade de Ressaquinha ideal para se obter agregados para essa finalidade. Posteriormente à classificação das amostras, foi realizada uma seção geológico-geotécnica paralela à estrada existente, permitindo a identificação dos horizontes, suas correlações e estudo de taludes de corte. O horizonte SA, de espessura média em 13,5 metros, está inserido nas regiões de corte, assim sendo, para a construção das vertentes, a relação entre espessura e altura da estrutura deve ser de 3:2. Os taludes exibem direções oblíquas à estrada e baixa coesão devido aos seus materiais constituintes. Essas características apresentam potencial de risco de escorregamentos, em especial, o rotacional, requerendo previsíveis obras de contenção. Seguidamente, através dos critérios de paralisação das sondagens, foi definida a fundação como profunda para OAE, tendo diferentes tipos de fundação sugeridos para cada caso aplicável. Por último, o projeto prevê o mínimo de impacto nas águas subterrâneas, na qual os taludes de corte não atingiram o nível d'água.

**Palavras-chave:** Investigação geotécnica; Sondagens; BR-040; Ressaquinha/MG.

## **Abstract**

Geotechnical studies for road works have proposed to classify, identify and compartmentalize the massive earthy and rocky where the projects will be deployed and are vital in construction to define the types of foundation in engineering structure and areas cut and fill. The study has as purpose classify soils and characterize the rock masses from the duplication of the BR-040 on the section between Ressaquinha and Barbacena (MG), based on data from core, such as drillholes. Samples from cores were tactile-visual analyzes in order to determinate their characteristics, geological and geotechnical units in which they operate and their implications for constructions. Therefore, the units were defined: earthwork, alluvium, residual soil, weathered rock and unweathered rock. The predominant package is the saprolite, consisting of silt clay loam to silt loam. For the characterization of massive using the RQD (Rock Quality Designation) parameter, set the structure into two parts: 1) partly weathered rock in quality poor to good; 2) the unweathered rock in fair to excellent. In laboratory tests concluded that few areas have sampled use as loan material, and a rock quarry located south of the city Ressaquinha ideal to obtain aggregates for this purpose. Following the classification of samples, geological and geotechnical, section parallel to the road carried out, which allowed the identification of horizons, their correlations and study of cutting slope. The saprolite horizon an average thickness of 13.5 meters, includes the cutting regions, therefore, for the construction of slopes, the ratio between thickness and height of the structure must be 3:2. The slopes show oblique directions on the road, and have silty and sandy materials, providing low cohesion. These characteristics have a potential risk of landslides, in particular the rotational, requiring predictable containment works. Thereafter, through the stoppage criteria of the polls, was defined the foundation as deep to engineering structure, having different types of foundation suggested for each case applicable. Finally, the project provides minimum impact on groundwater, in which the cutting slopes have not reached the level of water.

**Keywords:** Geotechnical investigation; Drillhole; BR-040; Ressaquinha/MG.

## Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	Área de estudo .....	2
2.	OBJETIVOS .....	2
3.	TRABALHOS PRÉVIOS .....	3
3.1.	Geologia regional .....	3
3.1.1.	Descrição das unidades litoestratigráficas regionais.....	4
3.2.	Geologia local.....	6
4.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	7
4.1.	Sondagens .....	8
4.2.	Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de solo.....	11
4.2.1.	Perfil de intemperismo de regiões tropicais .....	11
4.2.2.	Solos transportados.....	13
4.2.3.	Características de um perfil de alteração para taludes de corte.....	14
4.3.	Classificações geotécnicas tradicionais .....	14
4.3.1.	Sistema unificado de classificação de solos (SUCS) .....	15
4.3.2.	Classificação TRB (Transportation Research Board).....	17
4.3.3.	Caracterização geotécnica em rochas.....	18
4.4.	Fundações.....	19
5.	RESULTADOS .....	20
5.1.	Unidades geológico-geotécnicas .....	21
5.1.1.	Aterro .....	21
5.1.2.	Solo eluvial .....	21
5.1.3.	Aluvião.....	21
5.1.4.	Solo de alteração.....	22
5.1.5.	Horizonte de rocha .....	22
5.2.	Caracterização do maciço rochoso.....	22
5.3.	Ensaios laboratoriais .....	23
5.4.	Perfis geológico-geotécnicos .....	24
6.	INTERPRETAÇÕES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	26
7.	CONCLUSÃO .....	31
8.	REFERÊNCIAS .....	33

## **1. INTRODUÇÃO**

O presente trabalho visa elaborar uma investigação geotécnica em um dos trechos da obra para duplicação da BR-040, compreendido em um intervalo de 14 quilômetros situando-se nos quilômetros 679 a 693 – mais especificamente entre os municípios de Ressaquinha e Barbacena, no estado de Minas Gerais. A investigação vem sendo realizada pela empresa Engenharia e Pesquisas Tecnológicas (EPT) e o projeto foi elaborado pela Figueiredo Ferraz – Consultoria e Engenharia de Projetos. O projeto da duplicação da BR-040 apresenta extensão total de 148 quilômetros, do quilometro 623 ao 771, entre as cidades de Juiz de Fora e Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais.

No Brasil, o transporte rodoviário é considerado a principal via de integração do país e é fundamental no escoamento da produção agrícola e industrial. Entretanto, as principais vias apresentam déficit de qualidade e eficiência para aportar o intenso fluxo diário de veículos ao qual estão submetidas. Deste modo, projetos e obras de engenharia são executados para melhorias nas estradas e para quais são solicitados detalhados trabalhos geotécnicos.

Os trabalhos geotécnicos para obras viárias têm como foco classificar e identificar o subsolo, sendo estudos vitais nas construções, tais como fundações de pequenas a grandes estruturas, cortes e aterros e barragens. Em projetos associados a estradas, que se caracterizam por apresentar grandes extensões longitudinais, os solos encontrados nos subleitos das vias e suas faixas de domínio, devido às suas propriedades físico-químicas e mineralógicas, apresentam em geral comportamentos geotécnicos bastante diferenciados. Os solos, principais objetos dos estudos geotécnicos, resultam dos processos intempéricos e estão diretamente associados aos materiais de origem (rocha), clima, relevo, organismos vivos e ao tempo.

A duplicação da BR-040 está em fase de projeto, na qual as obras ainda não se iniciaram. Devido a sua extensão, os estudos propostos não foram realizados em sua totalidade pela equipe técnica de empresa Figueiredo Ferraz, de modo que o presente trabalho possa contribuir nos resultados finais para a elaboração das obras que virão a ser executadas.

A realização de melhorias nas rodovias, como as obras de duplicação, tem se tornado frequentes. Por meio dessa classificação, será possível obter informações técnicas e aplicáveis na área de geologia de engenharia adequadas em função da geologia do local da obra.

## 1.1. Área de estudo

A área estudada (Figura 1) localiza-se na região sul-sudeste do estado de Minas Gerais, nas mesorregiões da Zona da Mata e Campo das Vertentes, compreendendo os municípios de Barbacena e Ressaquinha, respectivamente. A via de acesso principal para a região de estudo é pela própria rodovia BR-040 (Juscelino Kubitschek).

A BR-040 é uma rodovia federal radial do Brasil. O ponto inicial da rodovia fica localizado em Brasília (DF), enquanto que o ponto final fica localizado no Rio de Janeiro (RJ), mais especificamente na Rodoviária Novo Rio. A BR-040 passa pelo Distrito Federal e pelos estados de Goiás, Minas Gerais e Rio de Janeiro, sendo a principal ligação rodoviária entre estas unidades federativas. No estado mineiro, a rodovia corta diversos municípios, destacando-se as cidades de Sete Lagoas, Esmeraldas, Ribeirão das Neves, Contagem, Belo Horizonte, Nova Lima, Itabirito, Ouro Preto, Conselheiro Lafaiete, Ressaquinha, Barbacena e Juiz de Fora.

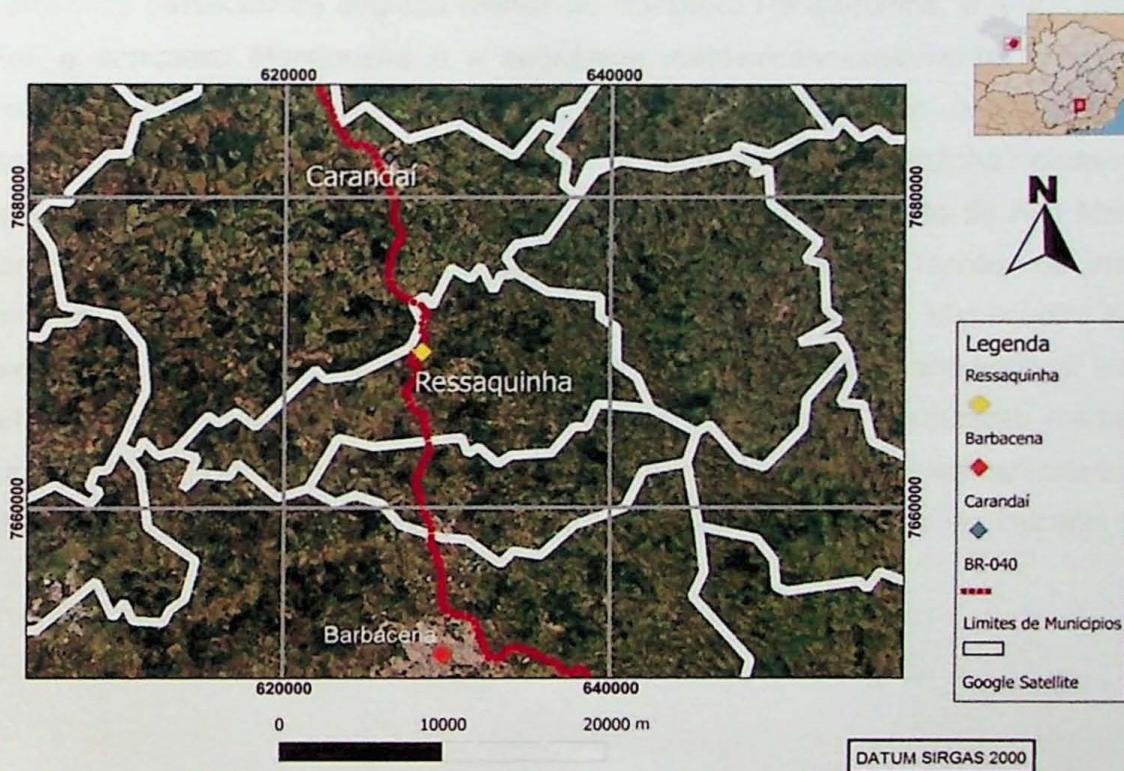


Figura 1: Localização da área de estudo.

## 2. OBJETIVOS

O trabalho visa elaborar uma investigação geotécnica no trecho compreendido entre os quilômetros 679 e 693, interpondo-se nos municípios de Ressaquinha e Barbacena, no estado de Minas Gerais. Essa investigação está sendo feita por meio da classificação e caracterização de maciços terrosos e rochosos, valendo-se de métodos de investigação em subsuperfície, tais como sondagens mecânicas (percussão, rotativa e mista), classificações

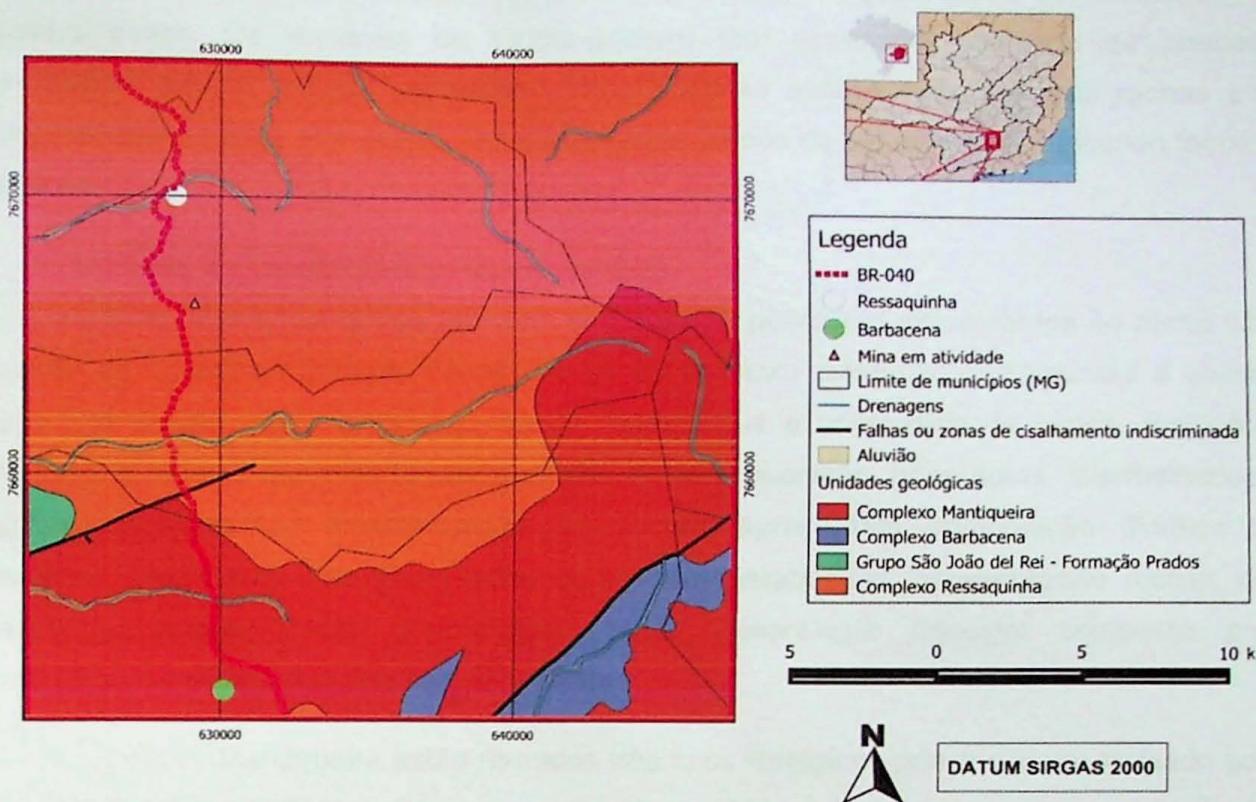
geotécnicas tradicionais e caracterização geomecânica de maciços rochosos, ensaios do tipo SPT (*Standard Penetration Test*) e classificação de rochas, como o RQD (*Rock Quality Designation*). Outra questão que será analisada envolverá os taludes de corte, identificando a espessura do solo, avaliando possíveis instabilidades relacionando a direção da estrada a ser duplicada com as estruturas geológicas, como as foliações e bandamentos, e avaliação sucinta do comportamento de água subterrânea no trecho estudado, diagnosticando possíveis impactos, como a estabilidade dos taludes.

### **3. TRABALHOS PRÉVIOS**

#### **3.1. Geologia regional**

A região de estudo encontra-se inserida em terrenos pré-cambriano, entre as províncias geotectônicas São Francisco e Mantiqueira (Almeida, 1977). Trata-se de uma área de evolução geológica complexa, em que houve superposição de eventos tectonometamórficos.

A província geotectônica engloba rochas do complexo Ressaquinha, o grupo São João Del Rei, o complexo Mantiqueira e a sequência metavulcanossedimentar do complexo Barbacena (Barbosa, 1985; Noce, 2000). A área de abrangência dessa província é caracterizada pela ocorrência de granitoides do complexo Ressaquinha, podendo ser correlacionado com o granito Congonhas (Guild, 1957) e com o batólito do Alto Maranhão (Grossi Sad *et al.*, 1983). O complexo Barbacena contempla rochas de natureza metamórficas, como as metassedimentares e gnaisses. O complexo Mantiqueira engloba gnaisses bandados de composição tonalito-trondjemítica e granito-granodiorítica, e corpos de metabasitos, um foliado de granulação fina, e o segundo de granulação média, com aspecto de gabro (Viana, 1991). O grupo São João del Rei encontra-se caracterizado na área pela formação Prados, constituída de filitos, calcifilitos e lentes de calcário (Ebert, 1967).



**Figura 2:** Mapa geológico regional do trabalho (modificado de Viana, 1991).

### 3.1.1. Descrição das unidades litoestratigráficas regionais

O complexo Ressaquinha consiste em rochas granitoides pouco deformadas. Este complexo foi dividido na folha Barbacena (Viana, 1991) em duas unidades principais, a primeira caracterizada pelo domínio de rochas de composição granodiorítica a monzogranítica, e a segunda corresponde aos domínios de granitoides de composição quartzo diorítica a tonalítica. Essas unidades apresentam intenso intemperismo imposto. Estruturalmente, o complexo Ressaquinha é cortado por uma zona de cisalhamento dúctil de alto ângulo, responsável pela implantação da foliação, afetando e paralelizando as litologias na área, com componente direcional NE-SW.

- Unidade 1 – biotita-granito, biotita-granodiorito, biotita-tonalito, monzonito e monzogranito

Esta unidade é caracterizada por um domínio de rochas leucocráticas, de cor cinza-claro a cinza, de granulação média a grossa, geralmente pouco deformada, com desenvolvimento de foliação incipiente gerada pela orientação da biotita. Localmente observa-se foliação proeminente, de aspecto xistoso, caracterizando zonas de cisalhamento, variando de poucos centímetros até dezenas de metros. Macroscopicamente, são constituídos de quartzo, feldspato, biotita e, em particular, pirita. Embora os litotipos dessa unidade apresentem um padrão relativamente homogêneo na granulação, a ocorrência de fenocristais de feldspato é frequente, que chegam a atingir 4-5 cm. Em alguns pontos foram

observadas evidências de caráter intrusivo, observando megaxenólitos de anfibolitos e biotita-gnaisses. Os enclaves de biotita-gnaisse têm dimensões variando de poucos centímetros até 10 metros, guardando características semelhantes aos das rochas do complexo Mantiqueira. Por último, são observados corpos de pegmatoides truncando todo o conjunto.

- Unidade 2 – quartzodiorito, diorito, tonalito

A área de ocorrência dessa unidade, em geral, é pobre em afloramentos de rocha sã. Quando se encontram frescas essas rochas apresentam coloração cinza-escura a quase preta, granulação média a grossa, pouco deformadas e compostas de biotita, anfibólio, feldspato e pouca quantidade de quartzo. A decomposição gera solos avermelhados, argilosos e saprólitos amarronzados. As rochas apresentam composição diorítica a tonalítica. Localmente são observados corpos de metabasitos, apresentando rochas de granulação média, pouco deformadas, tendo mineralogia principal composta por plagioclásio, anfibólio (hornblenda) e/ou biotita.

No complexo Mantiqueira estão reunidos três tipos litológicos principais: um formado por gnaisses de composição granítica a granodiorítica, outro por biotita-plagioclásio-gnaisses de composição tonalítica a trondhjemítica e um terceiro representado por metabasitos.

- Unidade 3 – gnaisses graníticos

São rochas com textura granolepidoblástica, estrutura bandada a xistosa, anastomosado. Mostram quantidades variáveis de microclínio (5 a 55%), plagioclásio (1 a 40%), quartzo (15 a 55%) e biotita (5 a 25%), apresentando diversos acessórios, como a apatita e o zircão. Esta mineralogia não define com segurança sua origem orto ou paraderivada para essas rochas, dificultando o estabelecimento de sua fácie metamórfica, pois a paragênese observada pode ter sido herdada da rocha original, sem mudanças significativas, apenas exibindo efeitos de uma tectônica cisalhante (Viana, 1991).

- Unidade 4 – gnaisses tonalíticos e trondhjemíticos

São rochas com textura granoblástica e granolepidoblástica, com foliação dada pelo alongamento dos minerais félscicos e pelo arranjo planar preferencial da biotita. Essa unidade foi definida como quartzo+plagioclásio+biotita+epidoto+muscovita, sugerindo condições metamórficas de fácie anfibolito.

- Unidade 5 – metabasitos

São rochas de granulação fina a média, de cor verde-escura a preta, com textura nematogranoblástica inequigranular e estrutura foliada a bandada, destacando-se bandas quartzo-feldspáticas. Apresenta como mineralogia essencial anfibólio (hornblenda) e plagioclásio (andesina). A rocha original foi interpretada como sendo um gabbro.

O grupo São João Del Rei teve seu termo definido por Ebert (1967) para englobar as formações Prados, Tiradentes, Carandaí e Barroso. A Formação Prados é a única divisão contida no trabalho.

- Unidade 6 – Formação Prados

As rochas dessa formação são constituídas basicamente por filitos, calcifilitos e lentes de calcário. Excluindo-se as lentes de calcário, as demais litologias encontram-se afetadas por intenso intemperismo, o que lhes confere diversas tonalidades de cores, como o vermelho, amarelo e roxo. A característica marcante desses filitos e calcifilitos é a laminação milimétrica, com alternância de lentículas de quartzo, pouco mica, e outra à base de minerais micáceos.

Por último, o complexo Barbacena é composto por uma sequência metavulcanossedimentar caracterizada por um conjunto de rochas xistosas, e rochas com aspecto gnaissico, finamente laminados e bastante xistosas (Ebert, 1984).

### 3.2. Geologia local

A geologia local da área de estudo é caracterizada por granitoides pertencentes ao Complexo Ressaquinha e por enclaves de biotita-gnaisse que apresentam características semelhantes às pertencentes ao complexo Mantiqueira (Figura 3).

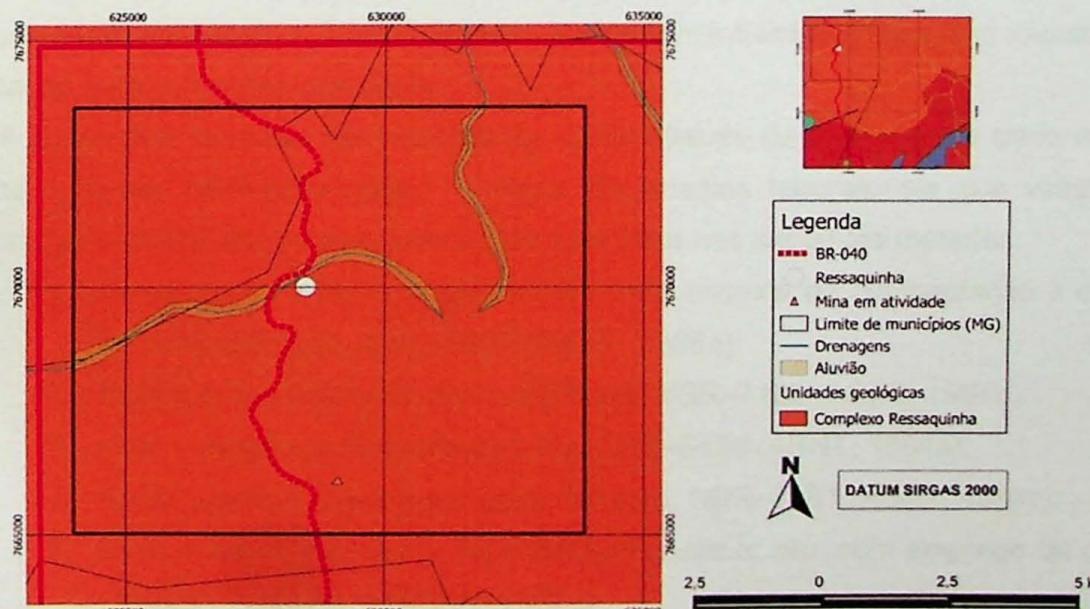


Figura 3: Mapa geológico local do trabalho (modificado de Viana, 1991).

#### **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

O desenvolvimento deste projeto utilizou sondagens executadas pela equipe de sondadores da empresa EPT, perfazendo o total de 61 sondagens, compondo-se de 39 sondagens à percussão, divididas em 17 para aterro, 15 para corte, quatro para intersecção e três para passarela, três sondagens mistas, sendo uma para passarela e dois para viadutos, e 19 a trado para classificação de materiais para pavimentação ao longo do trecho estudado.

As sondagens à percussão e rotativas foram executadas de acordo com a NBR-6484 - Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento do Solo (ABNT, 2001) e com o manual de sondagens da ABGE (2013), respectivamente, permitido a obtenção de amostras que posteriormente foram classificadas pelo aluno. Para a caracterização do solo e do maciço rochoso foram utilizados, por exemplo, resultados de ensaios SPT (*Standard Penetration Test*) e o método RQD (*Rock Quality Designation*), respectivamente. Após essas análises, as coordenadas dos furos de sonda foram lançadas em planta de modo confeccionar a seção geológica. Esta contém as relações de contato, as correlações e interpretações entre as diferentes unidades geológico-geotécnicas. Por último, foram identificadas e avaliadas as características geológicas e geotécnicas dos materiais, comparando com as informações presentes na literatura.

Os ensaios de solos foram realizados no próprio laboratório da EPT por técnicos da empresa, sendo que nestas atividades não houve participação do estudante. Isso se deu em função da ausência de compatibilidade de atividades do aluno no ofício. Entretanto, para aperfeiçoamento do trabalho, foram utilizados dados e resultados obtidos dos ensaios para classificação e propriedades dos solos.

A coleta dos materiais para análise foi obtida através de sondagem a trado manual, conforme a norma NBR-9603 (ABNT, 1986c). Os ensaios laboratoriais que virão a ser apresentados neste relatório transcorreram-se com base nos seguintes métodos:

1. Amostras de solo, com preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, NBR-6457 (ABNT, 1986a);
2. Determinação do limite de plasticidade, NBR-7180 (ABNT, 1984b);
3. Determinação do limite de liquidez, NBR-6459 (ABNT, 1984a);
4. Análise granulométrica por peneiramento, NBR-7181 (ABNT, 1984c);
5. Determinação da massa específica aparente *in situ*, com emprego do cilindro biselado, NBR-9813 (ABNT, 1987a);
6. Ensaio de compactação de solos, NBR-7182 (ABNT, 1986b);
7. Índice de suporte Califórnia, NBR-9895 (ABNT, 1987b).

Com base nos resultados apresentados pelos ensaios laboratoriais e pela classificação tátil-visual foi possível caracterizar as amostras de solos e das rochas. A classificação de

solos consiste na análise de ensaios de granulometria e do limite de Atterberg, compreendendo o limite de liquidez e de plasticidade, a fim de determinar o estado do solo. A caracterização das rochas do maciço consiste na análise do grau de faturamento e sua alteração, na determinação de seu RQD e na determinação do nível do lençol freático.

A classificação tático-visual baseia-se no ato de diferenciar os solos através do tato e da visão, e utilizada pelo aluno para descrever as amostras. No campo tático podem-se definir as diferentes composições granulométricas de uma amostra através do atrito do material com as mãos, separando os finos dos grosseiros (argila, silte, areia e pedregulho). O nível de plasticidade é obtido durante a tentativa de moldar cilindros de solo (argilas e siltos argilosos são moldáveis, as areias e siltos arenosos não). A análise visual contempla a identificação de relíquias de estrutura, a disposição e formato dos pedregulhos e a definição das cores dominantes na amostra. Adicionalmente, é possível diferenciar amostras por olfato, como matérias orgânicas e contaminantes, por exemplo.

As amostragens de solo e rocha são realizadas por meio de sondagens manuais (trado e percussão) e mecânicas (rotativa e mista). As sondagens à percussão e rotativas fornecem, como no caso das obras de arte, subsídios necessários à escolha do tipo mais adequado de fundação, onde as características implicam no carregamento do terreno. As amostragens por sondagens são utilizadas para a definição dos taludes de corte. Com base nos dados amostrados, confecciona-se um perfil geológico, indicando as categorias dos materiais presentes, para efeito de escavação e estimativa dos taludes adequados, tendo em vista a estabilidade dos cortes.

Esse método de investigação em subsuperfície ainda permite definir o aterro a ser utilizado na obra, implicando tanto na consideração das características do material com o que será construído quanto no fornecimento das condições de sua fundação.

#### **4.1. Sondagens**

As sondagens seguem as diretrizes da ABGE (2013) e da norma NBR-6484 (ABNT, 2001).

Os tipos de sondagens realizadas na obra da BR-040 e cujas amostras foram descritas no presente trabalho são: trado, percussão, rotativa e mista, sendo estas descritas, de acordo com o Manual de Sondagens da ABGE (2013), com mais detalhes nos itens abaixo.

- Sondagem a trado

Sondagem a trado é um método de investigação que utiliza um trado como ferramenta de perfuração. Este, por sua vez, é um tipo de amostrador de solo constituído por lâminas cortantes e compostas por duas peças, de forma convexa e helicoidal. Esse tipo de

sondagem não utiliza revestimento e é executada com ferramentas manuais, atravessando usualmente apenas a camada de solo de baixa resistência à perfuração.

A perfuração a trado é geralmente interrompida ao alcançar um material mais resistente do que o solo, tal como uma camada de seixos ou de rocha alterada, mesmo de baixa coerência, ou então logo após atingir o nível d'água subterrâneo, devido a instabilidade das paredes do furo.

- Sondagem à percussão

Sondagem à percussão é um método de investigação de solo onde o avanço da perfuração é feito por meio de trado ou por circulação de água (lavagem), sendo utilizada a cravação de um amostrador para a medida de índices de resistência à penetração, obtenção de amostras, determinação do nível d'água e execução de ensaios *in situ*.

A atividade dentro da sondagem à percussão é a obtenção de índices de resistência de penetração do solo, indicando o comportamento relacionado à compacidade e capacidade para adequação como fundação para a implantação da obra.

O ensaio SPT (*Standard Penetration Test*), no Brasil, é normatizado, em termos de procedimentos e equipamentos, conforme a NBR-6484 (ABNT, 2001). A sondagem SPT é executada em três etapas diferentes, sendo elas repetidas para cada metro de profundidade: a perfuração, ensaio de amostragem e amostragem (Clayton, 1993).

No ensaio, um amostrador padronizado cravado é utilizado para sustentar a queda de um martelo de 65 kg em uma altura de 75 cm, registrando-se o número de golpes necessários para gravar 45 cm no solo.

O valor de SPT adotado, denominado  $N_{SPT}$ , corresponde à somatória do número de golpes necessários para a cravação dos 30 cm finais do ensaio. A amostragem do solo neste trecho corresponde ao material coletado contido no bico do amostrador.

A sondagem à percussão apresentará sugestão de término quando se atingindo a profundidade especificada na programação dos serviços. Outro motivo ocorre quando ocorrer à condição de impenetrabilidade, na qual a cravação é interrompida à medida que se obtiver penetração inferior a 5 cm após dez golpes consecutivos, não se computando os cinco primeiros golpes do teste, ou quando o número de golpes ultrapassar 50 em um mesmo ensaio (45 cm do amostrador). Nessas condições, o material será considerado impenetrável ao SPT, devendo ser anotados o número de golpes e a respectiva penetração. O último motivo de término acontece quando está prevista sua continuidade pelo processo rotativo.

Atingindo o impenetrável ao ensaio SPT e havendo interesse no prosseguimento da sondagem pelo método à percussão, é realizado o ensaio de lavagem por tempo. Esse

ensaio tem como objetivo avaliar a penetrabilidade do solo ao avanço do trépano de lavagem e consiste na aplicação de um sistema d'água da altura de aproximadamente 0,3 m. Durante a queda do nível d'água, deve ser manualmente imprimido um movimento de rotação na coluna de hastas por trinta minutos, anotando-se os avanços obtidos a cada dez minutos de período. Quando forem obtidos no ensaio avanços inferiores a 5 cm em três períodos consecutivos de dez minutos, o material é considerado impenetrável à lavagem por tempo.

- Sondagem rotativa

Sondagem rotativa é um método de investigação que consiste no uso de um conjunto motomecanizado destinado à perfuração de maciços rochosos e obtenção de amostras de materiais rochosos com formato cilíndrico, denominadas testemunhos.

A sondagem desse tipo consiste na perfuração com máquina motorizada que simultaneamente rotaciona e aplica pressão. O conjunto de perfuração é composto por hastas, barrite e coroa diamantada. A sondagem rotativa retira testemunhos da rocha perfurada, que são acomodados em caixas plásticas ou de madeira. Os tipos de diâmetro do furo e testemunho são definidos pela tabela 1.

Tabela 1: Nomenclatura e diâmetro de furos e testemunho (Oliveira *et al.*, 1998)

Nomenclatura	Diâmetro (mm)	
Padrão	Furo	Testemunho
EW	37,71	21,46
AW	48,00	30,10
BW	59,94	42,04
NW	75,64	54,73
HW	99,23	76,20

- Sondagem mista

Sondagem mista é um método de investigação que conjuga a sondagem à percussão (para o trecho em solo) e a sondagem rotativa (para o trecho em rocha). Dessa forma, aplicam-se às sondagens mistas os mesmos procedimentos das sondagens rotativas e percussivas, estas apenas no que se trata ao ensaio SPT e à amostragem.

## 4.2. Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de solo

Segundo Vaz (1996), há dois tipos de solos, os residuais e os transportados, que apresentam classificações distintas. Para os solos residuais, propõe-se um perfil de intemperismo com dois horizontes de solo e três de rocha. Já os tipos de solos transportados são definidos de acordo com seu processo de origem.

A classificação geológica dos solos é feita a partir da rocha de origem (protólito), levando em consideração o processo de formação do solo (sendo, por esse motivo, também denominada de classificação genética). Os solos são produzidos através de dois processos geológicos. O primeiro é o intemperismo, no qual há desagregação e decomposição da rocha, dando origem aos solos residuais. O outro processo é a formação de solos envolvendo a erosão, transporte e deposição de materiais existentes na superfície, produzindo os chamados solos transportados.

### 4.2.1. Perfil de intemperismo de regiões tropicais

Os perfis de intemperismo são definidos de acordo com a intensidade dos processos intempéricos nos horizontes de solo. Para a definição dos horizontes de rocha são utilizados os graus de alteração mineralógica, enquanto que a definição dos horizontes de transição considera as porcentagens relativas de solo e de rocha (Figura 4).

CLASSIFICAÇÃO	CLASSES	PERFIL DE INTEMPERISMO	PROCESOS	MÉTODOS DE		COMPORTAMENTO
				ESCAVAÇÃO	PERFURAÇÃO	
SOLO RESIDUAL	S1	SOLO VEGETAL	PEDELOGICOS	LÂMINA DE AÇO ("SCRAPER", ENXADÃO, FACA)	1	HOMOGÊNEO ISOTÓPICO
SOLO ELUVIAL (SEI)	S2	SOLO DE ALTERAÇÃO (ISA) SAPROLITO	INTEMPERÍCOS QUÍMICOS	ESCARIFICADOR (PICARETA)	2	HETEROGENEO ANISOTÓPICO
ROCHA	R3	ROCHA ALTERADA MOLE (RAM)	INTEMPERÍCOS QUÍMICOS	A PERCUSSÃO COM LAVAGEM	3	DEPENDENTE DO TIPO DE ROCHA
	R2	ROCHA ALTERADA DURA (RAD)	INTEMP. FÍSICOS	A PERCUSSÃO COM LAVAGEM	4	
	R1	ROCHA SÁ (RS)	INCIDENTES OU AUSENTES	EXPLOSIVO	5	

Figura 4: Perfil de intemperismo para regiões tropicais (Vaz, 1996)

#### 4.2.1.1. Horizontes de solo residual

Os dois horizontes de solo foram englobados pela determinação do solo residual separando-se da rocha pelo critério do processo de escavação, sendo o solo o material escavável. A base do solo residual corresponde ao limite de perfuração a trado manual ou ao limite para execução dos ensaios SPT nas sondagens à percussão. Quando a perfuração a trado for suspensa devido a outros fatores, por exemplo, pela presença de água subterrânea, o limite será fixado apenas pelo impenetrável ao SPT.

- Solo eluvial (SE)

O solo eluvial ou eluvionar (SE) é chamado de horizonte S1 para caracterizar a camada superior do solo residual, tendo sua diferenciação através dos processos pedogenéticos. Originalmente, essa camada foi chamada de solo superficial, mas o termo associa-se com a superfície do terreno, sendo empregado para caracterizar o solo que ocorre na superfície do terreno independentemente de sua origem geológica.

O solo eluvial é homogêneo em relação à cor, a granulação do material e composição mineralógica. Apresenta ausência total de textura e estrutura da rocha matriz em termo de relíquias de estrutura. A mineralogia desses solos é constituída pelo grupo dos argilominerais e por minerais quimicamente inerentes, sendo o mais comum o quartzo.

- Solo de alteração (SA)

O horizonte S2 foi denominado solo de alteração para denominar a camada que se encontra em processo de alteração mineralógica, na qual os processos pedogênicos são incipientes ou limitados. Os termos solo de alteração e saprolito são sinônimos, podendo ser identificados como solo residual jovem.

O solo de alteração é heterogêneo em relação à cor, textura e composição mineralógica. Essa heterogeneidade é decorrente da manutenção do arranjo dos minerais segundo a rocha matriz original. As eventuais estruturas na rocha podem estar preservadas nessa camada. A mineralogia dos solos de alteração é constituída por argilo-minerais neo-formados e minerais de rocha em processo de alteração química, sendo os minerais de rocha quimicamente inerentes, como o quartzo, além da presença de fragmentos de rocha.

#### 4.2.1.2. Horizontes de rocha

As rochas que são suscetíveis à alteração dependem das condições ambientais, das características do maciço rochoso e das propriedades da rocha (Zhao *et al.*, 1994). A presença de estruturas externas (falhas) e condições hidrogeológicas são os fatores que comandam as características dos maciços rochosos, como a composição mineralógica, as estruturas internas (xistosidade), a porosidade e as microestruturas dos minerais.

- Rocha alterada mole (RAM)

O horizonte R3 foi denominado de rocha alterada mole devido a sua escabilidade, que só pode ser manual. Nas sondagens à percussão, configura como o material que é perfurado pelo processo de lavagem. No RAM, os minerais de rocha encontram-se fortemente alterados e descoloridos, sendo incipiente a transformação para minerais de solo.

- Rocha alterada dura (RAD)

O limite de escavação com escarificador, exigindo a utilização de explosivo para o desmonte, marca a separação entre RAM e RAD. Nas rochas duras, o impenetrável à lavagem por tempo das sondagens à percussão identifica o topo do RAD, sendo que esse último critério não pode ser aplicado isoladamente. Na RAD, os minerais apresentam-se levemente descoloridos, mais notadamente ao longo das fraturas com passagem de água.

- Rocha sã (RS)

A distinção entre RAD e RS é feita através da alteração mineralógica, em que os processos de escavação, com explosivo e de perfuração, com rotativa, são os mesmos para ambos os tipos. O horizonte de RS apresenta minerais sãos ou praticamente sãos, com suas cores e resistências originais ou pouco afetadas.

#### *4.2.2. Solos transportados*

Os solos transportados são identificados pelo processo de formação, possuindo como característica sua idade recente. Uma das principais formas de ocorrência de solo transportado são os aluviões.

Os aluviões são constituídos por materiais retrabalhados, erodidos, transportados e depositados em leitos e margens de cursos de água, assim como em fundos e margens de lagoas e lagos, associados a ambientes fluviais. A camada aluvionar é, por vezes, heterogênea, apresentando constituição predominante de pacotes argilosos e arenosos. Nos sedimentos arenosos, a matéria orgânica é removida normalmente durante o intemperismo. Entretanto, quando o material depositado apresenta baixa permeabilidade, como as argilas, a matéria orgânica permanece incorporada, dando origem a pacotes argilosos ricos em matérias orgânicas. Esse material é proveniente da sedimentação, que gera o soterramento de restos vegetais desenvolvidos nas margens dos rios e preserva parte do material orgânico.

#### 4.2.3. Características de um perfil de alteração para taludes de corte

Para taludes de corte, Deere & Patton (1971) confeccionaram um perfil de alteração de rochas ígneas e metamórficas (Figura 5) associando cada horizonte com o procedimento de corte a ser realizado, relacionando espessura e altura, com finalidade de garantir sua estabilidade.

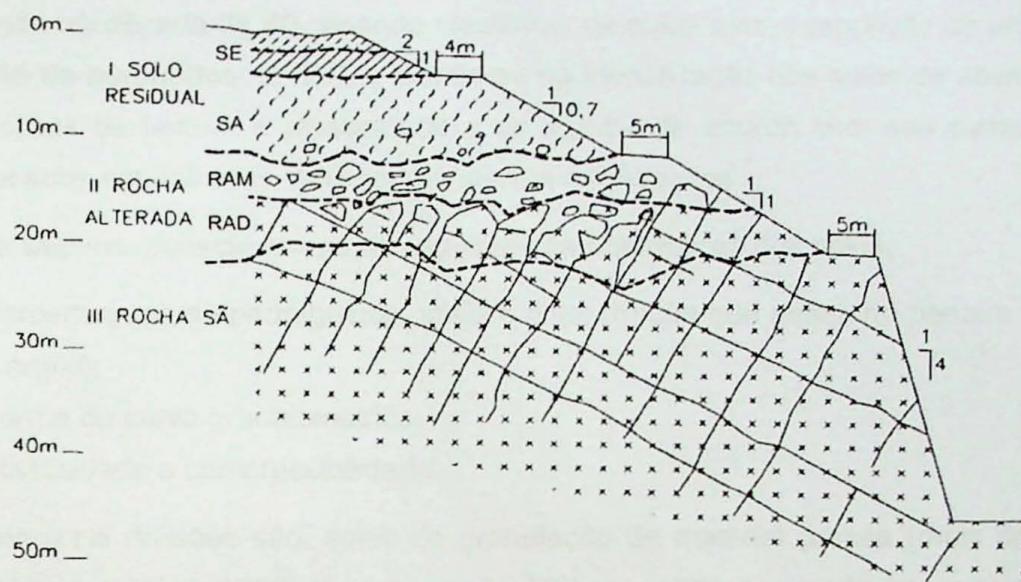


Figura 5: Perfil de alteração de rochas ígneas para taludes de corte (Deere & Patton, 1971).

Na figura acima, é possível notar que em horizontes com maior degradação intempérica a relação de espessura *versus* altura é maior, ou seja, para o talude manter-se estável é necessária espessura maior do que a altura do talude. Já no horizonte de rocha sã, a estabilidade é possível quando a espessura do horizonte é quatro vezes menor do que sua respectiva altura. Em horizontes de solos eluviais (SE) a relação de espessura e altura é 2:1; em saprolitos (AS) é 3:2; em horizontes de rocha alterada mole e dura (RAM e RAD), essa razão é de 1:1; e em rocha sã (RS) a relação é de 1:4.

#### 4.3. Classificações geotécnicas tradicionais

As classificações geotécnicas denominadas tradicionais foram desenvolvidas em países de clima temperado e são baseadas essencialmente nas propriedades geotécnicas dos materiais, como o índice de limite de Atterberg, e na composição e granulação dos materiais dos solos.

As classificações mais difundidas no território brasileiro são a Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) e a *Transportation Research Board* (TRB), para finalidades rodoviárias.

No trabalho, a classificação MCT não foi utilizada, visto que não foram solicitados pelo projetista estes ensaios. Essa identificação apresenta maior qualificação para solos lateríticos e possui grande utilidade em países de clima tropical.

#### 4.3.1. Sistema unificado de classificação de solos (SUCS)

O Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) foi introduzido por Arthur Casagrande na década de 40, visando classificar os solos com o propósito de utilizá-los na construção de aeroportos. O SUCS baseia-se na identificação dos solos de acordo com as características de textura e plasticidade e os agrupa de acordo com seu comportamento quando usados em estradas, aeroportos, aterros e fundações.

Neste sistema, consideram-se as seguintes características dos solos:

- Percentagens de pedregulhos, areia e finos (fração que passa na peneira #200: silte e argila);
- Forma da curva granulométrica;
- Plasticidade e compressibilidade.

As principais divisões são: solos de granulação de material grossa (mais de 50% em peso retido na peneira #200), fina (mais de 50% em peso passando na peneira #200) e altamente orgânicos (facilmente identificáveis pelo seu aspecto).

Para a aplicação do SUCS, a tabela 2 a seguir fornece os métodos de identificação de campo e laboratório, e as características dos grupos de solos referentes a estradas e aeroportos.

As vantagens do emprego do SUCS consistem no exercício da identificação de solos em campo, na adoção de uma simbologia que diz respeito à natureza do solo e no valor prático das indicações que a classificação proporciona à engenharia de solos.

**Tabela 2:** Sistema unificado de classificação de solos (modificado de ASTM, 1990).

SOLOS DE GRADUAÇÃO GROSSA: mais de 50% retido na peneira nº 200	Pedregulhos: 50% ou mais da fração graúda retida na peneira nº 4	Pedregulho sem finos	GW	Pedregulhos bem graduados ou misturas de areia de ped com pouco ou nenhum fino.
			GP	Pedregulhos mau graduados ou misturas de areia e ped com pouco ou nenhum fino.
		Pedregulho com finos	GM	Pedregulhos siltosos ou misturas de ped, areia e silte.
			GC	Pedregulhos argilosos, ou mistura de ped, areia e argila.
	Areias: 50% ou mais da fração graúda passando na peneira nº 4	Areias sem finos	SW	Areias bem graduadas ou areias pedregulosas, com pouco ou nenhum fino.
			SP	Areias mau graduadas ou areias pedregulosas, com pouco ou nenhum fino.
		Areias com finos	SM	Areias siltosas - Misturas de areia e silte.
			SC	Areias argilosas - Misturas de areia e argila.
	SILTES e ARGILAS com LL ≤ 50		ML	Siltos inorgânicos - Areias muito finas - Areias finas siltosas e argilosas.
			CL	Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade - Argilas pedregulosas, arenosas e siltosas.
			OL	Siltos orgânicos - Argilas siltosas orgânicas de baixa plasticidade.
		MH	Siltos - Areias finas ou siltos micáceos - Siltos elásticos.	
		CH	Argilas inorgânicas de alta plasticidade.	
		OH	Argilas orgânicas de alta e média plasticidade.	
	Solos Altamente Orgânicos	PT	Turfas e outros solos altamente orgânicos.	

A tabela de propriedades dos solos segundo a classificação SUCS está representada abaixo (Tabela 3) e contém características do solo como, por exemplo, a trabalhabilidade como material de construção, a permeabilidade, a resistência compacta e saturada, compressibilidade compacta e saturada, densidade aparente seca máxima, valor como fundação e características de drenagem.

**Tabela 3:** Propriedades dos solos segundo a classificação SUCS (modificado de ASTM, 1990).

SÍMBOLO DO GRUPO	TRABALHABILIDADE COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	PERMEABILIDADE QUANDO COMPACTO	RESISTÊNCIA COMPACTA-DA E SATURADA	COMPRESSIBILIDADE COMPACTADA E SATURADA	$\gamma'_d$ max kg/m <sup>3</sup> (PN)	VALOR COMO FUNDAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DE DRENAGEM
GW	Excelente	Permeável	Excelente	Desprezível	20,0 a 22,0	Boa a excelente	Excelente
GP	Boa	Desprezível	Boa	Desprezível	18,0 a 20,0		Excelente
GM	Boa	Semip. a perm.	Boa	Desprezível	19,0 a 22,0		Regular a má
GC	Boa	Impermeável	Reg. a boa	Muito pequena	18,5 a 21,0		Má
SW	Excelente	Permeável	Excelente	Desprezível	17,5 a 21,0		Excelente
SP	Regular	Permeável	Boa	Muito pequena	16,0 a 19,0	Má a boa	Excelente
SM	Regular	Semip. a perm.	Boa	Pequena	17,5 a 20,0	Má a boa	Regular a má
SC	Boa	Impermeável	Reg. a boa	Pequena	17,0 a 20,0	Má a boa	Má
ML	Regular	Semip. a perm.	Regular	Média	15,0 a 19,0	Muito má	Regular a má
CL	Regular a boa	Impermeável	Regular	Média	13,0 a 16,0	Má a boa	Má
OL	Regular	Semip. a perm.	Baixa	Média	11,0 a 15,0	Má	Má
MH	Má	Semip. a perm.	Baixa a reg.	Alta	11,0 a 15,0	Má	Regular a má
CH	Má	Impermeável	Baixa	Alta	12,0 a 17,0	Regular a má	Má
OH	Má	Impermeável	Baixa	Alta	11,0 a 16,0	Muito má	Má
PT	Compactação extremamente difícil. Não utilizados como aterro. Devem ser removidos das fundações. Recalques excessivos. Resistência muito baixa.						

Obs.: PN = Proctor Normal

$\gamma'_d$  max = Densidade aparente seca máxima

#### 4.3.2. Classificação TRB (Transportation Research Board)

Segundo essa classificação, os solos são reunidos em grupos e subgrupos em função da granulação do material, dos limites de consistência e do índice de grupo. Na Tabela 4 abaixo é mostrado o quadro de classificação dos solos, segundo o TRB. Determina-se o grupo do solo, por processo de eliminação da esquerda para a direita, no quadro de classificação. A classificação correta será o primeiro grupo a partir da esquerda, com o qual os valores do solo ensaiado coincidir.

**Tabela 4:** Classificação dos solos segundo a TRB (DNIT, 2006).

<u>CLASSIFICAÇÃO GERAL</u>	MATERIAIS GRANULARES (35% OU MENOS PASSANDO NA PENEIRA Nº 200)								MATERIAIS SILTO-ARGILOSOS (MAIS DE 35% PASSANDO NA PENEIRA Nº 200)			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7	
A - 1 - a				A - 2 - 4		A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7			A - 7 - 5	
<b>Granulometria:</b>												A - 7 - 6
% passando na peneira:												
Nº. 10 (2,0 mm.)	50 máx.											
Nº. 40 (0,42 mm.)	30 máx.	30 máx.	51 min.									
Nº. 200 (0,074mm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.	
Característica da fração passando na peneira nº. 40:												
Límite de Liquidez (%)				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	
Índice de Plasticidade (%)	6 máx.	6 máx.	NP	10máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	
<b>Índice de Grupo (IG)</b>	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 max.	16 máx.	20 máx.	
<b>Materiais constituintes</b>	Fragmentos de pedra, pedregulho fino e areia fina	Areia fina		Pedregulhos ou areia siltosas ou argilosas				Solos siltosos		Solos argilosos		
<b>Comportamento como subleito</b>	Excelente a bom								Sofrível a mau			

\* O IP do grupo A - 7 - 5 é igual ou menor do que o LL menos 30; se maior será A - 7 - 6.

O Índice de Grupo (IG) é um número inteiro com intervalo de variação entre 0 a 20 que é dado em função da porcentagem de material que passa na peneira nº 100 e das propriedades de índices (LL e IP), podendo ser obtida através da equação:

$$IG = (F - 35) \times [0.2 + 0.005 \times (LL - 40)] + 0.01 \times (F - 15) \times (IP - 10),$$

Sendo: F é a porcentagem de solo que passa na peneira nº 200, expressa em número inteiro; LL é o limite de liquidez (%) e IP sendo o índice de plasticidade (%).

Os valores extremos (0-20) de Índice de Grupo representam diferentes comportamentos como subleito e materiais constituintes. O extremo de menor valor inclui materiais com fragmentos de pedras e pedregulho fino e areia, com comportamento como subleito excelente a bom, enquanto que o extremo de maior valor descreve solos argilosos de comportamento sofrível a mal.

#### 4.3.3. Caracterização geotécnica em rochas

Para trechos em maciços rochosos, as amostras são provenientes de testemunhos de sondagens mistas, nas quais se observa a alteração, coerência, fraturas, recuperação dos testemunhos (em porcentagem) e o RQD (*Rock Quality Designation*) conforme especificado nas tabelas a seguir.

**Tabela 5:** Graus de alteração e de coerência da rocha. Serra Júnior e Ojima (1998).

GRAU DE ALTERAÇÃO		GRAU DE ALTERAÇÃO	
A1	SÃ	C1	MUITO COERENTE
A2	POUCO ALTERADA	C2	COERENTE
A3	MEDIANAMENTE ALTERADA	C3	MEDIANAMENTE COERENTE
A4	MUITO A EXTREMAMENTE ALTERADA	C4	POUCO COERENTE

**Tabela 6:** Classes de fraturamento. Serra Júnior e Ojima (1998).

GRAU DE FRATURAMENTO	QUANTIDADE DE FRATURAS POR METRO	DESCRIÇÃO
F1	0 a 1	POUCO FRATURADO
F2	2 a 5	FRATURADO
F3	6 a 10	MUITO FRATURADO
F4	11 a 20	EXTREMAMENTE FRATURADO
F5	Mais de 20	FRAGMENTADO

O RQD (*Rock Quality Designation*), um parâmetro proposto por Deere *et al.*, (1967) é frequentemente utilizado no estudo geotécnico, principalmente na classificação de sondagens, para determinar a qualidade do maciço rochoso. Essa medida é dada pela somatória dos comprimentos dos testemunhos maiores ou iguais a 10 cm, dividido pelo comprimento total do trecho (expresso em porcentagem), sendo definida pela expressão:

$$RQD = \left( \sum_{i=1}^n p \div n \right) \times 100$$

Sendo:  $p$  = número de peças maiores que 10 cm e  $n$  = comprimento da manobra de avanço da perfuração da sondagem.

Após a definição quantitativa do RQD para cada trecho, é possível classificá-lo conforme seu grau de qualidade (Tabela 7).

**Tabela 7:** Qualidade do maciço rochoso segundo RQD. Deere *et al.*, (1967).

GRAU	%	QUALIDADE DA ROCHA
R1	100-91	Excelente
R2	90-70	Boa
R3	75-51	Regular
R4	50-26	Má
R5	25-0	Péssima

#### 4.4. Fundações

Fundação é o elemento que transfere ao terreno as cargas que são aplicadas à estrutura para o solo (Abrahão e Velloso, 1998). As fundações são classificadas em dois principais grupos: fundações superficiais e profundas.

- Fundações superficiais

As fundações superficiais, também chamadas de rasas ou diretas, são aquelas em que a carga é transmitida ao terreno pelas pressões distribuídas sob a base da fundação e em que a profundidade do assentamento, em relação ao terreno adjacente, é inferior a duas vezes a menor dimensão da estrutura. Distinguem-se os tipos: bloco, sapata e viga de fundação.

- Fundações profundas

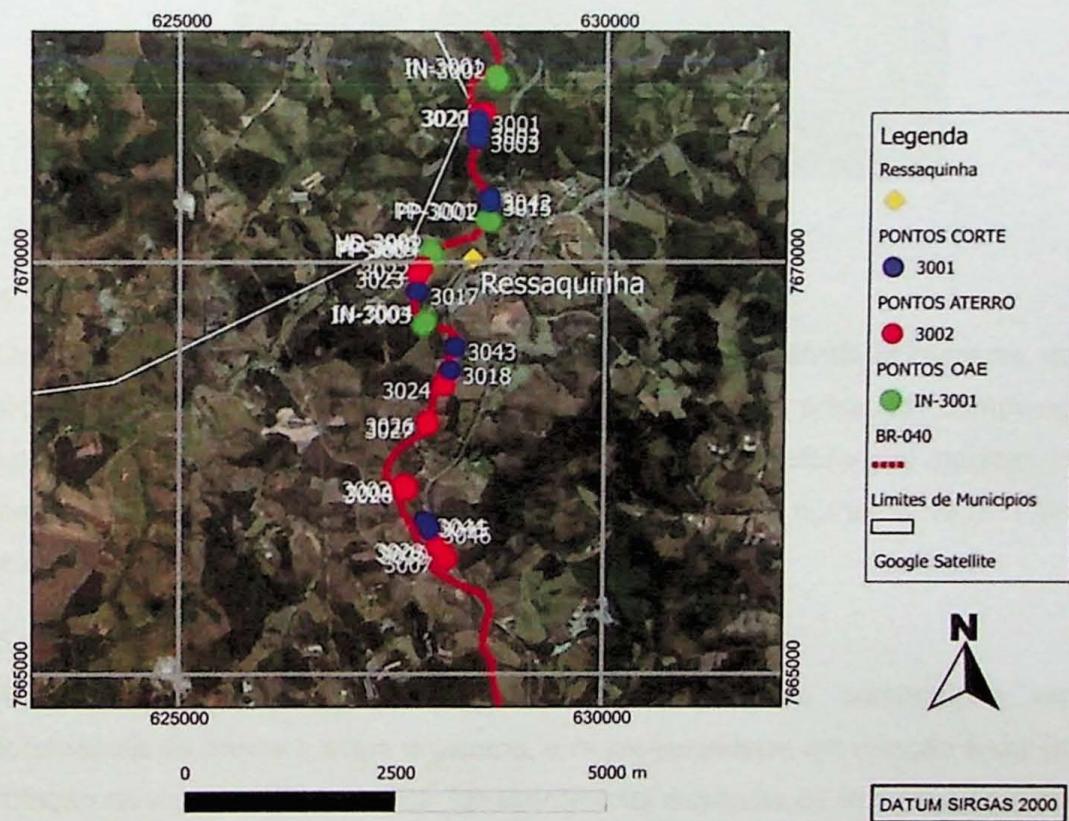
As fundações profundas, ou indiretas, estão dispostas a uma profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta. Esta profundidade poderá ser inferior desde que sejam determinadas as capacidades de carga do solo que justifiquem tal decisão e que o dimensionamento da estrutura seja compatível. As fundações profundas transmitem a carga do terreno pela base, por sua superfície lateral, ou por uma combinação das duas. Dentre diversos tipos, destacam-se a estacas pré-moldada, hélice-continua e raiz, e o tubulão. Os tubulões vêm sendo usados com menor frequência por empresas devido à baixa segurança durante sua construção, de modo que o uso de estacas é mais indicado.

Decidido o emprego de uma fundação profunda tem-se que selecionar o mais adequado para cada ocasião. Para isso são consideradas as cargas, a presença de construções contíguas e a própria natureza do terreno. Quando as cargas forem elevadas, pode-se pensar em estacas raiz, pré-moldadas e tubulões. Para cargas menores, opta-se pela escolha de estacas pré-moldadas, hélice-contínua, metálicas e tipo Strauss, por exemplo.

Para obras em campo aberto, devido a não preocupação quanto a efeitos de choques e vibrações, qualquer um dos tipos citados anteriormente pode ser utilizado. Havendo construções contíguas, como em centros urbanos, deve-se dar preferência aos procedimentos executivos que não provoquem choques ou vibrações, sendo mais adequado o tipo estaca hélice-contínua.

## 5. RESULTADOS

No presente trabalho, foram descritas pelo aluno 39 sondagens à percussão e três mistas. Por último, foram analisadas 19 sondagens a trado. Com base nesses dados, foram elaborados perfis geológicos e, posteriormente, uma seção geológica ao longo da BR-040 (Figura 6). As análises laboratoriais definirão a finalidade dos materiais de empréstimos para a obra.



**Figura 6:** Mapa da localização dos furos de sondagem

## 5.1. Unidades geológico-geotécnicas

As amostras de sondagem foram descritas e classificadas pelo aluno com base na classificação tático-visual. Assim, foi possível definir as unidades geológico-geotécnicas presentes na região de Ressaquinha, sendo elas: aterro, aluvião, solo de alteração e horizonte de rocha (vide item 4.2 - classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de solo).

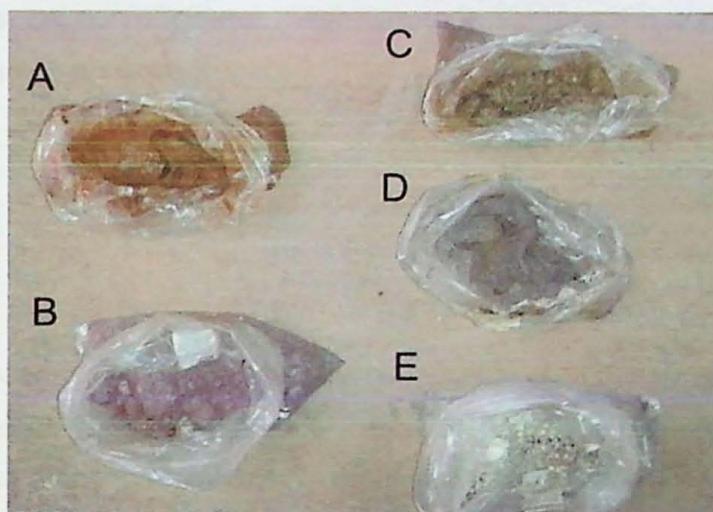


Figura 7: Amostras de sondagens

### 5.1.1. Aterro

Os aterros são depósitos formados como resultado da atividade humana, denominados tecnogênicos (Oliveira et al., 1998). As amostras descritas possuem composição variada, com predominância de argilas siltosas e arenosas, de cor preferencial marrom. Há presença de matéria orgânica e fragmentos de rocha (Figura 7A). Os números de SPT das amostras são baixos, com valores abaixo de dez.

### 5.1.2. Solo eluvial

As amostras de solos eluviais descritas apresentam composição variada, com predominância de areias e siltes argilosos, e homogeneidade em relação à cor (marrom) e a granulação do material (Figura 7B). Apresenta total ausência de textura e estrutura da rocha matriz em termo de relíquias de estrutura.

### 5.1.3. Aluvião

Já as amostras de aluvião apresentam duas divisões distintas principais. A primeira trata-se de depósitos fluviais de composição argilosa que apresentam matéria orgânica, em algumas camadas de forma disseminada, de cor cinza-escuro e preto, geralmente muito plástica, de consistência mole a muito mole (Figura 7D).

A segunda divisão refere-se aos depósitos fluviais compostos por areias, de cor amarelo a cinza, contendo matéria orgânica e mica detritica, fofa a medianamente compacta (Figura

7E). As porções de maior compacidade estão associadas à presença de cascalho em sua composição.

#### 5.1.4. Solo de alteração

Este horizonte corresponde ao meio geotécnico denominado solo de alteração, apresentando seu limite quando, no ensaio à percussão, é constatado a não penetração por lavagem de tempo. As amostras de furo de sondagem descritas são constituídas por siltes arenosos a argilosos, de compacidade medianamente compacta a compacta, de cor cinza amarelado, vermelha e arroxeadas (Figura 7C).

#### 5.1.5. Horizonte de rocha

O horizonte de rocha presente ao longo do trecho amostrado corresponde aos granitoides do Complexo Ressaquinha. Essa unidade apresenta duas subdivisões associadas aos níveis de alteração, relacionadas ao avanço da profundidade (Vaz, 1996).

O primeiro horizonte corresponde ao meio geotécnico denominado rocha alterada mole, ou seja, é a camada do embasamento de maior alteração intempérica. É constituído por siltes arenosos, de granulação fina a média e com composição micácea e caulinítica. Nesse horizonte, há presença de características da rocha original (como as relíquias de estruturas) e de fragmentos de rochas. Sua cor predominante é de amarelo-amarronzado e cinza, tendo grau de compactação entre compacto a muito compacto.

O último horizonte, presente em maiores profundidades, consiste na rocha sã ou na rocha alterada dura. É composto por granitoides com estrutura maciça e por vezes bandada, dificultando a nomenclatura da rocha. São constituídos por quartzo, feldspato, feldspato potássico e biotita. O bandamento apresenta direção horizontal a subvertical, tendo alguns trechos muito fraturados com cor cinza-escuro e branco.

### 5.2. Caracterização do maciço rochoso

A caracterização foi feita com base em três de testemunhos de rochas (Figura 8). A baixa quantidade de amostras usadas para fazer esse procedimento se deu devido à execução de sondagens rotativas por outras empresas no mesmo lote do trabalho. Portanto, esses resultados não foram fornecidos à empresa EPT, de modo que não puderam ser aproveitados no presente trabalho de formatura, resultando em um déficit de informações.

A caracterização do maciço baseou-se em dados provenientes do último horizonte de rocha, de modo em que esta foi dividida em duas partes: em rocha alterada dura (RAD) e rocha sã (RS).

Nas porções em que há presença da RAD, os testemunhos apresentam grau de alteração em A2 e A3 (pouco alterada e medianamente alterada, respectivamente) e grau de coerência C2 e C3 (coerente e medianamente coerente, respectivamente). O grau de

fraturamento varia de F3 (muito fraturado) a F5 (fragmentado), sendo que o RQD dos testemunhos varia de 40% a 80%, definindo a qualidade da rocha de má a boa.

Já nas porções onde ocorre RS, os testemunhos apresentam grau de alteração em A1 (sã) e grau de coerência C1 (muito coerente). O grau de fraturamento varia de F1 (pouco fraturado) a F3 (muito fraturado). Finalmente, o RQD dos testemunhos varia de 51% a 100%, definindo a qualidade da rocha de regular a excelente.

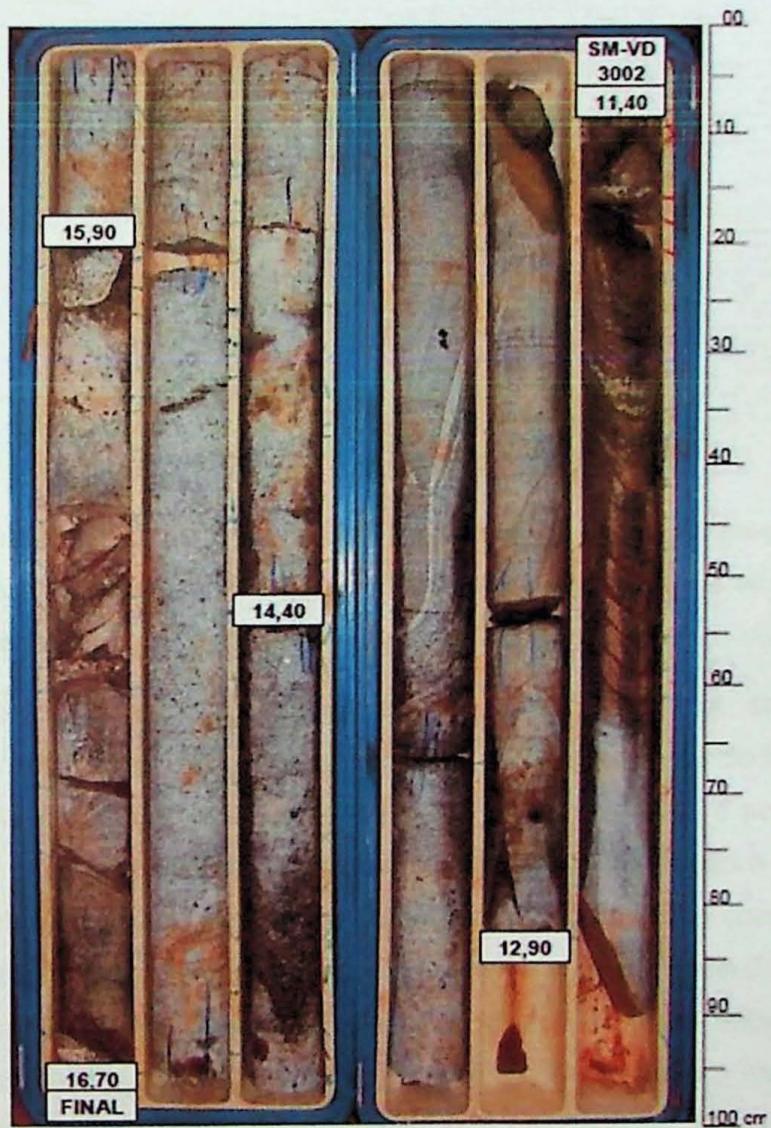


Figura 8: Testemunhos da amostra SM-VD-3002

### 5.3. Ensaios laboratoriais

Para a execução dos ensaios laboratoriais, inicialmente foram separadas 52 amostras provenientes de sondagens a trado. Entretanto, com base nas determinações da empresa contratante, foram analisadas somente 19 amostras. Tais ensaios serão realizados com intuito de classificar os materiais e definir as características do solo para os diversos usos na obra, como por exemplo, a trabalhabilidade como material de construção na classificação

SUCS, e seu comportamento como subleito e materiais constituintes na classificação TRB. Os dados foram tratados pelo aluno, permitindo a classificação das amostras e resultando na tabela 9.

**Tabela 9:** Resultados dos ensaios.

Furo	Prof. (m)	Descrição tático-visual	Ensaios "in situ"				Lim. Atterberg			Granulometria			SUCS	TRB (IG)	Ind. sup. Califórnia (EN)				
			$\gamma_s$ ( $\text{kg/cm}^3$ )	$h$ (%)	G.C. (%)	Desvio (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	% que passam nas peneiras (mm)	2.00	0.42	0.075		$\gamma_{\text{sat}}$ ( $\text{kg/cm}^3$ )	$P_f$ (%)	CBR	Exp.	
BT3/154	0,50-1,50	ARGILA SILTOSA ARENOSA VARIEGADA MARROM AMARELO E CINZA	1,52	10,6	91,6	-0,6	43	28	15	98	77	59		CL	A7-6 (D)	1,66	16,0	6	1,50
ST3/155	0,50-1,50	SILTE ARENOSO, VARIEGADO	1,34	22,1	64,3	+2,6	47	29	18	100	79	56		ML	A7-6 (7)	1,59	19,5	2	5,60
ST3/156	0,50-1,50	ARGILA COM CASCALHO, MARROM	1,27	16,6	72,2	+1,8	33	26	7	89	68	36		CL	A4 (D)	1,76	14,8	22	0,10
ST3/157	0,50-1,50	SILTE ARENOSO POUCO ARGILICO VARIEGADO, MARROM ROSEO E CINZA	1,11	35,9	76,6	+14,9	60	40	20	96	83	71		MH	A7-5 (13)	1,45	21,0	9	3,60
ST3/158	0,50-1,50	SILTE VARIEGADO COM CASCALHO, MARROM AMARELO, ROSEO E CINZA	1,41	12,2	75,8	+1,2	37	27	10	92	63	38		ML	A4 (1)	1,66	11,0	9	3,20
ST3/160	0,50-1,50	SILTE ARENOSO, VARIEGADO	1,55	11,2	90,6	-6,6	N.P.	N.P.	N.P.	96	92	55		ML	A4 (4)	1,71	17,8	6	2,10
ST3/161	0,50-1,50	SILTE COM CASCALHO VARIEGADO MARROM AMARELADO ROSEO E CINZA	1,49	24,0	63,2	+12,0	45	29	16	95	72	46		ML	A7-6 (4)	1,79	12,8	5	5,00
ST3/162	0,50-1,50	SILTE COM CASCALHO, VARIEGADO	1,21	18,7	66,1	+5,9	36	25	11	88	54	32		ML	A2-6 (0)	1,83	12,6	14	0,35
ST3/163	0,50-1,50	SILTE ARENOSO, VARIEGADO	1,38	25,8	93,8	+0,2	45	38	9	100	96	66		ML	A7-3 (7)	1,45	25,6	3	5,80
ST3/165	0,00-1,50	SILTE ARENOSO POUCO ARGILICO, MARROM CLARO	1,61	12,1	92,5	-5,0	38	28	12	97	82	52		ML	A6 (4)	1,74	17,1	14	0,80
ST3/166	0,09-1,50	SILTE ARGILOSO POUCO ARENOSO, MARROM VARIEGADO	1,58	20,0	90,6	+4,1	45	28	19	95	78	48		ML	A7-6 (7)	1,74	15,9	19	0,70
ST3/167	0,00-1,50	SILTE ARENOSO POUCO ARGILICO, MARROM VARIEGADO	1,45	13,9	66,3	+1,9	43	29	14	97	82	49		ML	A7-6 (5)	1,68	17,0	15	1,19
ST3/169	0,49-1,50	ARGILA SILTOSA POUCO ARENOSA, MARROM AMARELADO	1,43	24,6	91,7	+1,6	51	30	21	98	83	60		CH	A7-5 (11)	1,56	22,8	17	0,30
ST3/171	0,00-1,50	SILTE ARENOSO, MARROM	1,40	10,2	80,5	-4,8	36	21	15	95	77	43		ML	A6 (4)	1,74	15,0	16	0,15
ST3/172	0,15-1,02	SILTE ARENOSO POUCO ARGILICO COMALTERAÇÃO DE ROCHA, MARROM CLARO	1,68	16,7	92,3	+2,3	35	23	12	90	64	36		ML	A-6 (0)	1,62	14,4	18	0,24
ST3/172	1,02-1,60	SILTE ARENOSO POUCO ARGILICO, ROSEO VARIEGADO	-	-	-	-	51	31	20	96	71	47		MH	A7-5 (6)	1,68	15,5	12	2,30
ST3/173	0,00-1,70	SILTE ARENOSO POUCO ARGILICO, MARROM COM PEDREGULHO	1,52	23,7	66,4	+8,7	46	30	16	92	69	46		ML	A7-5 (6)	1,76	15,0	22	0,70
ST3/175	0,00-1,45	SILTE ARGILOSO POUCO ARENOSO, MARROM VARIEGADO COM PEDREGULHO	1,52	21,2	85,9	+6,3	36	23	13	94	70	43		ML	A-6 (3)	1,77	14,9	20	0,06
ST3/176	0,00-1,50	SILTE ARGILOSO, VARIEGADO	1,36	26,9	79,5	+11,1	47	25	22	97	74	58		ML	A7-6 (10)	1,71	15,8	9	3,70

Utilizando a classificação TRB, foi possível determinar o comportamento dos materiais presentes nas amostras como subleito. Das 19 amostras, apenas uma (a amostra ST3/162) apresenta comportamento excelente a bom como subleito, podendo ser utilizada na obra.

A classificação SUCS permitiu definir as propriedades de 14 amostras de siltes inorgânicos, duas de argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade, duas de siltes elásticos, e uma de argila inorgânica de alta plasticidade. Com isso, é possível indicar que todas as amostras não apresentam função para materiais de fundação e de drenagem. Os siltes elásticos (MH) tem especificidade para compressibilidade quando compacto e saturado, as argilas inorgânicas de baixa plasticidade (CL) e de alta plasticidade (CH) possuem usos como materiais impermeáveis, enquanto que o CL possui usos na trabalhabilidade como material de construção. Por último, os siltes inorgânicos (ML) servem medianamente para praticamente todas as utilidades de trabalhabilidade.

#### 5.4. Perfis geológico-geotécnicos

Os perfis geológicos confeccionados pelo aluno apresentam as cotas das bocas dos furos, os limites das camadas seccionadas pelos furos de sonda, as classificações tático-visual do solo e geológico-geotécnica, presença de revestimento (quando há), a consistência ou compacidade do material, o número de golpes realizado a cada metro de sondagem, o gráfico do SPT e o nível d'água. Um exemplo de relatório de ensaio de sondagem a percussão é mostrado a baixo (Figura 9).



**RELATÓRIO DE ENSAIO  
SONDAGEM A PERCUSSÃO  
Execução de sondagens de simples  
reconhecimento dos solos  
NBR 0484/2001**

CONTRATANTE: FRIGUEIREDO FERRAZ - CONSULTORIA E ENGENHARIA DE PROJETOS S.A.  
OBRA: AMPLIAÇÃO DA RODOVIA BR-040  
LOCAL: BR-040 - KM.680+500  
SONDAgem: SP-A-3020 DATA DE INÍCIO: 03/12/2015 COORD: N 7.671.851  
TERMINO: 04/12/2015 E 628.657,1

FOLHA 1 / 1

ESCALA 1:100

• 162/2015-04

SON1884H8

**NOTA IMPORTANTE**  
Os resultados deste ensaio têm  
significação restrita e se aplicam tão  
sómente à(s) amostra(s) ensaiadas.

ESTÁNDAR IAIPD

DIGITADOR (A) ANA PAULA

Osasco, 08 de dezembro de 2015

GEÓL. VITOR Y. TAGA

A reprodução deste documento dependerá de autorização prévia por escrito, não sendo permitida sua reprodução parcial.

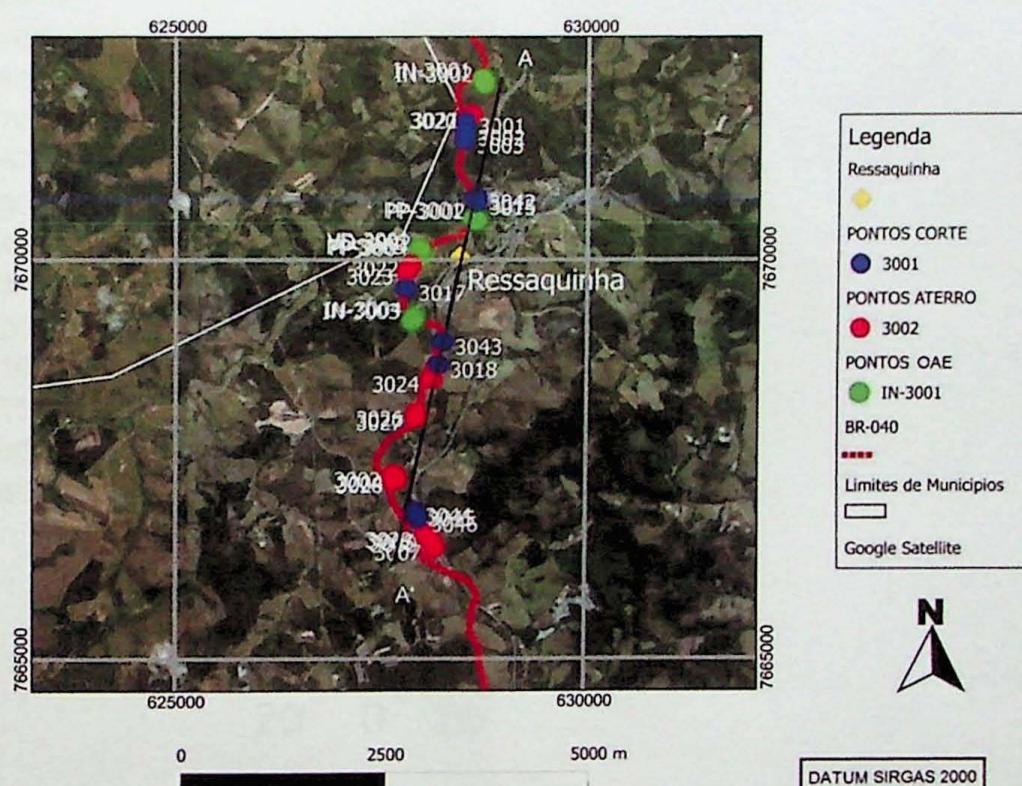
**EPT-ENGENHARIA E PESQUISAS TECNOLÓGICAS S.A.**  
Av. São José - Vila Ayrôso - Osasco/SP - CEP: 06283-120 PABX (11) 3879-9449 - FAX (11) 3879-9482 - E-mail: ept@ept.com.br  
Rua Dona Maria Angélica - 286 - Vila São José - Osasco/SP CEP: 06290-000 - PABX (11) 3879-9449 - E-mail: ept@ept.com.br

**Figura 9:** Exemplo de sondagem à percussão

## 6. INTERPRETAÇÕES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Depois de feita as análises e os perfis geológicos, as coordenadas dos pontos correspondentes às bocas dos furos de sondagem foram lançadas em planta de modo a confeccionar uma secção geológica. Desse modo, traçam-se os contatos entre as camadas e, correlações e interpretações, entre as diferentes unidades geológico-geotécnicas.

A seção geológica (Figura 11) foi confeccionada através do resultado com 39 sondagens à percussão, divididas em 17 para aterro, 15 para corte e sete para obras de arte especiais (OAE), sendo quatro para intersecção e três para passarela, e outras três sondagens mistas para OAE, com uma para passarela e dois para viadutos, mostrada na Figura 10.



**Figura 10:** Mapa esquemático da localização dos furos de sondagem com o traço da seção geológica representada (A-A').

# SEÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

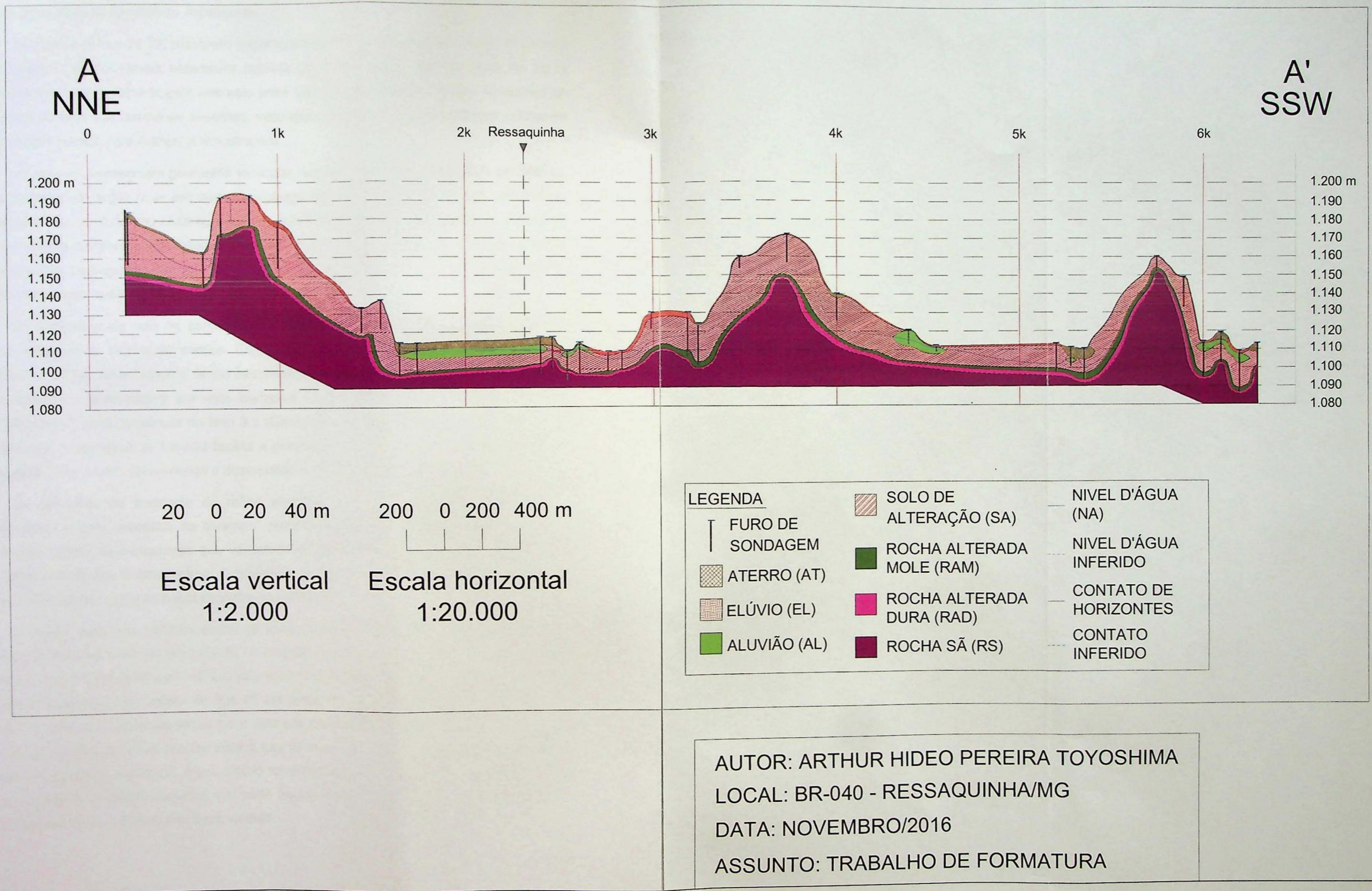


Figura 11: Seção geológico-geotécnica

Com base na seção geológica acima (Figura 11), foi possível delimitar os horizontes do solo e do maciço rochoso, estabelecendo correlações entre as unidades geológico-geotécnicas provenientes das classificações das sondagens e definindo para cada unidade a variação de suas respectivas espessuras.

Os aterros (AT) e os SE recobrem superficialmente toda extensão do trecho analisado. O horizonte de AT possui espessura máxima de sete metros. Nas camadas de SE a espessura é compreendida pelo intervalo entre 0,6 a quatro metros. Nestes horizontes os valores de Nspt são baixos ou ausentes, visto que em pequenas profundidades utilizou-se sondagem a trado para realizar a amostragem.

Os aluviões apresentam geometria lenticular, sendo localmente substituídos por aterros. As camadas de argila ricas em matéria orgânica atingem espessuras de até seis metros, enquanto as camadas arenosas apresentam espessuras de até cinco metros. Os valores de Nspt nesses horizontes são baixos, inferiores a quatro. Entretanto, quando as camadas apresentam pedregulhos em sua composição, os valores aumentam consideravelmente, podendo chegar a 42.

Os horizontes de solo de alteração (SA) possuem espessura variável, compreendida pelo intervalo de sete a 30 metros. Este horizonte está presente em grande parte das amostras de furo de sondagem, tendo valores de Nspt superiores a cinco. A grande variação de espessura apresentada por este horizonte ocorre devido à presença de zonas de cisalhamento, como mostrado no item 3.1 (Geologia regional), que facilita os processos de alteração. A presença de fraturas facilita a percolação de fluidos, intensificado o processo intempérico e, assim, favorecendo o desenvolvimento dos horizontes de SA.

As amostras do horizonte de rocha alterada mole são obtidas por sondagens à percussão e pelo processo de lavagem, portanto não apresenta valores de Nspt. Essa camada apresenta espessuras que variam entre porções menores do que meio metro e regiões com quase quatro metros. O horizonte de RAD apresenta espessuras menores do que dois metros, e porção basal encontra-se rocha sã.

A seção geológica permitiu definir os tipos de fundação a serem utilizados para cada caso de obra de arte especial (OAE). A empresa projetista determinou as profundidades estáveis para fundações em OAE em solo (abaixo da cota prevista no projeto), de modo que quando houvesse Nspt maior do que 45 em cinco metros consecutivos ou Nspt maior do que 30 em dez metros consecutivos o furo era paralisado. Em trechos com presença de rocha a paralização deve ocorrer após o furo ter penetrado cinco metros do maciço, sendo este em qualquer qualidade. Esse critério foi definido para garantir maior estabilidade para as fundações a serem utilizadas em cada trecho de OAE. No trecho analisado, há duas passarelas, duas intersecções e um viaduto.

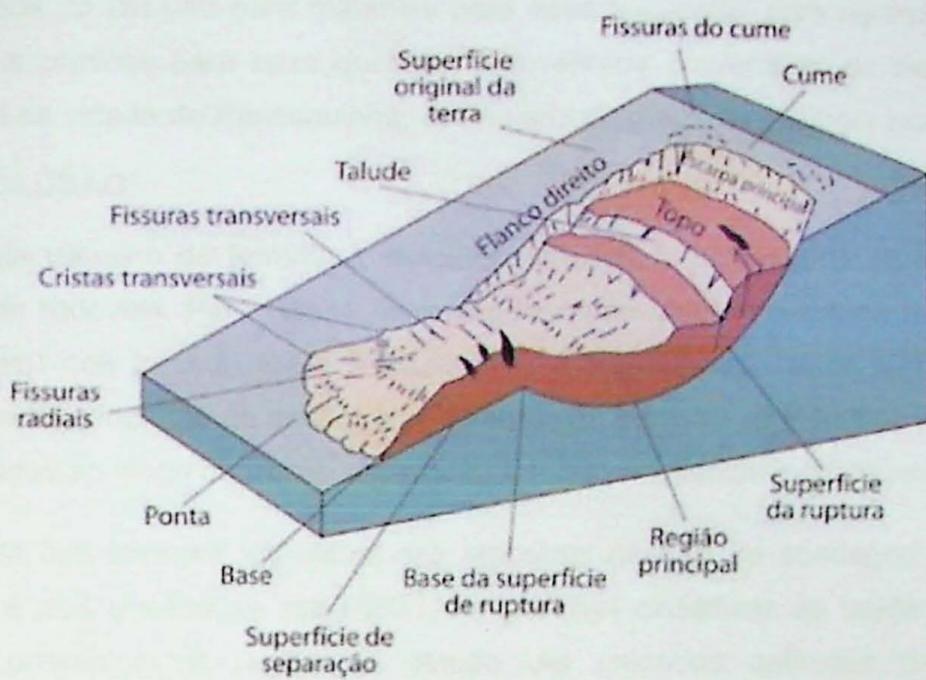
Desse modo, nas duas obras de interseção, sendo a primeira no quilômetro 679+900 e a segunda no quilometro 683+565, foi possível delimitar as profundidades de paralização em 28 e 23 metros, respectivamente. Nas duas obras de passarelas, as profundidades de 18 e 17 metros foram delimitadas nos quilômetro 681+800 e 682+700, respectivamente. No que diz respeito à obra do viaduto, a profundidade de paralização variou entre 17 e 20 metros no quilometro 682+600.

Logo, com base na profundidade de paralização, foi possível sugerir que as fundações profundas são os mais adequados para a situação em questão. Para garantir o menor custo de obra, o tipo de estaca mais recomendada para uso em solos é a pré-moldada, ideal para fundações afastadas de centros urbanos como no caso das áreas onde foram locadas as sondagens SP-IN-3001 e SP-IN-3002. A estaca do tipo hélice contínua apresenta indicação para fundações próximas às cidades por apresentar ausência de vibrações no solo local e vizinho, além de sua alta produtividade, como no caso das regiões das sondagens SP-PP-3001, SP-PP-3002, SP-PP-3004, SP-IN-3003 e SP-IN-3004. Para fundações alocadas em substrato rochoso, o tipo de estaca ideal é a de raiz, como no caso dos locais onde se locaram as sondagens SM-VD-3001, SM-VD-3002 e SM-PP-3003.

Na avaliação da confecção dos taludes de corte, diferentes aspectos para a sua realização foram estudados, como por exemplo: a relação de espessura e altura da vertente, a espessura média dos solos nos perfis de sondagens, a analogia entre a direção da estrada com as estruturas geológicas (foliações e bandamentos, por exemplo), a avaliação sucinta da circulação de água subterrânea no trecho estudado e possíveis processos erosivos.

O horizonte de solo SA engloba em sua totalidade as regiões de corte, portanto, com base na Figura 5, para a construção dos taludes, a relação entre espessura e altura da estrutura deve ser de 3:2. A espessura média observada dos solos nas sondagens de cortes é de 13,5 metros, variando de 24 a 0,5 metros.

A relação entre a foliação e a direção de corte dos taludes se dá de modo que não há paralelismo entre eles. Isto porque a direção do corte da estrada no trecho estudado é N-S, e a foliação apresenta orientação NE-SW (vide item 3.1 – Geologia Regional). Portanto, os taludes exibirão descontinuidades oblíquas à estrada, resultando em não intervenção na obra, de modo que se devem considerar apenas os escorregamentos em solo do tipo rotacional (Figura 12).



**Figura 12:** Esquema de escorregamento rotacional (Cruden, 1996).

No caso de escorregamentos rotacionais, as medidas de prevenção devem incluir o monitoramento instrumental a fim de detectar possíveis movimentos do solo. Os cursos de drenagem rompidos devem ser restaurados ou refeitos para prevenir futuro acúmulo de água na massa deslizante. A construção de muros de arrimo na base pode ser suficiente para diminuir ou desviar o movimento do solo.

Tratando-se de processos erosivos, os cortes serão realizados em solos de alteração (SA), nos quais há grande quantidade de materiais siltosos e arenosos, o que propicia baixa coesão nos taludes. Outro aspecto do SA é a presença de porções micáceas significativas, resultando em baixa compactação nas vertentes. Essas características conferem aos taludes elevado potencial de deslizamento, possibilitando nestas áreas sejam necessárias construções de obras de contenção, como muros de concreto armado e muros de arrime.

Em relação à circulação de água subterrânea nas áreas de corte, foi possível identificar através dos perfis de sondagem que o nível d'água está abaixo da profundidade alcançada pelos furos, mostrando que o impacto nos recursos hídricos locais será mínimo. Para a tomada de medidas de prevenção, é recomendado um diagnóstico detalhado a fim de reduzir a instabilidade de taludes nos cortes e a impermeabilização da frente de corte.

O último fator a ser ponderado, de forma sucinta, é a questão dos materiais de empréstimo e pavimentação. Com base nas análises das amostras em laboratórios, foi possível averiguar que apenas um dos trechos analisados da rodovia apresenta capacidade para ser utilizado como subleito e como área de empréstimo. Desse modo, é necessário utilizar agregados de outras regiões para a pavimentação da via. Uma das soluções mais

nos intermédios da BR-040 para materiais para essa finalidade, para agregados, uma das soluções mais práticas para essa questão, é a retirada proveniente do material de uma pedreira a sul da cidade de Ressaquinha, assinalada no mapa da geologia local (Item 3.2).

## 7. CONCLUSÃO

O presente trabalho de formatura executou um estudo sistemático sobre investigação geotécnica em rodovias. Para isso, selecionou-se como objeto de estudo a duplicação da rodovia BR-040 nos trechos entre Ressaquinha e Barbacena. Tendo como material de estudo resultados amostras de sondagens percussivas e mistas, e resultados de ensaios de SPT, executadas ao longo do trecho em estudo e foram analisadas pelo aluno.

Através da classificação tático-visual das amostras de furo de sondagem, das análises laboratoriais e dos ensaios *in situ* (SPT), foi possível classificar as unidades geológico-geotécnicas presentes na região de estudo. As unidades definidas descritas foram comparadas com os dados disponíveis na literatura e correlacionadas as principais divisões presentes no trabalho de Vaz (1996), como solo residual (elúvio, solo de alteração e horizontes de rocha) e transportado (aluvião).

Os furos de sondagem foram alocados paralelamente a rodovia, permitindo a confecção de uma seção geológico-geotécnica. A seção elaborada apresenta camadas superficiais de elúvio e aterro, seguido localmente por corpos lenticulares de aluviões, pelo solo de alteração e pela porção basal constituída por horizonte de rocha.

Em relação às obras de taludes de corte verifica-se que os mesmos estão contidos no horizonte solo de alteração, possibilitando inferir que sua construção deverá respeitar a relação de 3:2 entre espessura e a altura. As vertentes irão expor descontinuidades oblíquas à estrada, o que não ocasionará intervenções na execução das obras, de modo que apenas os escorregamentos em solo do tipo rotacional devem ser considerados. As presenças de determinados constituintes nos horizontes de solo amostrados podem agravar a ocorrência de possíveis escorregamentos de massa, visto que a presença de silte/areia, e porções micáceas, resultam em menor coesão e baixa compactação, respectivamente. Como medidas preventivas, propõem-se a execução de obras de contenção como muros de arrimo e monitoramento instrumental, este último para detectar movimentos no solo. Em relação à circulação de água nas regiões de corte, o impacto causado será mínimo devido ao fato de que o nível d'água está abaixo da cota prevista para os taludes.

Dados os critérios de paralisação dos furos de sondagem definidos pela empresa Figueiredo Ferraz, foi possível definir regiões estáveis para fundação em obras de arte especiais (OAE). Com base nos furos em trechos de passarela, intersecções e viaduto, as profundidades de paralização média foram de 18, 25 e 19 metros, respectivamente. Com

isso, definiu-se que o tipo de fundação deve ser profunda, mais precisamente o de estaca, devido a sua segurança na construção. Assim, as estacas pré-moldadas devem ser usadas em áreas afastadas das cidades, as estacas hélices nas proximidades dos centros urbanos (devido sua ausência de vibrações no solo) e a estaca raiz em trechos de rocha.

No que diz respeito às regiões de empréstimo de materiais para a obra, apenas uma região (amostra ST3/162) servirá para a obtenção de material para uso como subleito. Através da classificação SUCS, definiu-se que apenas as argilas inorgânicas de baixa (CL) e alta plasticidade (CH) têm utilidade para uso como materiais impermeáveis, enquanto que os siltes elásticos (MH) têm especificidade para compressibilidade quando compacto e saturado. Para obras que necessitem de agregados com finalidades para subleito e fundação, por exemplo, os agregados podem ser obtidos através de uma pedreira ao sul da cidade de Ressaquinha localizada no quilômetro 688 da BR-040, sentido Belo Horizonte. Para empréstimo de solos sugere-se pesquisa detalhada próxima a região de estudo com intuito de localizar materiais com finalidade para subleito e aterros.

## 8. REFERÊNCIAS

- Abrahão, R.A.; Velloso, D.de A. Fundações. In: Oliveira, A.M.S. & Brito, S.N.A. (orgs). *Geologia de Engenharia*. ABGE, São Paulo, p.381-396.
- Almeida, F.F.M. 1977. O cráton do São Francisco. In: Brazilian Journal of Geology, p.349-364.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 1990. Annual book of ASTM standards. Section 4: Construction: Soil and rock; dimension stone; geosynthetics. 4. Philadelphia.
- Associação Brasileira de Engenharia de Geologia (ABGE). 2013. Manual de Sondagens, Boletim n. 3, 5. São Paulo.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 1984a. NBR 6459 – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 1984b. NBR 7180 – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 1984c. NBR 7181 – Análise granulométrica por peneiramento. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 1986a. NBR 6457 – Amostra de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 1986b. NBR 7182 – Ensaio de compactação de solos. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 1986c. NBR 9603 – Sondagem a tradô manual. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 1987a. NBR-9813 – Determinação da massa específica aparente in situ, com emprego do cilindro biselado. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 1987b. NBR-9895 – Índice de suporte Califórnia. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 2001. NBR-6484 – Execução de Sondagem de Simples Reconhecimento dos Solos. Rio de Janeiro.
- Barbosa, M.I.M. 1985. Geoquímica das faixas máficas-ultramáficas, plutônicas e migmatitos do “Greenstone Belt” Barbacena, na região de Conselheiro Lafaiete (MG). Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 227p.
- Clayton, C.R.I. 1993. The standard penetration test (SPT) methods and use. *CIRIA Report*, University of Surrey.

Cruden, D.M.; Varnes, D.J. 1996. Landslides: investigation and mitigation. Chapter 3- Landslide types and processes. In: *Transportation research board special report*, 247p.

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. Symposium on Rock Mechanics*, AIME, New York. 8:237-302.

Deere, D. U.; Patton, F. D. 1971. Slope stability in residual soils. *Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, San Juan, Puerto Rico, 4:87-110.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). 2006. *Manual de Pavimentação*, Rio de Janeiro.

Ebert, H. 1967. A estrutura pré-cambriana do sudoeste de Minas Gerais e áreas adjacentes. In: *Boletim Paranaense de Geociências*, Curitiba, 26:42-45.

Ebert, H. 1984. Aspectos da geologia da região de São João del Rei; Os Paraibides entre São João del Rei e Itapira e a bifurcação entre Paraibides e Araxaides. *Sociedade Brasileira de Geologia*, Núcleo de São Paulo.

Grossi Sad, J. H.; Pinto, C. P.; Duarte, C. L. 1983. Geologia do distrito manganésífero de Conselheiro Lafaiete, MG. SBG. In: *Simpósio de Geologia Minas Gerais*, 2:259-270.

Guild, P.W. 1957. Geology and Mineral Resources of the Congonhas District, Minas Gerais, Brazil. In: *USGS Professional Paper*, 90p.

Noce, C. M. 2000. Geochronology of the Quadrilátero Ferrífero: a review. In: *Revista Geonomos*, 8(1).

Oliveira, A.M.S.; Brito, S.N.A (editores). 1998. Geologia de engenharia. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE. São Paulo.

Serra Junior, E.; Ojima, L.M. 1998. Caracterização e classificação de maciços rochosos. In: Oliveira, A.M.S. & Brito, S.N.A. (orgs). *Geologia de Engenharia*. ABGE, São Paulo, p.211-226.

Vaz, L. F. 1996. Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais. In: *Revista Solos e Rochas*, 19:117-136.

Viana, H. S. 1991. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Carta geológica, carta metalogenética/previsional – escala 1:100.000 (Folha Barbacena SF.23-X-C-III). DNPM/CPRM. Minas Gerais.

Zhao, J.; Broms, B. B.; Zhou, Y.; Choa, V. (1994). A study of the weathering of the Bukit Timah granite part A: review, field observations and geophysical survey. In: *Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur*, 49:97-106.

