TÍTULO

INSTRUÇÕES DE SERVIÇOS GEOTÉCNICOS

ÓRGÃO

DIRETORIA DE ENGENHARIA

PALAVRAS-CHAVE

Instrução. Serviços. Geotécnicos.

APROVAÇÃO	PROCESSO
	PR 007476/18/DE/2006

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

OBSERVAÇÕES

REVISÃO	DATA	DISCRIMINAÇÃO

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

ÍNDICE

1 RESUMO 3
2 OBJETIVO 3
3 DEFINIÇÕES 3
3.1 Estudos Geotécnicos 3
3.2 Encosta Íngreme 4
3.3 Solo Estruturado 4
3.4 Seção Transversal de Cálculo 4
4 FASES DO PROJETO 4
4.1 Estudos Preliminares 4
4.2 Projeto Básico 4
4.3 Projeto Executivo 5
5 ELABORAÇÃO DO ESTUDO 5
5.1 Subleito para Pavimentação 5
5.2 Empréstimo de Solo 6
5.3 Jazida de Material Pétreo 8
5.4 Jazida de Areia 9
5.5 Fundação de Obras de Arte Especiais 9
5.6 Fundação de Obras de Arte Correntes 11
5.7 Aterro sobre Solo Mole 12
5.8 Aterro em Encosta Íngreme 14
5.9 Talude de Corte 15
5.10 Muro de Arrimo 17
6 FORMA DE APRESENTAÇÃO 17
6.1 Estudos Preliminares 17
6.2 Projeto Básico 18
6.3 Projeto Executivo 19
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 20

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

1 RESUMO

Esta Instrução de Projeto apresenta os procedimentos, critérios e padrões a serem adotados para a realização de serviços geotécnicos necessários aos projetos para o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER/SP.

2 OBJETIVO

Padronizar os procedimentos a serem adotados para realização dos serviços geotécnicos visando à obtenção de parâmetros de projeto para serem utilizados nos estudos e projetos de geotecnia.

3 DEFINIÇÕES

Para efeitos desta instrução de projeto são adotadas as seguintes definições:

3.1 Estudos Geotécnicos

Atividades que visam o conhecimento da natureza, tipo e características dos materiais constituintes das diversas camadas de solo ou rocha ocorrentes no subsolo no local de implantação das obras. Também visam o subsídio ao dimensionamento e projeto de obras geotécnicas, o qual engloba a obtenção de parâmetros geotécnicos de cálculo em implantação de rodovias.

Suas atividades constituem-se de estudos de escritório, vistorias de campo, investigações e ensaios geotécnicos de laboratório e de campo. Não englobam a interpretação dos resultados nem tampouco o dimensionamento de obras geotécnicas, tendo em vista que tais atividades devem ser abordadas nas instruções de projeto específicas dos respectivos estudos e projetos geotécnicos.

Os estudos geotécnicos devem ser desenvolvidos em harmonia com os estudos geológicos. Compõem o elenco de obras geotécnicas:

- subleito para pavimentação;
- empréstimo de solo;
- jazida de material pétreo;
- jazida de areia;
- fundação de obras-de-arte especiais - OAE;
- fundação de obras-de-arte correntes - OAC;
- aterro sobre solo mole;
- aterro em encosta íngreme;
- talude de corte;
- muro de arrimo;
- contenções de talude e encostas.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

3.2 Encosta Íngreme

Superfície de terreno natural com inclinação média superior a 20%.

3.3 Solo Estruturado

Solo que apresenta indícios ou vestígios da rocha de origem, tais como xistosidade, e presença de minerais pouco alterados.

3.4 Seção Transversal de Cálculo

Seção da rodovia representativa de um determinado intervalo com a mesma solução para um mesmo problema geotécnico específico.

4 FASES DO PROJETO

Os serviços geotécnicos devem ser realizados em conformidade com as seguintes fases de projeto da rodovia:

- estudos preliminares;
- projeto básico;
- projeto executivo.

4.1 Estudos Preliminares

A finalidade desta etapa é fornecer subsídios para a seleção das diretrizes de traçado escolhidas para o estudo de implantação da rodovia. Os estudos preliminares de geotecnia devem se desenvolver em acordo com os estudos geológicos.

Da mesma forma que os estudos geológicos, os estudos geotécnicos baseiam-se em pesquisa bibliográfica, observações de campo e experiência profissional.

Deve-se tomar contato direto com as condições físicas do local da obra através de reconhecimentos que utilizem os documentos de apoio disponíveis, tais como aerofotos, restituições aerofotogramétricas e, eventualmente, dados de algum projeto existente na área de influência da obra.

Investigações geotécnicas são essenciais; porém, os tipos e as quantidades das investigações devem ser condizentes com a finalidade da etapa de estudos e dos aspectos relativos envolvidos por cada obra geotécnica, ou seja, porte, custos e riscos.

4.2 Projeto Básico

Nesta etapa, em sincronia com os estudos geológicos, os serviços e estudos geotécnicos devem subsidiar o ajuste de traçado da rodovia dentro da diretriz escolhida. As investigações de campo e de laboratório devem ser realizadas em quantidade suficiente para embasar a definição da solução das obras previstas.

Saliente-se que nesta etapa a abrangência e a profundidade dos estudos geotécnicos deve ser

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

tal que não se justifique qualquer alteração de concepção da solução de projeto escolhida na etapa seguinte.

4.3 Projeto Executivo

Nesta etapa os serviços geotécnicos devem ser realizados como complementação aos dados anteriores para fornecer parâmetros geotécnicos específicos, principalmente os ensaios de campo e especiais de laboratório para o detalhamento do projeto executivo. Também devem ser conduzidos estudos específicos tais como compartimentação geomecânica em projeto de túneis, definição de topos rochosos para fundação de pontes e viadutos etc.

O grau de detalhamento desta etapa deve permitir a determinação dos quantitativos e orçamento dos diversos serviços para implantação da obra, bem como detalhes que se julguem relevantes para permitir a realização do orçamento da obra no grau de precisão compatível e com a execução das obras correspondentes pelo construtor.

5 ELABORAÇÃO DO ESTUDO

5.1 Subleito para Pavimentação

Os estudos geotécnicos para o subleito da pavimentação devem ser direcionados para a determinação dos trechos da futura rodovia com propriedades homogêneas. O subleito da pavimentação pode ser constituído tanto por solo natural do local, como é o caso de trechos em corte, como por solo importado, caso de trechos em aterro ou de corte com necessidade de reforço ou troca do subleito.

As investigações geotécnicas para o estudo do subleito para pavimentação constituem-se principalmente por sondagens a trado com coleta de amostras para determinação das características naturais do terreno quanto à resistência, expansão, trabalhabilidade, presença de lençol freático etc. Desta forma, deve-se executar o seguinte elenco de investigações e ensaios:

- sondagem a trado 4” com coleta de amostras e medida do nível d’água;
- poços de inspeção;
- granulometria com sedimentação;
- limites de Atterberg;
- *California Bearing Ratio* - CBR 5 pontos;
- compactação;
- classificação MCT;
- peso específico e umidade natural.

Nos trechos previstos em corte deve-se executar sondagens a trado ao longo de cada alternativa de diretriz de traçado em estudo. Para os trechos em aterro, as sondagens devem ser executadas no local de provável origem do solo, ou seja, em cortes próximos ou jazidas, sejam elas próximas ou afastadas da diretriz prevista.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

No caso de trechos em corte, a profundidade dos furos deve atingir o nível do greide projetado ou o impenetrável a trado, o que ocorrer primeiro. No caso de trechos em aterro, os furos devem atingir o nível d'água ou o impenetrável a trado, o que ocorrer primeiro. Em ambas situações, a coleta de amostras deve ser feita para cada horizonte distinto de solo detectado, a cada dois metros para um mesmo horizonte.

Os poços de inspeção servem para a retirada de blocos indeformados para determinação da densidade natural do solo e para permitir sua inspeção táctil-visual.

5.1.1 Estudos Preliminares

Para cada alternativa de diretriz de traçado deve-se executar sondagens a trado próximas aos pontos de passagem de corte a aterro – PP. O intervalo médio entre os furos deve ser em torno de 1000 m, no mínimo três sondagens para cada tipo de material, conforme levantamento dos estudos geológicos.

Nas jazidas de solo deve-se executar pelo menos três furos de sondagens a trado com coleta de amostras.

5.1.2 Projeto Básico

Ao longo do eixo do traçado selecionado deve-se executar sondagens em todos os pontos de passagem de corte a aterro – PP. Em cortes extensos, desde que seja possível a perfuração com ferramenta de trado até o nível do greide projetado, deve-se executar sondagens com intervalo médio entre os furos de 100 m. No caso de implantação de rodovia com pista dupla, as sondagens devem ser feitas nas bordas externas, alternadamente.

Nas jazidas de solo as sondagens executadas devem formar uma malha básica com distância em torno de 50 m.

5.1.3 Projeto Executivo

As investigações geotécnicas devem ser executadas como complementação para fornecer parâmetros geotécnicos específicos, principalmente os ensaios de campo e especiais de laboratório. Para a fase subseqüente deve-se reservar uma pequena parte das investigações, somente para dirimir dúvidas.

5.2 Empréstimo de Solo

As áreas para empréstimo de solo devem ser escolhidas preferencialmente ao longo da faixa de domínio da rodovia, através do alargamento ou suavização dos taludes dos cortes projetados.

Através do mapeamento feito pelos estudos geológicos na fase preliminar, é possível identificar as áreas economicamente viáveis, tendo em vista somente sua distância e momento de transporte decorrente. As áreas com custo de transporte elevado devem ser desconsideradas e suas características não devem ser determinadas com detalhes.

Uma vez escolhida a área para empréstimo de solo, o estudo geotécnico deve buscar seus limites de exploração, ou seja, a extensão e espessura das ocorrências de materiais aprovei-

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

táveis e as limitações técnicas para sua utilização. Exemplo: no caso de material para camada final de terraplenagem, apenas o CBR e expansão máximos.

O processo de escolha das áreas deve sempre considerar os critérios ambientais.

As investigações geotécnicas para o estudo de material para empréstimo de solo constituem-se principalmente por sondagens a trado, com coleta de amostras para determinação das características naturais do terreno quanto à resistência, expansão, trabalhabilidade, presença de lençol freático etc. Dessa forma, deve-se executar o seguinte plano de investigações e ensaios:

- sondagem a trado 4” com coleta de amostras e medida do nível d’água;
- poços de inspeção;
- granulometria com sedimentação;
- limites de Atterberg;
- CBR 5 pontos;
- compactação;
- classificação MCT;
- peso específico e umidade natural.

Conforme já mencionado no item referente ao subleito para pavimentação, os furos devem atingir o nível d’água ou o impenetrável a trado, o que ocorrer primeiro.

Os poços de inspeção devem determinar a densidade natural do material e permitir sua inspeção táctil-visual. Em ambas situações, a coleta de amostras deve ser feita para cada horizonte distinto de solo detectado, a cada dois metros para um mesmo horizonte.

5.2.1 Estudos Preliminares

Para a fase dos estudos preliminares, se persistir alguma dúvida após o reconhecimento geológico, deve-se executar pelo menos uma sondagem a trado em cada área.

5.2.2 Projeto Básico

Nos locais previstos para empréstimo lateral, os furos devem ser executados ao longo do eixo previsto. A distância máxima entre os furos deve ser de aproximadamente 100 m.

Ns áreas concentradas, os furos executados devem formar um reticulado básico com 50 m de lado.

Os poços de inspeção devem ser executados em pelo menos três locais, de modo a caracterizar a densidade e a umidade natural de todos tipos de solos a serem explorados.

5.2.3 Projeto Executivo

As investigações geotécnicas e os ensaios de laboratório devem ser executados como complementação para fornecer parâmetros geotécnicos específicos, principalmente através de

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

ensaios de campo e ensaios especiais de laboratório. Para esta fase reserva-se uma pequena parte das investigações, somente para dirimir dúvidas.

5.3 Jazida de Material Pétreo

Para as áreas destinadas ao fornecimento de material pétreo, deve-se contemplar o seguinte elenco de investigações e ensaios, escolhendo-se aqueles cabíveis para a rocha em estudo:

- sondagem a pá e picareta;
- sondagem rotativa;
- análise mineralógica – NBR 7389(1);
- abrasão Los Angeles – NBR-NM51(2);
- absorção e massa específica de agregado graúdo – NBR-NM53(3);
- resistência ao esmagamento de agregados graúdos – NBR 9938(4);
- resistência à compressão simples – NBR 6953(5);
- tenacidade Treton – MB 964(6);
- composição granulométrica – NBR-NM248(7);
- teor de argila em torrões e materiais friáveis – NBR 7218(8);
- teor de material pulverulento – NBR-NM46(9);
- massa específica, absorção e porosidade – NBR 7418(10);
- durabilidade de grãos friáveis– ASTM-C-88(11);
- índice de forma – NBR 7809(12);
- reatividade potencial de álcalis em combinações cimento-agregado, em função da análise mineralógica – NBR 9773(13);
- avaliação do comportamento mediante a ciclagem acelerada com etilenoglicol – NBR-12697(14);
- verificação da adesividade do agregado graúdo a ligante betuminoso— NBR 12583(15).

As sondagens a pá e picareta são necessárias para a determinação da espessura da capa estéril. As sondagens rotativas são necessárias para a determinação do volume comercialmente explorável da área.

As amostras para execução dos ensaios devem ser obtidas de locais representativos do jazidamento, ou seja, dos testemunhos das sondagens ou dos afloramentos.

5.3.1 Estudos Preliminares

Nesta fase, a estimativa do volume disponível para exploração deve ser feita através de inspeção ao local. Nos afloramentos deve-se efetuar coleta de pelo menos uma amostra representativa, escolhida por geólogo, para a execução do elenco de ensaios mencionado.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

5.3.2 Projeto Básico

Os furos de sondagem rotativa devem ser locados de acordo com critério geológico para a obtenção de entendimento geológico dessa ocorrência para a obra.

5.3.3 Projeto Executivo

As investigações geotécnicas devem ser programadas para obter os parâmetros geotécnicos específicos a partir de ensaios de campo e de laboratório especiais.

5.4 Jazida de Areia

Para as áreas destinadas ao fornecimento de areia é preciso determinar a espessura da capa estéril e o nível do lençol freático, considerando-se a necessidade de previsão dos processos de exploração. Também se deve determinar o volume e as características naturais do material para definir, antes de sua utilização, a intensidade necessária do processamento, seja por peneiramento ou lavagem.

Desta forma, deve-se contemplar o seguinte elenco de investigações e ensaios:

- sondagens a percussão;
- composição granulométrica – NBR-NM248[(7)];
- teor de argila em torrões – NBR 7218[(8)];
- teor de matéria orgânica – NBR-NM49[(16)];
- massa específica real – NBR 6458[(17)];
- massa específica em estado solto – NBR 7251[(18)];
- qualidade de areia – NBR 7221[(19)];
- verificação da adesividade do agregado miúdo a ligante betuminoso— NBR 12584[(20)];
- determinação da absorção de água em agregados miúdos – NBR-NM30[(21)];
- durabilidade – ASTM-C-88[(11)].

5.5 Fundação de Obras de Arte Especiais

As investigações geotécnicas para estudo e projeto de fundação de OAE são tradicionalmente constituídas por sondagens a percussão, mistas e rotativas. No caso de sondagem a percussão, a investigação pode ser complementada com medidas de torque do tipo *Standard Penetration Test with Friction measument*- SPTF, também conhecido como *Standard Penetration Test* – Torque - SPTT.

Em geral, as sondagens são iniciadas pelo processo a percussão. Quando se atingir o impenetrável, conforme descrito abaixo, deve-se prosseguir pelo processo rotativo, a critério da projetista.

Em princípio, o critério de paralisação das sondagens no trecho a percussão é o seguinte:

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

- quando se constatar 5 m consecutivos, com *Standard Penetration Test* - SPT $\geq$ 40 golpes abaixo da cota inferior da estrutura ou outra especificação da programação dos serviços;
- quando ultrapassar 10 m consecutivos com SPT $\geq$ 30 golpes;
- o material será considerado impenetrável à lavagem e a sondagem será dada como terminada quando, no ensaio de lavagem por tempo, forem obtidos avanços inferiores a 5 m por período, em três períodos consecutivos de dez minutos.

Com esse critério, deve-se atingir o material impenetrável à percussão, qual seja matacão ou topo rochoso. No caso de solos sedimentares, como solos do período do terciário ou quaternário, nos quais o topo rochoso pode estar a grandes profundidades, a sondagem pode ser paralisada antes.

Entretanto, para fundações diretas, a profundidade sondada a percussão deve ser tal que ultrapasse em duas vezes a maior dimensão da sapata a partir da cota de assentamento, ou seja, deve-se sondar pelo menos até a profundidade de influência do bulbo de tensões. Para fundações profundas, a profundidade deve ultrapassar em cinco a dez metros a profundidade prevista da base.

Em quaisquer casos, os índices de N_{spt} nunca devem decrescer abaixo da cota de assentamento ou da ponta e deve-se ter certeza de que não ocorrerão camadas com tensão admissível inferior à necessária.

Para o trecho de sondagens rotativas, a investigação deve ser feita até serem perfurados pelo menos quatro metros de rocha sã pouco fraturada, ou seja, cuja recuperação seja maior que 90%. Através dos estudos geológicos, deve-se confirmar se o material perfurado é rocha sã ou matacão. Neste caso, após ultrapassar o impenetrável, deve-se retomar o processo a percussão.

Caberá à projetista avaliar os resultados do avanço por percussão e decidir sobre a necessidade do uso das rotativas. Sendo ou não necessário, a decisão deve ser justificada ao DER/SP.

Nas situações especiais em que houver ação de esforços horizontais consideráveis, tais como em apoios de OAE com pilares altos ou pontes rodo-ferroviárias, devem ser executados ensaios especiais para a determinação dos parâmetros de resistência e deformabilidade do material. Recomenda-se, preferencialmente, a execução de ensaios *in situ* ou especiais de laboratório tipo triaxiais em amostras coletadas em poços de inspeção.

5.5.1 Estudos Preliminares

Na fase dos estudos preliminares, para as OAE mais significativas, ou seja, com extensões maiores do que 50 m, deve-se executar um furo de sondagem a percussão ou mista caso os estudos geológicos indiquem alguma ocorrência geológica que conduza a soluções especiais de fundação. Exemplo: espessas camadas aluvionares, presença de matacões ou blocos rochosos.

5.5.2 Projeto Básico

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

Devem ser executadas sondagens suficientes para se reconhecer o terreno de fundação local dos apoios das OAE e dos encontros, de maneira a obter uma seção geológico-geotécnica longitudinal. No caso de OAE paralelas, devem ser executadas sondagens separadas para cada obra.

No caso de OAE em que seja prevista a utilização de mais de um elemento de fundação para cada apoio, recomenda-se que sejam executadas pelo menos duas sondagens, de maneira a obter algumas seções geológico-geotécnica transversais.

Os ensaios para as situações especiais devem ser executados nesta fase.

5.5.3 Projeto Executivo

As investigações geotécnicas e os ensaios de laboratório devem ser executados como complementação para fornecer parâmetros geotécnicos específicos, principalmente através de ensaios de campo e especiais de laboratório. Para esta fase reserva-se uma pequena parte das investigações, somente para dirimir dúvidas.

5.6 Fundação de Obras de Arte Correntes

As OAC são sempre implantadas sob aterros e, em muitos casos, em áreas com ocorrência de solo mole. Em ambas as áreas as fundações devem ter compatibilidade para evitar comportamento diferenciado quanto aos recalques, o que poderia ocasionar sobrecargas adicionais na OAC além do peso próprio do aterro.

As investigações geotécnicas para o estudo e o projeto de fundação de OAC são constituídas por sondagens tipo barra-mina e a percussão. As sondagens tipo barra-mina devem ser executadas com profundidade tal que ultrapasse a camada de solo mole. As percussões devem ser executadas até a profundidade em que se detecte N_{spt} (golpes / 30 cm) maiores que 15 golpes em 3 m sucessivos, abaixo do nível da base da OAC.

5.6.1 Estudos Preliminares

Nesta etapa a implantação exata das OAC não está definida. Porém, para cada alternativa de diretriz de traçado, é possível antever os locais onde devem ocorrer travessias de cursos d'água significativos por OAC.

5.6.2 Projeto Básico

Para todas as OAC previstas deve-se executar pelo menos uma sondagem, em local geologicamente reconhecido, respeitando-se a razão de 1 furo a cada 30 m ao longo do eixo da obra.

5.6.3 Projeto Executivo

As investigações geotécnicas e os ensaios de laboratório devem ser executados como complementação para fornecer parâmetros geotécnicos específicos, principalmente através de ensaios de campo e especiais de laboratório. Para esta fase reserva-se uma pequena parte das investigações, somente para dirimir dúvidas.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

5.7 Aterro sobre Solo Mole

A concepção da diretriz da rodovia deve evitar, tanto quanto possível, as áreas com ocorrência de solos moles inconsistentes mapeadas nos estudos geológicos. Porém, não se deve comprometer as características geométricas requeridas para a classe da rodovia ou incorrer-se em outros problemas de maiores dimensões.

No caso de impossibilidade de desvio do traçado e de remoção total do depósito de solos moles, tal depósito deve ser caracterizado quanto à sua extensão, espessura e propriedades relativas à resistência e compressibilidade. Tais propriedades são obtidas por investigações e ensaios geotécnicos específicos para esta finalidade.

O seguinte elenco mínimo de investigações e ensaios geotécnicos deve ser executado:

- sondagens do tipo percussão;
- sondagens do tipo barra-mina.

Complementarmente, em função da solução escolhida, será necessária e execução dos seguintes ensaios:

- umidade natural;
- massa específica aparente;
- massa específica real dos grãos;
- granulometria com sedimentação;
- limites de Atterberg;
- ensaio de infiltração em solo *in situ* em furos de sondagem;
- ensaio de piezocone tipo *Cone Penetration Test* com medição de pressão neutra - CPTU;
- ensaio de *Vane-test*;
- ensaio de adensamento;
- ensaio triaxial rápido.

5.7.1 Estudos Preliminares

Nesta etapa as investigações geotécnicas têm por objetivo obter conhecimento das ocorrências geológicas relevantes na faixa de abrangência das alternativas de traçado.

Para mapear a extensão da ocorrência, recomendam-se sondagens do tipo a barra-mina.

5.7.2 Projeto Básico

Recomenda-se que as investigações sejam executadas em duas fases: a primeira, para obter as seções geológico-geotécnicas longitudinais e transversais de cálculo, em que constem somente sondagens a percussão e barra-mina.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

A quantidade de furos a ser executada deve ser suficiente para se delimitar a extensão da ocorrência e traçar as seções geológico-geotécnicas longitudinais e transversais, indicando a espessura da camada de solos moles. Em geral, uma distância entre furos de 20 m é suficiente. Porém, cada caso deve ser analisado individualmente e em conjunto com os estudos geológicos.

Em cada seção transversal de cálculo definida deve-se executar no mínimo três furos de sondagem a percussão, localizados um no eixo e os outros junto a cada *off-set* dos taludes da plataforma de aterro.

A profundidade dos furos a percussão deve ultrapassar a camada de solos moles e encontrar substratos com índices de N_{spt} maiores ou iguais a 15 golpes em 3 m consecutivos. Para as sondagens tipo barra-mina é suficiente que ultrapassem as camadas de solos moles.

As sondagens tipo barra-mina devem sempre ter como referência para aferição um conjunto de furos a percussão.

No caso de formações de sedimentos espessos, quando geralmente se faz necessário conviver com os recalques devido ao adensamento dos solos moles, é necessária outra fase de investigações e ensaios para a determinação das propriedades de resistência não drenada e de compressibilidade do material.

Esses ensaios complementares devem sempre ter como referência a sondagem a percussão, cujo perfil detectado seja representativo do depósito de solo mole. Devem ser previstos ensaios *Vane-test*, CPTU e amostragem Shelby 4". Esses furos, se feitos próximos, devem ter distância de 2 m em relação à sondagem a percussão e devem ser defasados entre si por 90º.

A quantidade de conjunto de ensaios a ser executada deve ser suficiente para caracterizar as propriedades de cada tipo de solo constituinte do depósito de solos moles.

Os ensaios de *Vane-test* ou de palheta devem ser executados com equipamento tipo A, sem perfuração prévia. Devem ser executados pelo menos a cada 1 m ao longo da profundidade da camada de solos moles, obtendo-se tanto a resistência amolgada como a não amolgada. Devem ser atendidas as prescrições da NBR 10905[22].

Os ensaios tipo CPTU devem ser executados com cone tipo eletrônico, atendendo às prescrições da NBR 12069[23]. Os ensaios de dissipação devem ser executados nas camadas menos permeáveis, constituídas por argilas, conforme detectado pela sondagem de referência. O intervalo máximo de execução dos ensaios de dissipação é de 2 m ao longo da profundidade.

Para os ensaios especiais de laboratório é necessária a coleta de amostras indeformadas tipo Shelby 4" ou pelo menos 100 mm de amostras coletadas com amostrador de pistão estacionário e acionamento mecânico ou hidráulico tipo Osterberg. A realização da coleta deve atender às prescrições da NBR 9820[24]. Deve-se coletar uma amostra a cada 3 m de espessura da camada de solo mole.

Para cada amostra devem ser realizados os ensaios de granulometria com sedimentação, limites de Atterberg, umidade e peso específico natural, densidade dos grãos, ensaio de aden-

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

samento com determinação do Cv e triaxial tipo UU ou adensado rápido.

5.7.3 Projeto Executivo

As investigações geotécnicas e os ensaios de laboratório devem ser executados como complementação para fornecer parâmetros geotécnicos específicos, principalmente através de ensaios de campo e especiais de laboratório. Para esta fase reserva-se uma pequena parte das investigações, somente para dirimir dúvidas.

5.8 Aterro em Encosta Íngreme

Os problemas de aterros sobre encostas íngremes associam-se principalmente à existência de massas instáveis no terreno natural, na base do aterro, como colúvios e tálus. Entretanto, mesmo que não ocorram massas instáveis na base do aterro, é necessário conhecer o material da fundação, tendo em vista a sobrecarga adicional que será exercida pelo peso do aterro.

As investigações a serem executadas em situações desse tipo devem focar-se para a determinação das seguintes características:

- delimitação espacial de extensão e espessura das diversas camadas de extratos intervenientes na estabilidade da encosta mais terrapleno;
- delimitação de zonas da encosta que naturalmente já apresentam instabilidade;
- determinação das condições geo-hídricas subsuperficais da encosta;
- determinação da resistência ao cisalhamento dos extratos sob a base do aterro.

O elenco de investigações geotécnicas para o estudo de aterro em encosta íngreme constitui-se por sondagens a percussão, rotativas, poços de investigação e ensaios especiais de laboratório.

O comprimento das sondagens a percussão deve ser suficiente para atravessar a eventual capa de material instável, onde os índices de N_{spt} são geralmente menores, e penetrar pelo menos 3 m na camada resistente.

As sondagens mistas devem ser empregadas, no caso de tálus, com grande presença de blocos de rocha para determinar a posição do contato solo-rocha. Os poços de inspeção são úteis para a coleta de amostras indeformadas das camadas envolvidas na estabilidade do conjunto terrapleno-aterro. Com essas amostras devem ser realizados ensaios de cisalhamento direto rápido na umidade natural e após saturação.

5.8.1 Estudos Preliminares

Nesta etapa a maior parte dos dados para a identificação dos aterros sobre encostas íngremes com risco de instabilidade são suficientemente obtidos através do mapeamento geológico expedito e da interpretação das fotos aéreas.

As investigações geotécnicas a serem executadas devem obter conhecimento preliminar das grandes ocorrências, ou seja, cuja ruptura teria conseqüências de dimensões consideráveis, na faixa de abrangência das alternativas de traçado. Nesse caso, devem fornecer a maior es-

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

pessura provável da massa de material instável sob a base do aterro.

5.8.2 Projeto Básico

Nesta etapa, através dos estudos geológicos e das investigações geotécnicas, deve-se fazer o mapeamento das zonas com ocorrência de massas instáveis.

Nessas zonas, as sondagens a percussão devem ser executadas em quantidade suficiente para a obtenção de seções transversais de cálculo representativas do mecanismo de instabilização crítico.

Para aterros em encostas íngremes sem a presença de manto de material superficial instável, a investigação do material de fundação também deve ser feita com sondagem a percussão. Após a execução, os resultados devem ser imediatamente analisados.

Devem ser executados poços de inspeção de modo a atravessar a camada envolvida na provável superfície crítica de ruptura. Devem ser realizadas coletas das amostras indeformadas e executados os ensaios de caracterização e especiais de laboratório.

5.8.3 Projeto Executivo

As investigações geotécnicas e os ensaios de laboratório devem ser executados como complementação para fornecer parâmetros geotécnicos específicos, principalmente através de ensaios de campo e especiais de laboratório. Para esta fase reserva-se uma pequena parte das investigações, somente para dirimir dúvidas.

5.9 Talude de Corte

Os estudos geotécnicos de taludes de corte têm estreita relação com os estudos geológicos. Os escorregamentos acontecem principalmente devido a fatores e mecanismos que necessitam ser detectados durante os estudos geológicos, como descontinuidades do maciço resultante de estruturas reliquiares, descontinuidades no contato solo-rocha, existência de tálus ou colúvios instáveis ou evolução de processos de erosão em cicatrizes pré-existentes.

As investigações geotécnicas para cortes constituem-se por sondagens a percussão e rotativas, poços de inspeção e levantamento através de sísmica de refração. O comprimento dos furos a percussão executados na linha do eixo da rodovia deve ultrapassar o nível projetado para o greide em 3 m.

Os furos executados na região da crista dos taludes projetados podem ter comprimentos menores do que a altura do corte. Neste caso, a sondagem deve ter comprimento suficiente para ultrapassar as camadas menos resistentes e que estejam na massa de estabilidade mais crítica. Caso seja encontrado material impenetrável à percussão e à lavagem por tempo, antes de se atingir a profundidade programada, deve-se executar furos pelo processo rotativo, o qual deve avançar no material rochoso pelo menos 3 m.

Os poços de inspeção devem ser utilizados, em solos estruturados, para mapeamento dos ângulos de mergulho, orientação das camadas e coleta de blocos indeformados a cada horizonte de solo detectado ou a pelo menos cada 2 m dentro de um mesmo horizonte. Sua execução, entretanto, não se limita a estes tipos de solos.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

O levantamento através de sísmica de refração é necessário para determinar a categoria de escavação dos materiais que devem ser escavados para execução do corte. Tanto os poços de inspeção como sísmica de refração devem ser executados tendo sempre como referência as sondagens mecânicas.

Os ensaios de caracterização, tais como granulometria com sedimentação, limites de Atterberg e classificação MCT, mais os ensaios de compactação, devem ser executados com o material coletado nos poços de inspeção.

Os blocos indeformados devem servir para execução de ensaios de cisalhamento direto rápido na umidade natural e após saturação. Para os solos estruturados, os ensaios devem ser conduzidos de forma a determinar os parâmetros de resistência nos planos de xistosidade. Também se deve determinar o peso específico natural do material para obtenção do coeficiente de empolamento que subsidia o projeto de terraplenagem.

Geralmente, assim como para fundações das OAE, executam-se primeiro os furos a percussão e, dependendo dos resultados, executam-se os demais tipos de investigação. Se os estudos geológicos demonstrarem a ocorrência de maciço de rocha sã a pequenas profundidades, logo de início executam-se sondagens rotativas, tornando a investigação menos onerosa.

A necessidade de investigação por sísmica de refração deve ser avaliada conjuntamente com os estudos geológicos. Uma situação para que se aplique esse tipo de investigação é a indicação por parte de todas as sondagens mecânicas de que determinado corte deva ser parcialmente escavado em material rochoso.

5.9.1 Estudos Preliminares

Nesta etapa deve-se executar pelo menos uma sondagem a percussão para cada corte significativo de cada domínio geológico. Entende-se por corte significativo aqueles de maiores dimensões ou os em área com ocorrências desfavoráveis à estabilidade, como xistosidades com ângulo de mergulho desfavorável, ocorrência de tálus, surgência ou fio d'água etc.

5.9.2 Projeto Básico

Nesta etapa deve ser feito o mapeamento, através dos estudos geológicos e das investigações geotécnicas, das zonas onde se prevê a execução de cortes significativos.

Nessas zonas as sondagens a percussão devem ser executadas em quantidade suficiente para a obtenção de seções transversais de cálculo representativas, pelo menos a cada 100 m.

Caso se constate que exista grande probabilidade do corte ser executado em material rochoso, deve ser feito o levantamento por sísmica de refração para determinar a posição do topo da rocha.

Após a execução das sondagens, os resultados devem ser imediatamente analisados. Deve ser programada a execução de um poço de inspeção. Devem ser feitas coletas das amostras indeformadas e executados os ensaios de caracterização e especiais de laboratório.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

5.9.3 Projeto Executivo

As investigações geotécnicas e os ensaios de laboratório devem ser executados como complementação para fornecer parâmetros geotécnicos específicos, principalmente através de ensaios de campo e especiais de laboratório. Para esta fase reserva-se uma pequena parte das investigações, somente para dirimir dúvidas.

5.10 Muro de Arrimo

Os estudos geotécnicos para o projeto de muros de arrimo devem caracterizar os materiais correspondentes ao maciço de solo a ser equilibrado e ao maciço de fundação da estrutura. Como no geral o maciço a ser contido é aterro, devem ser determinados os parâmetros e propriedades do solo compactado.

É necessário o seguinte elenco de investigações:

- sondagens do tipo percussão;
- sondagens do tipo barra-mina.

Complementarmente, dependendo de qual a solução mais viável:

- umidade natural;
- massa específica aparente;
- massa específica real dos grãos;
- granulometria com sedimentação;
- limites de Atterberg;
- ensaio triaxial.

6 FORMA DE APRESENTAÇÃO

6.1 Estudos Preliminares

A fase preliminar deve ter como um de seus produtos a apresentação do mapa geológico regional, elaborado nos estudos geológicos, com todas as alternativas de diretrizes de traçado estudadas e com a indicação de todos os pontos onde foram executadas as investigações geotécnicas.

Nesse mapa devem constar todas as ocorrências geológicas relevantes detectadas, tais como áreas com solos mole compressíveis, expansivos, tálus, colúvios instáveis, cicatrizes de escorregamentos, áreas potenciais de fornecimento de materiais de construção etc. Para cada ocorrência devem ser indicadas as implicações e possíveis soluções de engenharia decorrentes, tendo em vista a implantação da rodovia.

A escala de apresentação desse desenho deve ser pelo menos igual ao do mapeamento geológico executado nesta fase. A escala pode ser maior caso a visualização e clareza das informações constantes do desenho fique comprometida.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

Além disso, deve-se apresentar relatório que descreva qualitativamente, com o máximo de detalhes, todas as grandes ocorrências geotécnicas detectadas, suas implicações na implantação da rodovia e as possíveis soluções de engenharia decorrentes.

6.2 Projeto Básico

6.2.1 Relatório de Critérios para Programação de Investigações Geotécnicas

Este documento tem por objetivo apresentar ao DER/SP os critérios utilizados para programação das investigações geotécnicas, tendo em vista as ocorrências detectadas na fase dos estudos preliminares e a diretriz de traçado selecionada.

Para cada ocorrência detectada devem ser explicitados os tipos de investigações a serem executadas, as quantidades e suas profundidades. O DER/SP deve ser comunicado caso seja necessária alguma investigação não prevista no contrato durante a prestação dos serviços.

Deve-se apresentar quadro-resumo das quantidades dos serviços programados no qual conste o número de ordem da investigação, o tipo e as quantidades de furos, ensaios e profundidades previstas. No caso de sondagens do tipo a percussão ou rotativas, as profundidades devem ser estimadas com base nas investigações executadas na fase preliminar, pois dependem dos resultados encontrados, seja de aterros sobre solos moles, OAE ou OAC.

Em princípio, as quantidades das investigações devem estar abaixo das previstas no contrato de prestação dos serviços. O DER/SP deve ser comunicado caso algumas dessas quantidades ultrapassem os valores previstos.

Para todas as investigações deve ser feita a programação de sua locação amarrada ao sistema de coordenadas do projeto geométrico. Posteriormente, deve ser feita a materialização desse ponto em campo através de marcos ou piquetes nivelados topograficamente. Caso a investigação precise ser deslocada durante sua execução, o novo ponto também deve ser amarrado e nivelado topograficamente.

6.2.2 Planta de Programação de Investigações Geotécnicas

A programação de investigações geotécnicas deve ser elaborada em formato A-1, utilizando a escala 1:2000 sobre a base do projeto geométrico em planta apresentada conforme a Instrução de Projeto para Elaboração e Apresentação de Desenhos de Projeto em Meio Digital (IP-DE-A00/003).

Na planta devem constar o traçado definido, indicação do início e fim das obras mais relevantes, como viadutos, sistemas de contenção e túneis, as estacas de implantação das obras de arte correntes e, se possível, os *off-sets* dos cortes e aterros, implantados em penas com cores diferenciadas. Estes elementos devem ser apresentados em penas de cores “rebaixadas” para não prejudicar a visualização do documento e destacar as investigações.

Nessa base deve ser acrescentado o mapeamento geológico executado na fase preliminar.

Nessas plantas, caso a escala permita, também devem constar as áreas de fornecimento de materiais de construção e aquelas consideradas adequadas para deposição de materiais excedentes. Caso necessário, deve ser elaborada outra planta em escala apropriada para con-

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

templar tais áreas.

Na primeira folha do conjunto de desenhos deve ser apresentada a legenda que identifica: a simbologia dos tipos de investigações programadas, os domínios geológicos detectados e apresentados e os contatos inferidos entre eles.

6.2.3 Relatório de Perfis Individuais das Sondagens

Os boletins individuais das sondagens a percussão, a trado e rotativas devem ser apresentados em relatório formato A-4. No caso das rotativas, os boletins individuais podem ser apresentados no formato A-3.

Deve ser apresentado quadro-resumo das sondagens executadas no qual conste o número de ordem da sondagem, a profundidade efetivamente atingida e as coordenadas e cotas das bocas dos furos dos locais de sua execução. Para cada tipo de sondagem deve constar o total de furos e comprimento perfurado. Para o caso das sondagens rotativas, os comprimentos em solo e em rocha devem ser separados. No caso de sondagens executadas com apoio de flutuantes, as respectivas quantidades também devem estar separadas.

No caso de projetos de porte, em que as sondagens são executadas por etapas ou trechos, recomenda-se que as respectivas sondagens sejam apresentadas em relatórios separados. Recomenda-se ainda que os relatórios muito volumosos sejam divididos em tomos.

6.2.4 Relatório de Ensaios Geotécnicos

As folhas dos conjuntos de ensaios correntes e especiais devem ser apresentadas em relatórios separados no formato A-4.

Deve ser apresentado quadro-resumo dos ensaios executados no qual conste o número de ordem do ensaio e seu tipo. Para cada conjunto deve constar o total de ensaios executados.

No caso de projetos de porte, em que os ensaios são executados por etapas ou trechos, recomenda-se que sua apresentação seja dividida em relatórios separados. Recomenda-se ainda que os relatórios muito volumosos sejam divididos em tomos.

6.2.5 Relatório Geotécnico

É o resultado da interpretação do plano de investigação geotécnica para cada obra e fase desta, devendo conter obrigatoriamente o modelo geomecânico, os parâmetros geotécnicos a serem usados nos cálculos, as condicionantes e as recomendações de cálculos e métodos executivos.

6.3 Projeto Executivo

As investigações e ensaios de confirmação e complementação a serem executados nesta fase devem ser apresentados com o mesmo padrão especificado no subitem anterior.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7389**. Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto. Rio de Janeiro, 1992.

2 ____. **NBR-NM51** Agregado graúdo - Ensaio de abrasão "Los Angeles". Rio de Janeiro, 2001.

3 ____. **NBR-NM53** Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.

4 ____. **NBR 9938** Agregados - Determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos. Rio de Janeiro, 1987.

5 ____. **NBR 6953** . Lastro-padrão - Determinação da resistência à compressão axial. Rio de Janeiro, 1989.

6 ____. **MB 964**. Tenacidade Treton (NBR 8938. Determinação da resistência ao choque. 1985).

7 ____. **NBR-NM248.** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

8 ____. **NBR 7218.** Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro, 1987.

9 ____. **NBR-NM46**. Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrometro, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

10 ____. **NBR 7418**. Lastro padrão – Determinação da massa específica aparente, da absorção de água e porosidade aparente do material. Rio de Janeiro, 1987.

11 *AMERICAN SOCIETY FOR TESTING & MATERIALS*. **ASTM-C-88**. Durabilidade (grãos friáveis). 1990.

12 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-7809** Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

13 ____. **NBR 9973**. Tenacid Agregado - Reatividade potencial de álcalis em combinações cimento-agregado. Rio de Janeiro, 1987.

14 ____.**NBR 12697.** Agregados - Avaliação do comportamento mediante a ciclagem acelerada com etilenoglicol. Rio de Janeiro, 1992.

15 ____. **NBR 12583**. Agregado graúdo - Verificação da adesividade a ligante betuminoso. Rio de Janeiro, 1992.

16 ____. **NBR-NM49.** Agregado fino - Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Ja-

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

neiro, 2001.

17 ____. **NBR 6458.** Grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 1984.

18 ____. **NBR 7251.** Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

19 ____. **NBR 7221.** Agregados - Ensaio de qualidade de agregado miúdo. Rio de Janeiro, 1987.

20 ____. **NBR 12584.** Agregado miúdo - Verificação da adesividade a ligante betuminoso. Rio de Janeiro, 1992.

21 ____. **NBR-NM30.** Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

22 ____. **NBR 10905.** Solo - Ensaios de palheta in situ (CPT). Rio de Janeiro, 1991.

23 ____. **NBR 12069.** Solo - Ensaio de penetração de cone in situ (CPT). Rio de Janeiro, 1991.

24 ____. **NBR 9820.** Coleta de amostras indeformadas de solos de baixa consistência em furos de sondagem. Rio de Janeiro, 1997.

25 ____. **NBR-6508**. Grãos que passam pela peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. 1984.

26 ____. **NBR-6484**. Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. 1980.

27 ____. **NBR-7181**. Solo – Análise Granulométrica. 1984.

28 ____. **NBR-6459**. Solo – Determinação do limite de liquidez. 1984.

29 ____. **NBR-7180**. Solo – Determinação do limite de plasticidade. 1984.

30 ____. **NBR-10838**. Solo – Determinação da massa específica aparente de amostras indeformadas, com emprego de balança hidrostática. 1988.

31 ____. **NBR-12007**. Solo – Ensaio de adensamento unidimensional. 1990.

32 ____. **NBR-6904**. Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. 1986.

33 ____. **NBR-6457**. Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 1986.

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.