TÍTULO

ESTUDOS GEOTÉCNICOS

ÓRGÃO

DIRETORIA DE ENGENHARIA

PALAVRAS-CHAVE

Geotecnia. Estudos Geotécnicos.

APROVAÇÃO	PROCESSO
	PR 010273/18/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
4 FASES DO PROJETO 3
4.1 Estudos Preliminares 4
4.2 Projeto Básico 4
4.3 Projeto Executivo 5
5 ELABORAÇÃO DO PROJETO 5
5.1 Subleito para Pavimentação 5
5.2 Empréstimo de Solo 5
5.3 Fundação de OAE 6
5.4 Fundação de OAC 18
5.5 Aterro sobre solo mole 18
5.6 Aterro em encosta íngrime 30
5.7 Talude de corte 31
5.8 Muro de arrimo 34
5.9 Contenções de talude e encosta 34
6 FORMA DE APRESENTAÇÃO 34
6.1 Estudos Preliminares 34
6.2 Projeto básico 35
6.3 Projeto executivo 36
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 36

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 elaboração de estudos geotécnicos para projeto de rodovias para o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER/SP.

2 OBJETIVO

Padronizar as diretrizes e os procedimentos básicos a serem adotados na elaboração dos projetos e estudos geotécnicos.

3 DEFINIÇÕES

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

3.1 Estudos Geotécnicos

Atividades que visam à interpretação dos resultados obtidos nos serviços geotécnicos, a definição de valores de parâmetros para cálculos e a aplicação de modelos representativos de problemas de obras geotécnicas, em implantação de rodovias.

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

- subleito para pavimentação;
- empréstimo de solo;
- fundação de OAE;
- fundação de OAC;
- aterro sobre solo mole;
- aterro em encosta íngreme;
- talude de corte;
- muro de arrimo;
- contenções de talude e encostas.

4 FASES DO PROJETO

Os estudos geotécnicos devem ser elaborados conforme as seguintes fases de projeto da rodovia:

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

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.

4.1 Estudos Preliminares

A finalidade desta etapa é fornecer subsídios para avaliação técnica das alternativas de diretriz de traçado para o estudo de implantação da rodovia. Os estudos preliminares de geotecnia devem ser desenvolvidos em concordância com os estudos geológicos e com base nos resultados dos serviços geotécnicos correspondentes da etapa.

Esta etapa tem como um de seus produtos a apresentação gráfica do traçado sobre base aerofotogramétrica, preferencialmente georreferenciada, com base em coordenadas UTM ou, quando for o caso, base cartográfica do Instituto Geográfico e Cartográfico - IGC ou da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A. - EMPLASA, em escala 1:5000 ou 1:10000 ou ainda outra julgada conveniente pela fiscalização.

Nesta etapa dos serviços, as obras geotécnicas necessárias à implantação da rodovia, não são possíveis de serem definidas com detalhes. Entretanto, é possível estimar as dimensões de obras geotécnicas, tais como: alturas máximas e extensões de contenções, de áreas aterros sobre solos moles, de túneis e etc.

Dentre os subsídios que devem ser fornecidos, destacam-se:

- para cada alternativa de diretriz de traçado, indicação de possíveis soluções geotécnicas tais como: necessidade de tratamento de fundação de aterros, contenções de encostas, localização de áreas de jazidas e tipos de materiais disponíveis, localização de áreas de depósito de materiais excedentes e etc.;
- sempre que os dados disponíveis forem suficientes e com base em experiências locais, especificar o subtipo de solução geotécnica mais adequado. No caso de tratamento de fundação de aterros, especificar se é possível a substituição total do material de baixa capacidade de suporte ou deve-se conviver com os recalques por adensamento;
- no caso de obras significativas localizadas, como por exemplo, uma ponte de grande extensão, especificar se a fundação deve ser do tipo rasa ou profunda e se os aterros de encontro devem ser executados em região com ocorrência de solos moles. No caso de um túnel, que tipos de materiais devem ser escavados, ou seja, rocha ou solo, transição rocha-solo, e em que proporção.

Deve-se tomar contato direto com as condições físicas do local da obra através de vistorias de campo, observação e cadastro e análise de desempenho de obras próximas que porventura apresentem concepção que deve ser aplicada para a implantação da rodovia. Nestas vistorias, com os subsídios fornecidos pelos estudos geológicos, deve-se tomar conhecimento das grandes ocorrências geológico-geotécnicas que condicionam o custo de cada alternativa de traçado analisada.

Para efeito de levantamento de custos nesta etapa do projeto, os quantitativos devem ser obtidos proporcionalmente às principais dimensões aproximadas das obras, por exemplo, metro quadrado de contenção, comprimento de túnel etc.

4.2 Projeto Básico

Na fase de projeto básico, a diretriz de traçado está consolidada e as soluções devem ser 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.

tudadas de maneira mais específica.

Com os dados que devem estar disponibilizados nesta fase, tais como: investigações geotécnicas e projetos geométricos estudados sobre base topográfica na escala 1:2000, deve-se conceber alternativas de soluções geotécnicas para cada situação e compará-las do ponto de vista técnico-econômico. O estudo da alternativa escolhida é feito de maneira que seja possível a determinação dos quantitativos de materiais e serviços, bem como do orçamento de cada obra.

Ainda nesta fase, os estudos geotécnicos devem suprir orientações quanto aos possíveis ajustes de traçado de maneira a reduzir os custos de implantação da obra, como por exemplo, desvio de áreas de solos moles, de cortes em rocha etc.

Saliente-se que nesta etapa, a abrangência e profundidade dos estudos geotécnicos devem ser tais que não se espere qualquer alteração de concepção da solução na fase posterior de projeto. Deve-se considerar que, na fase seguinte, o projeto deve ser apenas detalhado com maior profundidade para execução, sem, no entanto, sofrer reformulações mais amplas em sua concepção básica e nas principais soluções de engenharia estabelecidas nesta fase.

4.3 Projeto Executivo

Nesta etapa, os estudos geotécnicos devem ser realizados em complementação à etapa anterior.

O grau de detalhamento desta etapa deve permitir a determinação dos quantitativos e orçamento preciso dos diversos serviços, para implantação da rodovia, bem como, para apresentar os detalhes e especificações que se julguem relevantes para execução das obras.

5 ELABORAÇÃO DO PROJETO

5.1 Subleito para Pavimentação

Os estudos geotécnicos para a determinação da capacidade de suporte do subleito da pavimentação consistem da análise dos resultados dos ensaios realizados ao longo do traçado da rodovia, conforme preconizado pela IP-DE-G00-002 – Instruções de Serviços Geotécnicos. Basicamente, deve-se dividir o traçado de projeto em segmentos homogêneos e identificar os subtrechos da rodovia com características geotécnicas que resultem em soluções de pavimento semelhantes. Esta atividade deve ser desenvolvida pelos estudos da pavimentação e são abordadas pela IP-DE-P00-001 – Instrução de Projeto de Pavimentação.

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, é possível identificar as áreas economicamente viáveis, tendo em vista somente sua distância e momento de transporte decorrente. As áreas de custo relativo de transporte elevado são desconsideradas e suas características não precisam ser determinadas com detalhes.

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.

Uma vez escolhida determinada área para empréstimo de solo, o estudo geotécnico deve, além de determinar as características do material, buscar seus limites de exploração, ou seja, a extensão e espessura aproveitáveis e as limitações técnicas para sua utilização. Exemplo: para da camada final de terraplenagem, devem ser realizados os ensaios *CBR- Califórnia Bearing Ratio* e expansão máxima.

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

As investigações geotécnicas necessárias para o estudo de material para empréstimo de solo são descritas na IP-DE-G00-002 - Instruções de Serviços Geotécnicos.

Os resultados das sondagens a trado, executadas formando um reticulado com dimensões aproximadas de 50 x 50 m, conforme preconizado pela IP-DE-G00-002 - Instruções de Serviços Geotécnicos, devem ser lançados em planta e elaboradas as seções geológico-geotécnicas, de modo a caracterizar as camadas de solo diferenciadas pela textura presentes na área.

Deve-se proceder à análise dos resultados dos ensaios, considerando-se os requisitos técnicos previstos no projeto da pavimentação e dos solos necessários para execução dos terraplenos. Materiais que apresentem índices de expansão muito elevados e valores de CBR baixos, são inadequados. Desta forma, é possível mapear as regiões com disponibilidade de material com características adequadas, tanto em profundidade como em extensão, sendo possível elaborar um plano de exploração da área.

O fator de contração dos materiais, ou seja, a relação entre os volumes medidos no corte ou jazida e o no aterro compactado, deve ser determinado por ensaios de compactação, densidade e umidade natural. Este valor é importante para calcular o volume de material, medido no corte ou na jazida, necessário para a obra.

5.3 Fundação de OAE

Todos os projetos de fundações a serem desenvolvidos devem obedecer às diretrizes aqui estabelecidas, além de estarem embasados em normas brasileiras vigentes, ou, na ausência, em normas estrangeiras recomendadas, desde que adequadamente citadas. A seguir, estão apresentadas algumas normas e bibliografias recomendadas como referência para elaboração do projeto.

- NBR 6122[(1)];
- Fundações – Teoria e Prática [(2)];
- Manual de Especificações de Produtos e Procedimentos da ABEF[(3)];
- *Pile Foundation Analysis and Design*[(4)].

5.3.1 Escolha do Tipo

Inicialmente, deve-se dispor do projeto de implantação da OAE. A seguir, tendo-se como base esse projeto de implantação, deve-se elaborar o perfil geológico-geotécnico, locando as sondagens executadas, devidamente posicionadas em planta e perfil. Os seguintes pontos devem ser analisados:

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.

- ocorrência de estratos impenetráveis que ocorrem de maneira repentina, ou seja, após atravessar camadas de baixa resistência. Nesta situação, considerando-se que a utilização de fundação do tipo profunda é certa, esses elementos trabalham por ponta. É indispensável que as investigações geotécnicas forneçam subsídios suficientes para garantir que abaixo da ponta não ocorra maciço com cavidades ou vazios, nem com resistência menor do que a admitida em projeto. Ressalte-se a importância da participação do geólogo na interpretação das sondagens;
- em pontes e galerias, nos encontros em taludes onde ocorrem camadas de baixa capacidade de suporte, é indispensável analisar a estabilidade dos taludes. Além disso, ocorrem esforços adicionais na fundação, verticais devido ao atrito negativo por recalque do aterro e horizontais devido ao empuxo lateral por movimentação das camadas instáveis, efeito *Tschebotarioff*;
- proximidades a construções limítrofes;
- existência de redes de interferência;
- limitação ao acesso e deslocamento dos tipos de equipamentos para execução das fundações;
- tipos de equipamentos existentes na região para execução das fundações;
- limitação executiva dos equipamentos para os diversos tipos de fundações. Por exemplo, estacas cravadas de concreto possuem limitação do comprimento cravável em função da resistência do terreno. Areias compactas e solos residuais silto-arenosos compactos dificultam a cravação;
- características do subsolo: tipos de solos, inexistência de solos porosos colapsíveis ou expansivos abaixo das fundações, inexistência de cavidades ou vazios, índice de resistência do solo através do ensaio N_{spt}, nível d'água etc.;
- grandeza das cargas a serem transmitidas às fundações.

Selecionados os diversos tipos que atendem aos critérios técnicos, deve ser feito estudo comparativo de custos visando escolher a alternativa mais econômica.

5.3.2 Definição dos Esforços Solicitantes

Para o projeto das fundações, devem ser definidos os esforços solicitantes cujos valores são fornecidos pelo projeto estrutural. Segundo a NBR 8681/2003[(5)], as ações nas estruturas devem ser classificadas em:

- ações permanentes, que ocorrem com valores constantes durante praticamente toda a vida da obra, como por exemplo, o peso próprio da construção e equipamentos fixos, empuxos, esforços devidos a recalques de apoios;
- ações variáveis, que ocorrem com valores que apresentem variações significativas em torno da média, como por exemplo, as ações devido ao uso da obra;
- ações excepcionais, que têm duração extremamente curta e muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da obra, mas que precisam ser consideradas no projeto de determinadas estruturas, como por exemplo, colisões, enchentes, incêndios.

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.

5.3.3 Fundações rasas

Fundação rasa é aquela em que a carga é transmitida ao terreno, predominantemente pelas tensões distribuídas sob a base do elemento estrutural de fundação e em que a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação, segundo a definição da NBR 6122/1996(1).

No contexto desta definição, os seguintes subtipos são comumente utilizados:

- bloco: elemento de fundação de concreto simples, dimensionado de forma que as tensões de tração nele produzidas possam ser resistidas pelo concreto sem necessidade de armadura;
- sapata isolada, alavancada e associada: elemento de fundação de concreto armado, de altura menor que o bloco, que utiliza a armadura para resistir aos esforços de tração;
- grelha: elemento de fundação constituído por um conjunto de vigas que se cruzam nos pilares;
- radier: elemento de fundação que recebe todos os pilares.

5.3.3.1 Projeto das Fundações Rasas

a) esforços de compressão

A primeira etapa do projeto é analisar as fundações do ponto de vista geotécnico, a partir do carregamento fornecido pelo cálculo estrutural.

Com base nas sondagens e em ensaios executados nos locais de implantação das fundações, deve-se determinar a cota de apoio das bases e as tensões admissíveis decorrentes. Devem-se analisar cuidadosamente os seguintes fatores condicionantes:

- presença de lençol freático em relação a cota de escavação. A execução de fundações diretas abaixo do nível d'água pode, eventualmente, necessitar de sistemas de rebaixamento que pode inviabilizar a solução;
- análise das características dos solos existentes e a abrangência do bulbo de tensões no terreno. A tensão atuante deve ser compatível com a admissível do solo. O solo de fundação não deve apresentar características colapsíveis ou expansíveis e de nenhuma forma, cavidades abaixo da cota de base;
- análise das condições de implantação das fundações diretas. Sapatas implantadas em taludes possuem capacidade de carga reduzida, pois a massa de solo resistente é menor quando comparada à situação em que o terreno é horizontal. No caso de taludes em maciços rochosos, é necessário analisar os planos de fraturas ou xistosidade presentes na rocha.

A seguir, apresentam-se algumas metodologias para obtenção das tensões admissíveis.

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.

Estudos preliminares

Métodos empíricos baseados em prescrições constantes em normas

A norma NBR 6122/96[1], como orientação inicial, sugere o emprego de tensões básicas em função de diferentes tipos de solos e rochas observados no campo.

Projeto básico

Métodos empíricos

Através de métodos empíricos com a utilização de correlações consagradas, como por exemplo, as que consideram os valores de N_{spt} para a estimativa da tensão admissível. Dentre estes métodos, sugere-se a utilização de Terzaghi e Peck - 1948[6], Vargas – 1955[7], Meyerhoff – 1956[8], Teixeira – 1996[9].

Projeto executivo

Métodos empíricos e de fórmulas de capacidade de carga conforme descritos a seguir:

Métodos teóricos através de fórmulas de capacidade de carga

Através de fórmulas teóricas que visam estimar a tensão de ruptura geral do solo. O coeficiente de segurança adotado deve levar em consideração como foram obtidos os parâmetros de resistência que estão sendo utilizados, se foram através de interpretação de ensaios, de bibliografias, de experiências regionais, de correlações etc. Nestes casos, é usual a utilização de um fator de segurança de 3,0, para estimar a tensão admissível. São comumente utilizadas as formulações propostas por Terzaghi[10], Skempton[11], Vesic[12], Meyerhoff[13] e Hansen[14].

Métodos baseados em provas de carga sobre placas

Constitui-se num ensaio, em modelo reduzido, simulando uma sapata e o seu carregamento A execução da prova de carga deve seguir as prescrições preconizadas pela NBR 6489[15]. Ressalte-se que, devido às suas dimensões reduzidas, apenas o solo situado imediatamente abaixo da placa é solicitado durante o ensaio. No caso de camadas de argilas moles compressíveis profundas, é necessário avaliar se as condições reais de implantação não aplicam carregamento sobre aquelas.

b) esforços de tração

De maneira geral, pode-se considerar apenas o peso da fundação como resistente aos esforços de tração e também o peso de solo acima desta, para cada caso, devem ser adequados os fatores de segurança.

Para o cálculo do peso do solo, deve-se considerar o peso específico submerso para a parcela que estiver abaixo do nível d'água.

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.

c) carregamento excêntrico

As cargas excêntricas geram momentos e, consequentemente, o diagrama de tensões na base da sapata, não é distribuído uniformemente. Como o solo não resiste à tração, a redistribuição das tensões resulta em "descolamento" da base e, consequentemente, em menor área efetiva de contato com o solo.

Em conseqüência destes esforços, ocorre uma redistribuição das tensões na base, e a distribuição de tensões na base do elemento de fundação passa a ser um diagrama tipo triangular. Para se garantir a segurança do elemento de fundação, é comum limitar a área tracionada a 1/3 da área total da base.

A seguir, deve-se comparar a tensão máxima atuante na base do elemento de fundação com a admissível do terreno.

É importante conhecer as origens das solicitações, ou seja, se permanente ou acidental. Em inúmeros casos de interesse prático, atuam esforços acidentais de pequena duração ou pequena probabilidade de ocorrência. Nesses casos, a tensão admissível deve ser majorada, quando verificada as tensões decorrentes da somatória das cargas acidentais. A norma brasileira de fundações NBR 6122/96 (1), estipula a este propósito: "Quando consideradas todas as combinações possíveis entre os diversos tipos de carregamentos previstos pelas normas estruturais, inclusive ação do vento, deve-se majorar em 30% os valores admissíveis das tensões no terreno e das cargas admissíveis em estacas e tubulões. Entretanto, esses valores admissíveis não devem ser ultrapassados quando consideradas as cargas permanentes e acidentais".

d) carregamento horizontal

Os esforços horizontais devem ser resistidos pela força de atrito na base e pelo empuxo passivo do solo. Neste caso último caso, ressalte-se, não se deve escavar o solo situado à frente da sapata. Abaixo do nível d'água, ressalte-se a consideração do peso específico submerso do material nas verificações.

e) recalques

Na análise dos recalques, devem-se considerar tanto os recalques elásticos imediatos e os por adensamento que são lentos.

Estudos Preliminares

Recalques elásticos: utiliza-se a teoria da elasticidade para cálculo da magnitude dos recalques. Recomenda-se a utilização das formulações de Poulos e Davis (16) ou obtidos por análise numérica, utilizando-se de parâmetros geotécnicos constantes de bibliografias, em função do material previsto nos levantamentos preliminares.

Recalques por adensamento: utiliza-se a teoria do adensamento de Terzaghi com parâmetros geotécnicos do solo mole constantes de bibliografias. Situações de implantação de fundações diretas de edificações sobre camadas de argilas compressíveis, entretanto, devem ser evitadas ao máximo.

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.

Projeto básico

Recalques elásticos - utiliza-se a teoria da elasticidade para cálculo da magnitude dos recalques. Recomenda-se a utilização das formulações de Poulos e Davis [16] ou obtidos por análise numérica, utilizando-se de parâmetros geotécnicos obtidos a partir de correlações com ensaio SPT.

Recalques por adensamento: utiliza-se a teoria do adensamento de Terzaghi com parâmetros geotécnicos constantes de bibliografias obtidos a partir de correlações com o ensaio SPT.

Projeto executivo

Recalques elásticos - recomenda-se a utilização das formulações da teoria da elasticidade de Poulos e Davis [16] ou análises numéricas, utilizando-se de parâmetros de ensaios de laboratório ou *in situ* em função do material encontrado.

Recalques por adensamento – recomenda-se avaliar os recalques pela teoria do adensamento de Terzaghi ou por análises numéricas, utilizando-se parâmetros de ensaios de laboratório ou de campo específicos para solo moles encontrados.

5.3.4 Fundações profundas

Conforme definição da NBR 6122[1], fundações profundas são aquelas que estão assentes à profundidade maior que o dobro da sua menor dimensão em planta. Estas devem transmitir os esforços ao solo pela base, pela superfície lateral de contato ou por uma combinação das duas.

As fundações profundas devem ser separadas em dois grupos principais:

- estaca: elemento de fundação profunda executado por cravação a percussão, prensagem, vibração ou por escavação, com auxílio de ferramentas e equipamentos. Devem ser do tipo moldadas *in loco*, como por exemplo, as estacas escavadas com ou sem uso de lama bentonítica, Franki, hélice contínua e ômega, ou do tipo pré-moldadas de concreto, metálicas e madeira;
- tubulão: elemento de fundação profundo de forma cilíndrica com base alargada pela qual são transmitidas as cargas para o solo. São do tipo a céu aberto ou a ar comprimido, este último utilizado em casos em que a fundação deve ser executada abaixo do nível d'água.

5.3.4.1 Projeto das Fundações Profundas

Tubulões

a) esforços de compressão:

Com base nas sondagens e ensaios executados nos locais de implantação dos tubulões, deve-se determinar a cota de apoio das bases e a tensão admissível decorrente. Os seguintes fatores condicionantes devem ser analisados cuidadosamente:

- presença de lençol freático e seu nível, já que escavações de tubulões sob lençol

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.

freático requerem a utilização de ar comprimido. É indispensável que na execução das fundações sejam observadas as normas de segurança NR 18, Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção[17] e obedecido o Anexo 6, Trabalho sob condições hiperbáricas, da NR 15, Atividade e Operações Insalubres[18]. Este anexo define os requisitos necessários para o desenvolvimento dos trabalhos sob ar comprimido e submerso, incluído os serviços efetuados em ambientes em que o trabalhador é obrigado a suportar pressões maiores que a atmosférica, atividade que exige cuidadosa descompressão. Em fundações executadas com essa técnica, é obrigatório que os profissionais tenham conhecimentos específicos, sejam treinados e se submetam a exames médicos periódicos;

- as características dos solos existentes abaixo do bulbo de tensões da base do tubulão. Os solos devem ter resistência compatível com a tensão atuante. Deve-se evitar apoiar as bases sobre solos colapsíveis ou expansivos. De forma alguma, podem existir cavidades abaixo da base dos tubulões;
- analisar o tipo de solo presente na região do disparo da base. Solos predominantemente arenosos não são estáveis para escavações de abertura de base dos tubulões. È necessário analisar táctil-visualmente os testemunhos das sondagens e averiguar a possibilidade de abertura da base.

A seguir estão apresentados alguns procedimentos pelos quais as tensões admissíveis na base de tubulões podem ser estimadas.

Estudos preliminares

Sugere-se a pesquisa a projetos de obras existentes próximas ao local de implantação, a estudos e investigações geotécnicas anteriores. Na ausência destes, sugere-se que, através de vistoria ao local, se avalie, na medida do possível, as condições do terreno de fundação.

Projeto básico

Métodos semi-empíricos

Através de métodos semi-empíricos com a utilização de correlações consagradas, como por exemplo, as que consideram os valores de N_{SPT} para a estimativa da tensão admissível.

Dentre estes métodos sugere-se a utilização de Sanglerat *apud* Decourt[19], Alonso[20] e Aoki[21].

Métodos empíricos baseados em prescrições constantes em normas

Utiliza-se a mesma tabela de pressões básicas, constante da norma NBR 6122/96[1], apresentada no item anterior, para o caso de fundações rasas.

Métodos teóricos através de fórmulas de capacidade de carga

Através de fórmulas teóricas que visam estimar a tensão de ruptura geral do solo. O coeficiente de segurança adotado deve levar em consideração como foram obtidos os parâmetros de resistência que estão sendo utilizados, se através de interpretação 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 bibliografias, de experiências regionais, de correlações etc. Nestes casos, é usual a utilização de um fator de segurança de 3,0 para se estimar a tensão admissível. São comumente utilizadas as formulações propostas por Terzaghi [10], Skempton[11] e Vesic[12], Hansen[14] e Meyerhoff[13].

Projeto executivo

Métodos conforme os descritos para a fase do projeto básico usando sondagens do próprio local de obras.

Métodos baseados em provas de carga sobre placas

Deve-se realizar a prova de carga na cota de apoio da base do tubulão. A execução da prova de carga deve seguir as prescrições preconizadas pela NBR 6489[15].

b) esforços de tração

A verificação de tubulões submetidos à tração, admite a mobilização de um tronco de cone, desde a base até a superfície do terreno. O esforço de tração deve ser menor ou igual a soma do peso do tubulão e do solo contido no tronco de cone. Abaixo do nível d'água, deve-se considerar o peso especifico submerso do solo. A direção da diretriz do tronco de cone é normalmente definida com um ângulo de 10^o a 15^o com a vertical. Entretanto, cada caso deve ser analisado, inclusive a real possibilidade de mobilização do tronco de cone, em função das características do terreno.

c) esforços de flexão

Os elementos de fundação do tipo profunda de OAE invariavelmente estão sujeitos a esforços de flexão devido às forças horizontais, isto é, empuxo de terra do encontro, vento, temperatura, frenagem etc.

Neste caso, a análise das fundações deve ser feita objetivando-se:

- determinar os diagramas de momentos fletores e esforços cortantes nos elementos de fundação para dimensionamento estrutural;
- verificar as magnitudes dos deslocamentos e sua compatibilidade com a estrutura;
- verificar a capacidade do terreno de fundação de suportar os esforços laterais.

Estas análises são feitas pelo projeto estrutural cabendo aos estudos geotécnicos fornecer os parâmetros para cálculos.

Geralmente, utiliza-se o método de viga sobre apoio elástico, isto é, modelo de Winkler, simulando-se o comportamento do solo através de elementos tipo *molas*. A resistência do solo é representada pela força máxima que a mola deve suportar.

d) recalques

O recalque no topo dos tubulões é dado pela soma das parcelas de encurtamentos elástico do concreto do fuste e deformação do solo subjacente à base. A deformação elástica pode ser determinada através da aplicação da lei de Hooke necessitando-se conhecer o módulo de elasticidade do concreto.

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 deformação do solo subjacente à base é calculada considerando-se que até uma profundidade igual a dois diâmetros (2D) de maciço de solo, que é uma região de influência do bulbo de tensões, esteja sob influência das tensões atuantes. Para tanto, pode-se utilizar a teoria da elasticidade através da teoria de Boussinesq, quando o maciço for homogêneo, ou de Westegaard para solos estratificados.

No caso de solos argilosos deve-se acrescentar ao recalque imediato elástico o recalque por adensamento.

Estacas

a) esforços de compressão:

Inicialmente, deve-se escolher o tipo de estaca mais adequado para a situação, com base nas sondagens e ensaios executados nos locais de implantação da obra. Devem ser analisados outros fatores geotécnicos condicionantes como presença de camadas de concreções, pedregulhos, blocos rochosos ou qualquer outro material impenetrável à percussão, fato que inviabiliza a utilização de alguns tipos de estacas cravadas ou mesmo escavadas;

O dimensionamento geotécnico de estacas cravadas ou escavadas consiste na determinação do comprimento necessário para transferir adequadamente ao solo o carregamento do topo das estacas.

É necessário calcular a carga de ruptura e aplicar um coeficiente de segurança de acordo com o prescrito nas normas vigentes.

A seguira estão apresentados alguns procedimentos pelos quais os comprimentos das estacas devem ser estimados.

Métodos semi-empíricos

Dentre os métodos semi-empíricos mais utilizados para o dimensionamento de fundações em estacas, destacam-se as formulações propostas por Aoki e Velloso[21], Décourt e Quaresma[22] e Antunes e Cabral[23].

No entanto, antes de utilizar qualquer método, deve-se observar se as hipóteses adotadas por cada um deles são aplicáveis ao caso em estudo.

Métodos teóricos através de fórmulas de capacidade de carga

Os métodos teóricos baseiam-se no emprego de fórmulas de capacidade de carga com a utilização de coeficientes de segurança adequados. O coeficiente de segurança deve ser o recomendado pelo autor de cada modelo e levar em conta a maneira pela qual foram obtidos os valores dos parâmetros de resistência, se através de ensaios, bibliografia, experiência regional, correlações etc.

b) esforços devidos a flexão:

Para as estacas escavadas ou cravadas submetidas à flexão, valem as mesmas considerações feitas para os tubulões.

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.

5.3.5 Elementos que o projeto deve fornecer

O projeto de fundações é composto por um relatório técnico, memória de cálculo e desenhos para levantamento de quantidades e contratação dos serviços, no caso da fase do projeto básico ou aquisição de materiais e execução, no caso do projeto executivo.

Estudos preliminares

- relatório técnico: texto descrevendo a rodovia, o sub-trecho, o número do contrato de prestação dos serviços. Devem-se citar, ainda, a estrutura envolvida, sua localização e outros dados que permitam identificar, sem causar dúvidas, a que elementos de fundação se refere o estudo;
- memória de cálculo: citar os métodos de cálculo empregados para os cálculos realizados, mesmo que expeditos ou baseados em parâmetros geotécnicos obtidos a partir de estudos ou obras existentes nas proximidades. Citar referências bibliográficas onde se encontram os fundamentos do método ou referências de obras similares.

Os desenhos devem conter as informações básicas de locação e execução das fundações. Assim, devem constar:

- tipo de fundação projetado;
- cota de assentamento da base de tubulões ou sapatas ou comprimento previsto das estacas;
- sondagens de referência se quando disponíveis;
- notas e recomendações gerais.

Projeto básico

- relatório técnico com descrição da rodovia, o sub-trecho, o número do contrato de prestação dos serviços, o nível de detalhamento. Deve-se citar, ainda, a estrutura envolvida, sua localização e outros dados que permitam identificar, sem causar dúvidas, a que elementos de fundação se refere o estudo. Incluir descrição das condições do terreno, como inclinação, tipo de cobertura existente, proximidades com benfeitorias e redes de interferência enterradas ou aéreas, condições de acesso ao local. Ilustrar este tópico com fotos do local;
- memória de cálculo com considerações sobre o subsolo, citando os métodos de investigações utilizados, fazendo referencia ao relatório onde conste os boletins individuais, no caso de sondagens a percussão ou rotativa. As considerações sobre o sub-solo devem ser feitas com base em planta de locação das investigações e perfil geológico-geotécnico que permita visualizar os tipos de solos constituintes do subsolo. Devem ser destacadas ocorrências como camadas de solos moles, de solos porosos colapsíveis, posição de topo rochoso e posição do nível freático. Citar os métodos empregados para os cálculos geotécnicos realizados. Citar as referências bibliográfica onde se encontram os fundamentos do meto do.

Os desenhos devem conter as informações necessárias para o levantamento de quantitativos de serviços e orçamento das fundações. Assim, devem constar:

- tipo de fundação projetado;

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.

- cota de assentamento da base de tubulões ou sapatas ou comprimento previsto das estacas;
- planta que permita visualizar a locação dos elementos de fundação;
- tabela-resumo de quantidade de elementos de fundação: quantidade de estacas, comprimentos, volumes de concreto de sapatas, de escavação etc.;
- sondagens de referência;
- notas e recomendações gerais.

Projeto executivo

No relatório técnico devem ser apresentados, no mínimo, os seguintes tópicos:

- apresentação: texto descrevendo a rodovia, o sub-trecho, o número do contrato de prestação dos serviços, o nível de detalhamento. Deve-se citar, ainda, a estrutura envolvida, sua localização e outros dados que permitem identificar, sem causar dúvidas, a que elementos de fundação o estudo se refere;
- descrição do local de implantação da obra: descrever as condições do terreno, como inclinação, tipo de cobertura existente, proximidades com benfeitorias e redes de interferência enterradas ou aéreas, condições de acesso ao local. Ilustrar este tópico com fotos do local;
- considerações sobre o subsolo: inicialmente, citar os métodos de investigações utilizados fazendo referencia ao relatório onde conste os boletins individuais, no caso de sondagens a percussão ou rotativa. As considerações sobre o sub-solo devem ser feitas com base em planta de locação das investigações e perfil geológico-geotécnico que permita visualizar os tipos de solos constituintes do subsolo. Devem ser destacadas ocorrências como camadas de solos moles, de solos porosos colapsíveis, posição de topo rochoso e posição do nível freático;
- esforços solicitantes: elaborar tabela onde conste, para cada elemento de fundação e de cada bloco, os esforços solicitantes (M, V e N) atuantes no nível da cota de arrasamento das fundações profundas ou base das fundações diretas. Os esforços solicitantes não são limitados aos fornecidos pelo projeto estrutural. No caso de existência de camadas de solos moles compressíveis na região dos encontros de pontes podem esforços adicionais de compressão nas estacas e de flexão, efeito *Tschebotarioff*;
- sondagens ou ensaios utilizados como base: citar o relatório onde conste os perfis individuais das sondagens, destacando aquelas específicas à estrutura considerada;
- parâmetros adotados para o solo: apresentar, em forma de tabela, valores de parâmetros geotécnicos: coesão, ângulo de atrito, peso específico e coeficiente de reação de mola adotados para os tipos de solos envolvidos no mecanismo de iteração solo-estrutura. Estes parâmetros são fornecidos ao projeto estrutural para processamento da estrutura e obtenção dos esforços solicitantes nos elementos de fundação e os deslocamentos. Deve ainda ser apresentada a sustentação dos valores dos parâmetros geotécnicos adotados, com base nas investigações e ensaios realizados ou correlações consagradas com base em resultados das sondagens a percussão;
- escolha do tipo de fundação: para explicitação deste, ver item 5.3.1.

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.

- recomendações executivas: devem ser mencionadas as recomendações executivas visando o atendimento às premissas adotadas no projeto e às incertezas existentes em estudos geotécnicos, como por exemplo a confirmação, durante a obra, da tensão admissível na base de tubulões, por engenheiro geotécnico de fundações;
- bibliografias: todas as referências citadas no texto devem constar da lista de bibliografias;

A memória de cálculo, por sua vez, deve abranger no mínimo os seguintes tópicos:

- apresentação: texto descrevendo a rodovia, o sub-trecho, o número do contrato de prestação dos serviços, o nível de detalhamento. Deve-se citar, ainda a estrutura envolvida, sua localização e outros dados que permitem identificar, sem causar dúvidas, a que elementos de fundação o estudo se refere. Deve-se também citar outras informações sobre problemas apresentados no relatório técnico;
- descrição do local de implantação da obra: descrever as condições do terreno, como inclinação, tipo de cobertura existente, proximidades com benfeitorias e redes de interferência enterradas ou aéreas, condições de acesso ao local. Ilustrar este tópico com fotos do local;
- esforços solicitantes: elaborar tabela onde conste, para cada elemento de fundação e de cada bloco, os esforços solicitantes (M, V e N) atuantes no nível da cota de arrasamento das fundações profundas ou base das fundações diretas. Os esforços solicitantes não são limitados aos fornecidos pelo projeto estrutural. No caso de existência de camadas de solos moles compressíveis na região dos encontros de pontes podem esforços adicionais de compressão nas estacas e de flexão, efeito *Tschebotarioff*;
- método de cálculo empregado: citar os métodos de cálculo empregados para os cálculos geotécnicos realizados. Citar a referência bibliográfica onde se encontram os fundamentos do método;
- cálculo da fundação: apresentar de maneira clara, ou seja, que permita plenamente sua verificação, os cálculos efetuados para dimensionamento geotécnico da fundação. No caso de planilhas de cálculo, apresentar os cálculos e resultados intermediários que conduziram ao resultado;
- bibliografias: todas as referências citadas no texto devem constar na lista de bibliografias.

Os desenhos devem conter as informações necessárias para a aquisição dos materiais, locação e execução das fundações. Assim, devem constar:

- tipo de fundação projetado;
- cota de assentamento da base de tubulões ou sapatas ou comprimento previsto das estacas;
- planta com coordenadas para locação com seções e detalhes específicos;
- tabela-resumo de quantidade de elementos de fundação: quantidade de estacas, comprimentos, volumes de concreto de sapatas, de escavação etc.;
- sondagens de referência;

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.

- método ou seqüência construtiva específico;
- nega e repique elástico previstos no caso de estacas cravadas;
- esforços solicitantes;
- notas e recomendações gerais.

5.4 Fundação de OAC

Da mesma forma que no caso das OAE, deve-se elaborar seção geológico-geotécnica indicando as sondagens executadas, devidamente posicionadas em planta e perfil, facilitando a visualização da implantação da obra, do ponto de vista geotécnico. Devem ser analisados os seguintes pontos:

- bueiros de talvegues, na maior parte das situações, são estruturas implantadas sob aterros e em regiões com ocorrência de solo mole. Deve-se calcular a grandeza dos recalques absolutos e diferenciais, verificando se estes não afetam a declividade do bueiro e a vazão de projeto;
- caso a declividade seja afetada e constatada a impossibilidade de deslocar sua implantação em terreno firme, deve-se estudar a solução de melhoria de fundação, através de remoção total, compensação de recalque por contra-flecha ou até mesmo estaqueamento;
- deve ser dada atenção especial para o caso de ocorrência de materiais rochosos na base da obra. Mudanças bruscas de capacidade de suporte da galeria induzem esforços cisalhantes nas paredes. Neste caso, deve-se projetar uma sobreescavação das partes rochosas, reaterrando com solo ou material granular;
- os estudos devem ser feitos em conjunto com os estudos hidráulicos por ocasião do estudo de implantação da galeria. Orientar o posicionamento da galeria de maneira que o terreno de fundação seja o mais firme possível, porém sem prejudicar seu funcionamento hidráulico.

5.5 Aterro sobre solo mole

5.5.1 Definição de solo mole

Solos moles são aqueles com baixa capacidade de suporte e alta compressibilidade e quando situados sob a base de aterros, apresentam problemas de estabilidade e recalques, caso não sejam feitos tratamentos adequados. De maneira geral os solos classificados como moles ou compressíveis são:

- argilas, orgânicas ou não, de consistência muito mole a mole, com valores de penetração *Standard Penetration Test* - SPT em geral inferior a 2 golpes/30 cm, baixa coesão, elevada umidade natural;
- turfas, comumente com elevado teor de matéria orgânica e restos vegetais que apresentam baixos índices de penetração SPT, baixos valores de coesão, elevada umidade, porém com permeabilidade bem maior que as argilas citadas acima;
- siltes argilosos fofos e saturados;

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.

- argilas porosas e areias porosas não saturadas colapsíveis.

5.5.2 Otimização do traçado considerando solos moles

De posse do mapeamento geológico da faixa de domínio, elaborado pelos estudos geológicos, com as regiões de ocorrência de solos moles indicadas, deve-se interagir com o projeto geométrico orientando a busca do melhor traçado, de modo a diminuir os custos de implantação da rodovia devido à necessidade de soluções para tratamento de solos moles.

Como regra geral, deve-se buscar o traçado que evite a passagem sobre regiões de solos moles. Caso não seja possível, deve-se orientar para que seja diminuída a altura do greide nessas regiões, permitindo soluções para estabilização menos onerosas. Neste caso, os estudos hidrológicos devem ser conduzidos paralelamente, já que existe restrição quanto ao greide mínimo devido à cota de inundação da área, além de dimensões mínimas de galerias. Nos aterros de encontro junto a pontes, ainda existe um condicionante hidráulico, onde se deve respeitar o *free-board* mínimo, isto é, a altura entre o nível d'água máximo de projeto e a parte mais baixa da estrutura da ponte.

5.5.3 Influência com o tipo de pavimentação

Os pavimentos do tipo flexíveis admitem a ocorrência de recalques ao longo do tempo, permitindo reparos durante sua vida útil. Por outro lado, os pavimentos do tipo rígidos não admitem recalques, pois as tensões induzidas trincam as placas; no conceito de desse projeto, não se prevê reparos durante a operação da rodovia.

A natureza do fenômeno de recalques por adensamento é bastante complexa; a aplicação do modelo de cálculo através da teoria do adensamento de Terzaghi impõe simplificações; assim, todo cálculo de adensamento é estimativo, impossibilitando a precisão das magnitudes dos recalques e tanto maior, se estes ocorrem de maneira uniforme ou diferenciada.

Como regra geral inicial, não deve ser projetado pavimento do tipo rígido em situações onde as soluções de estabilização de aterros sobre solos moles prevêem a ocorrência de recalques residuais por adensamento durante a operação da rodovia.

5.5.4 Projeto de aterros sobre solos moles

O projeto de aterros sobre solos moles compreende as seguintes atividades:

Estudos preliminares

- caracterização inicial, para as várias alternativas de traçado, das ocorrências de solos moles identificando os locais de ocorrência e as extensões aproximadas de cada;
- proposição de alteração do traçado de modo a evitar ou minimizar a passagem sobre áreas de ocorrências de bolsões de solos moles;
- proposição de alternativas de soluções de estabilização para cada alternativa de traçado em estudo.

Projeto básico

- caracterização completa, para a alternativa de traçado eleita, das ocorrências 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.

moles delimitando os limites de ocorrência e as espessuras de cada;

- programação e execução de investigações geotécnicas, constituída inicialmente por sondagens à percussão e à barra-mina;
- definição se a solução de substituição total da camada de solo mole é viável;
- execução de investigações complementares e ensaios especiais visando à obtenção de parâmetros de resistência e deformabilidade dos solos moles, caso a solução de substituição total da camada de solo mole não seja viável;
- interpretação dos resultados e definição de parâmetros para análises;
- resistência e deformabilidade dos solos moles;
- estabilidade dos taludes;
- recalques por adensamento;
- escolha da solução para estabilização;
- concepção do tratamento.

Projeto executivo

- investigações geotécnicas complementares com a finalidade de melhorar a precisão dos limites de ocorrência dos solos moles e dos valores representativos de parâmetros geotécnicos adotados nas análises;
- detalhamento da solução de estabilização;
- elaboração de método construtivo;
- elaboração de plano de instrumentação para acompanhamento e liberação das etapas do método construtivo.

A seguir é feita a explicitação do conteúdo de cada das atividades principais.

5.5.4.1 Caracterização das ocorrências de solos moles

A caracterização das ocorrências de solos moles consiste em se mapear estas regiões, tanto no que diz respeito a sua extensão como profundidade. Esta atividade deve ser desenvolvida pelos estudos geológicos, principalmente durante o mapeamento geológico da faixa de domínio.

Devem ser executadas investigações geotécnicas de acordo com a IP-DE-G00-002 - Serviços Geotécnicos e com a fase do projeto.

Cabe destacar que os ensaios especiais de campo e laboratório para obtenção de parâmetros de resistência e deformabilidade das camadas de solos moles, só devem ser executados após o conhecimento prévio da extensão e espessuras daquelas e, principalmente, da análise para avaliar se é possível ou não a sua substituição total.

A caracterização dos depósitos de materiais inconsistentes deve ser representada nas plantas de mapeamento geológico da faixa. As espessuras das ocorrências devem ser representadas com base nos perfis geométricos da rodovia em seções geológicas representativas do trecho

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.

em estudo. Em ambos os casos, devem ser seguidas as prescrições da IP-DE-G00-001 – Estudos Geológicos. Nestas seções, deve-se posicionar todas as sondagens executadas de maneira possibilitar inferir uma seção das camadas de solos ocorrentes, a posição do nível d'água etc. As seções longitudinais devem conter o greide do projeto geométrico, as transversais, as plataformas viárias e as benfeitorias lindeiras, além da faixa de domínio.

5.5.4.2 Análise da viabilidade da substituição do solo mole

Deve-se analisar a viabilidade da substituição do solo mole, após a caracterização das ocorrências assim como a otimização do traçado, em planta e perfil, visando evitar ou minimizar a passagem do traçado sobre aquelas.

A substituição do solo mole, quando total, resolve os problemas de estabilidade global e recalques do aterro viário. Quando parcial, estes problemas são minimizados.

Como regra geral, a solução de substituição total em ocorrências de solos moles com espessuras de até 3,0 m é técnica e economicamente viável para aterros de grande altura. Entretanto, deve-se considerar fatores ambientais, já que os materiais provenientes das cavas de remoção são inservíveis e devem ser dispostos adequadamente em áreas de depósito de materiais excedentes e considerar a distância de transporte nos estudos econômicos.

A substituição parcial, quando adequada, resolve o problema da estabilidade global, porém os problemas de recalques por adensamento permanecem dependendo das dimensões relativas entre a altura do aterro e da espessura da camada de solo mole.

O material de enchimento da cava de remoção, como em geral se tratam de áreas com nível d'água elevado, deve ser constituído por material inerte granular até o nível em que seja possível, inclusive com previsão de uso de bombeamento de vala, o prosseguimento do reaterro com solo compactado a seco.

A delimitação das áreas com substituição de solo mole, deve ser feita nos desenhos em planta do projeto geométrico. Nas seções longitudinais e transversais, indicam-se os limites de substituição e as espessuras previstas.

5.5.4.3 Escolha da solução para estabilização

Caso se conclua que a substituição total da camada de solo mole não é viável, deve-se proceder ao estudo para escolha da solução para estabilização.

As seguintes soluções são comumente utilizadas, para o caso de aterros rodoviários, de maneira isolada ou de maneira combinada:

- execução de bermas de equilíbrio, respeitando-se o limite da faixa de domínio;
- aceleração de recalques com emprego de drenos fibro-químicos, estacas de areia ou brita;
- aplicação de pré-carga ou sobrecarga temporária;
- reforço da base do aterro com geogrelha;
- aterro estaqueado;

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.

- tratamento da camada de solo mole com colunas de cimento do sistema *jet-grouting*.

As instruções visando o projeto de cada uma das alternativas acima citadas são apresentadas em itens subseqüentes.

5.5.4.4 Interpretação dos resultados de investigações e ensaios especiais e definição de parâmetros para análises

Resistência da fundação

A ruptura dos solos é, na maioria dos casos, um fenômeno de cisalhamento. A resistência ao cisalhamento do solo deve ser definida como a máxima tensão cisalhante que o solo deve suportar sem sofrer ruptura.

O período mais crítico para execução de um aterro sobre solo mole geralmente é a fase construtiva, quando as solicitações ocorrem rapidamente, sem tempo para que ocorra o alívio do excesso de poro-pressões e assim, a resistência ao cisalhamento do solo é mínima. Com o passar do tempo, a argila mole vai adensando e, conseqüentemente, a sua resistência cisalhante aumenta.

A análise da estabilidade dos taludes envolve a adoção de critérios de ruptura. Nos estudos geotécnicos de estabilidade de taludes, costuma-se utilizar o critério de *Mohr-Coulomb* para estimativa dos parâmetros de resistência do solo.

Compressibilidade da fundação

A compressão da camada de solo mole da fundação de um aterro ocorre, de maneira simplificada, por adensamento, em virtude da saída da água dos vazios do solo quando aplicado um acréscimo de tensão.

Esta compressão conduz a recalques do aterro que, em determinadas situações, devem comprometer estruturas a estes diretamente apoiadas, como, por exemplo, pavimento e dispositivos de drenagem.

O comportamento dos solos devido ao acréscimo de carga depende da sua constituição e do estado em que o solo se encontra, ou seja, normalmente ou pré-adensado, e deve ser expresso por parâmetros que são obtidos nos respectivos ensaios de campo e laboratório ou através de correlações com outros tipos de investigações mais simples, em geral, sondagem à percussão.

A seguir são descritas rotinas para interpretação dos resultados dos ensaios e investigações, para obtenção dos parâmetros de resistência e compressibilidade da camada de solo mole. Os tipos de ensaios devem ser subdivididos em “de campo” ou *in situ* e “de laboratório”.

Ensaios de campo ou “*in situ*”

São muito importantes pois os solos moles, em geral, são bastante sensíveis sujeitos à alteração de suas características devido aos “traumas” de amostragem. A realização de ensaios *in situ*, permite que se ensaie solo mole nas condições reais em que se encontra.

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.

Os tipos e o nível de investigação a se executar em cada etapa de projeto são especificados na IP-DE-G00-002 – Serviços geotécnicos.

Os ensaios de campo comumente utilizados são:

a) Vane Test:

O ensaio de palheta através da leitura do torque versus rotação, permite a determinação dos valores de resistência não drenada do solo em campo, ao longo da profundidade da camada. Estes valores devem ser corrigidos pelo método proposto por Bjerrum[24], em particular quando utilizado para a análise da estabilidade de aterros. Deve-se plotar um gráfico de resistência não drenada, versus profundidade onde é possível obter a reta que define a coesão não drenada inicial e seu acréscimo com a profundidade.

Da posse dos resultados, compara-se a resistência residual com a de pico. Caso aquela não seja inferior à de pico, significa que pode-se ter ensaiado material turfoso com restos vegetais, para o qual os resultados do ensaio de *Vane Test* não são representativos.

b) CPTU:

Os piezocones permitem a medida contínua da resistência de ponta e do atrito lateral na cravação, possibilitando a plotagem de gráficos simultaneamente com a realização do ensaio. Permite ainda, através de pedra porosa, a leitura da medida do excesso de pressão neutra gerada na cravação.

No caso de solos moles argilosos, os parâmetros que devem ser estimados através do ensaio de piezocone são:

- resistência não drenada;
- razão de sobreadensamento;
- sensibilidade;
- coeficiente de empuxo no repouso;
- parâmetros de resistência efetivos;
- modulo de Young;
- módulo edométrico;
- módulo cisalhante máximo, se feito o CPTU sísmico;
- coeficiente de adensamento horizontal;
- permeabilidade horizontal.

A maioria dos parâmetros acima é, em geral, obtida através de correlações com resultados do CPTU em conjunto com outros ensaios de campo e laboratório. Para detalhes sobre os procedimentos de interpretação dos resultados e as correlações existentes, recomenda-se a consulta a Schnaid[25] e Almeida[26].

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 Laboratório

Para a obtenção dos parâmetros de resistência através de ensaios de laboratório devem ser extraídas amostras indeformadas, por exemplo, através de amostradores de parede fina tipo *Shelby*, amostrador de pistão ou blocos indeformados. A partir destas amostras é possível a moldagem de corpos de prova para a realização dos ensaios descritos na seqüência.

a) ensaio de cisalhamento direto:

O ensaio de cisalhamento direto baseia-se no critério de Coulomb. Nele são registrados os valores de tensão de ruptura do solo e de deslocamentos horizontal e vertical, este último para se verificar a variação de volume do corpo de prova durante o cisalhamento. Realizando-se ensaios com diversas tensões normais, obtém-se a envoltória de resistência através do qual se determinam os parâmetros de coesão e atrito do solo.

b) ensaio de compressão triaxial:

No ensaio triaxial, a leitura do acréscimo de tensão, ou tensão desviadora, e da deformação específica permite a determinação do módulo de deformabilidade do solo.

Na situação de ruptura, o valor da tensão desviadora máxima possibilita o traçado do círculo de Mohr. Ensaiando-se vários corpos de prova submetidos a tensões confinantes distintas, consegue-se traçar a envoltória de resistência, e conseqüentemente, determinar os parâmetros de coesão e atrito do solo em estudo.

No caso de solos moles, são executados ensaios do tipo rápidos, com ou sem medida de pressão neutra.

5.5.4.5 Estabilidade dos taludes

A análise de estabilidade dos taludes de aterros sobre solos moles deve ser feita para todas as seções consideradas críticas, seja pela altura do aterro, pela espessura da camada de solo compressível, ou ainda, pelas características de resistência e deformabilidade do solo da fundação.

Estudos Preliminares

Na fase de estudos preliminares, as proposições de soluções devem ser feitas com base na experiência adquirida em situações similares ou pesquisa de obras semelhantes construídas na região.

Projeto básico

Na fase de projeto básico pode-se empregar métodos simplificados de avaliação de estabilidade de talude, como ábacos de Souza Pinto[28]. No caso do solo da fundação apresentar mais de duas camadas, deve-se analisar por métodos de equilíbrio limite.

Projeto executivo

Na fase de projeto executivo, a estabilidade do talude deve ser avaliada de maneira mais aprofundada através de análises por equilíbrio limite para superfícies circulares ou não circulares, como, por exemplo, pela utilização dos métodos propostos de Bishop, Fellenius, Jan-

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.

bu e Spencer. No caso de taludes com bermas de equilíbrio extensas, em geral, as superfícies planares apresentam fatores de segurança mais críticos do que as circulares.

Antes de se utilizar qualquer método, deve-se observar, no entanto, se as hipóteses adotadas são aplicáveis ao caso em questão.

Para a análise, é fundamental a consideração de sobrecargas que simulem adequadamente as solicitações impostas ao aterro durante a sua vida útil e, também, de sobrecargas especiais de equipamentos e veículos que possam ser necessários à execução do mesmo.

Os fatores de segurança mínimos aceitáveis devem ser adotados segundo os valores preconizados na norma NBR 11682/1991[29].

5.5.4.6 Recalques por adensamento

Avaliação dos recalques de aterros sobre solos moles consiste em determinar as magnitudes dos recalques e a sua evolução com o tempo.

Para a avaliação da magnitude dos recalques, consagradamente, utiliza-se a teoria de adensamento unidimensional de Terzaghi. Ainda pela Teoria do Adensamento Unidimensional de Terzaghi, deve ser estimado o tempo necessário para que a maior parte do recalque ocorra, levando em consideração o tempo de construção do aterro e seu método de construção.

Estudos preliminares

A avaliação dos recalques é feita com base nos parâmetros geotécnicos que podem ser obtidos através de consulta bibliográfica. Deve-se fornecer uma idéia da magnitude dos recalques e do tempo necessário para sua ocorrência tendo em vista subsidiar o estudo de alternativas de traçado.

Projeto básico

O cálculo dos recalques é feito com base nos parâmetros geotécnicos obtidos nos ensaios que devem ser realizados nesta fase conforme a IP-DE-G00-002 – Serviços Geotécnicos.

Devem ser calculados os recalques máximo e mínimo para verificar a possibilidade de ocorrência de trincas de tração ou deformações no aterro, por ocasião de recalques diferenciais. Havendo risco de ocorrência de problemas, devem ser apresentadas alternativas de tratamento visando eliminá-los ou minimizá-los.

Deve ser considerada ainda a influência das lentes de material mais permeáveis entremeadas na camada de argila mole que permitem a redução da distância de drenagem da água intersticial, acelerando a velocidade dos recalques.

Em geral, avalia-se o tempo necessário para que ocorram 95% do recalque estimado. Caso o tempo estimado seja considerado inaceitável, devem ser estudados tratamentos do solo mole visando acelerá-los, como por meio de drenos de areia, drenos fibro-químicos e aterros de sobrecarga; aterros estaqueados, colunas de brita, colunas de areia reforçadas com geotêxtil ou colunas de *jet grouting* que visam eliminar por completo os recalques estruturando a fundação do aterro.

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.

Projeto executivo

Os cálculos dos recalques devem ser reavaliados tendo em vista as investigações e os ensaios geotécnicos complementares realizados, previstos no projeto básico.

Em uma análise mais minuciosa, devem ser determinados os recalques imediatos utilizando a Teoria da Elasticidade, os quais devem ser somados aos recalques a longo prazo, para a estimativa dos recalques totais.

5.5.4.7 Concepção do tratamento

Nos casos em que os taludes do aterro forem considerados instáveis ou os recalques totais estimados estiverem acima dos limites aceitáveis, devem ser propostos tratamentos adequados à situação em estudo.

Para concepção do tratamento, devem ser estudadas as seguintes alternativas de situações:

- convivência com os efeitos dos recalques, considerando a necessidade de executar periodicamente a manutenção e regularização do pavimento da pista;
- substituição do solo mole, total ou parcialmente;
- tratamento do solo mole com drenagem vertical e sobrecarga temporária. Podem ser utilizados um ou mais tipos de tratamento em conjunto conforme necessidade e conveniência;
- solução estrutural como, por exemplo, aterro estaqueado ou até mesmo OAE.

Na seqüência estão descritos alguns dos processos de tratamento do solo mole.

Substituição do solo mole

Consiste em substituir, total ou parcialmente, o solo mole de baixa capacidade de suporte e compressível. Deve-se considerar que o material removido deve ser transportado para fora da faixa de construção e depositado em área de depósito de material excedente, de modo que não interfira com a construção da rodovia nem com o sistema de drenagem. Caso o solo mole não dê condições de suporte, pode ser necessário executar um forro de aterro ou estiva para o tráfego de equipamentos.

O preenchimento da cava, com material de substituição, deve ser executado logo após a conclusão da escavação da cava de remoção. Os materiais a serem utilizados no preenchimento da cava devem ser provenientes de cortes ou jazidas, devendo ter suas características definidas no projeto. Deve ser prevista a necessidade de bombeamento da cava. Até o nível d´água, o reaterro da cava é feito com material granular inerte tipo rachão ou areia, tendo em vista que o aterro com solo compactado só pode ser executado em condições secas.

Nos casos em que, as condições locais de estabilidade impeçam a remoção do solo compressível em toda a extensão, antes do início do preenchimento da cava, devido ao risco de instabilidade de estruturas ou pistas existentes lindeiras, deve-se prever a substituição do solo compressível por etapas ou nichos.

Quando a espessura de solo compressível for superior, em geral a 3,0 m, a sua remoção deve

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.

ser parcial. Neste caso, deve ser projetado um monitoramento do aterro executado para acompanhar a evolução dos recalques, através de seções instrumentadas. Se a remoção parcial estiver junto dos aterros de encontros de OAE, o método construtivo deve prever que a estrutura somente deve ser construída quando os recalques atingirem 100% do total estimado, ou seja, quando houver estabilização dos recalques.

Estaqueamento

Consiste em transferir a carga de um aterro para as partes mais profundas do subsolo que apresentam, em geral, maiores resistências e menores compressibilidades. Podem requerer o uso de capitéis de concreto e geogrelha na interface entre o topo das estacas e o aterro.

Como elementos de estaqueamento, podem ser utilizadas estacas pré-moldadas, colunas de pedra, colunas de areia, ou pó de pedra, envoltas por geossintético ou colunas de *jet grouting*.

Como método de cálculo, recomenda-se a utilização da metodologia apresentada no Manual Brasileiro de Geossintéticos(30).

Aterro de sobrecarga temporária

Por este processo, o solo mole é submetido a um carregamento maior do que aquele que deve atuar durante a vida útil da obra. Com isso, aceleram-se os recalques, primários e secundários e, ao mesmo tempo, consegue-se um aumento da resistência cisalhante do solo mole.

A vantagem deste tipo de tratamento é o custo de aplicação ser relativamente baixo. O inconveniente é a necessidade de remoção da sobrecarga aplicada, feita por um aterro adicional, para prosseguimento da obra.

O cálculo da altura de aterro de sobrecarga necessária é feito de modo que se obtenha o valor do recalque previsto em compatibilidade com os prazos previstos no cronograma da obra ou, na ausência deste, com um prazo que deve ser aprovado pela fiscalização do DER/SP, em geral de 3 a 5 meses.

A altura necessária de sobrecarga, caso seja julgada excessiva do ponto de vista técnico-econômico, deve ser revista combinando a solução com a de procedimentos para aumento da velocidade de drenagem, através da camada de solo mole, pelo do uso de drenos verticais de areia ou fibro-químicos.

Os valores das quantidades de serviço de movimento de terra resultantes da aplicação da sobrecarga, como o transporte, lançamento, espalhamento do material e sua posterior remoção, devem ser levantados e incorporados ao orçamento da obra.

Para aterros de encontros de pontes ou estruturas com fundação profunda, deve ser considerado recalque de adensamento secundário.

Drenos verticais

Nas situações em que o valor da altura de sobrecarga resultante seja considerado excessivo, em geral quando a espessura de solo mole é grande ou o seu coeficiente de adensamento é

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.

muito baixo, a sobrecarga torna-se ineficiente. Nestes casos, a utilização de drenos verticais auxilia na aceleração dos recalques, encurtando as distâncias de drenagem. Atualmente empregam-se drenos verticais fibro-químicos.

Sugere-se o método de dimensionamento apresentado por Almeida[26] ,para aplicação de drenos fibro-químicos.

5.5.4.8 Elementos que o projeto deve fornecer

O projeto de aterros sobre solos moles é composto por relatório técnico, memória de cálculo e desenhos para levantamento de quantidades ou execução, dependendo da fase dos trabalhos.

As escalas dos desenhos, em geral são 1:5000, sendo desejável 1:2000 para o estudo preliminar, 1:1000 para o projeto básico e 1:500 para o projeto executivo.

No relatório técnico devem ser apresentados, no mínimo, os seguintes tópicos:

- apresentação: texto descrevendo a rodovia, o sub-trecho, o número do Contrato de Prestação dos Serviços, o nível de detalhamento, estudo preliminar, projeto básico ou projeto executivo. Deve-se citar, ainda, o trecho da rodovia envolvido, por exemplo, aterro de encontro de ponte; sua localização através de estaqueamento de projeto e outros dados que permitam localizá-la e identificá-lo, sem causar dúvidas.
- descrição do local de implantação da obra: descrever as condições do terreno, se é local alagadiço ou não, tipo de cobertura existente, proximidades com benfeitorias e redes de interferência enterradas ou aéreas, condições de acesso ao local. Ilustrar este tópico com fotos do local.
- considerações sobre o subsolo: inicialmente, citar os métodos de investigações utilizados fazendo referencia ao relatório onde conste os boletins individuais, no caso de sondagens a percussão e as folhas de ensaios correntes ou especiais. As considerações sobre o sub-solo devem ser feitas com base em uma planta de locação das investigações e um perfil geológico-geotécnico que permita visualizar os tipos de solos constituintes do subsolo.
- sondagens ou ensaios utilizados como base;
- hipóteses básicas: tecer comentários sobre os métodos de cálculo que serão adotados e a justificativa para sua utilização. Simplificações e hipóteses admitidas devem também ser justificadas;
- parâmetros adotados para o solo: apresentar, em forma de tabela, valores de parâmetros geotécnicos, coesão, ângulo de atrito, peso específico, coeficiente de adensamento e índice de compressão, adotados para os tipos de solos envolvidos no mecanismo de ruptura e de adensamento. Deve ainda ser apresentada uma sustentação dos valores dos parâmetros geotécnicos adotados, com base nas investigações e ensaios realizados ou correlações consagradas com base em resultados das sondagens a percussão;
- escolha das soluções de tratamento: apresentar um estudo comparativo técnico-econômico das soluções de tratamento. Ver itens 5.5.4.2 e 5.5.4.3 anteriormente apresentados.

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.

- recomendações executivas: devem ser mencionadas as recomendações executivas visando o atendimento às premissas adotadas no projeto e às incertezas existentes em estudos geotécnicos. Um exemplo típico é a confirmação, durante a obra, da extensão e espessura de remoção e substituição de camada de solo mole.
- bibliografias: todas as referências citadas no texto devem constar na lista de bibliografias.

A memória de cálculo, por sua vez, deve abranger no mínimo os seguintes tópicos:

- apresentação: texto apresentando a rodovia, o sub-trecho, o N^{o} do contrato de prestação dos serviços, o nível de detalhamento, estudo preliminar, projeto básico ou projeto executivo. Deve-se citar, ainda, o trecho da rodovia envolvido, por exemplo, aterro de encontro de ponte; sua localização através de estaqueamento de projeto e outros dados que permitam localizá-la e identificá-lo, sem causar dúvidas.
- descrição do local de implantação da obra: descrever as condições do terreno, se é local alagadiço ou não, tipo de cobertura existente, proximidades com benfeitorias e redes de interferência enterradas ou aéreas, condições de acesso ao local. Ilustrar este tópico com fotos do local.
- considerações sobre o subsolo: inicialmente, citar os métodos de investigações utilizados fazendo referencia ao relatório onde conste os boletins individuais, no caso de sondagens a percussão e as folhas de ensaios correntes ou especiais. As considerações sobre o sub-solo devem ser feitas com base em uma planta de locação das investigações e um perfil geológico-geotécnico que permita visualizar os tipos de solos constituintes do subsolo.
- sondagens ou ensaios utilizados como base;
- hipóteses básicas: tecer comentários sobre os métodos de cálculo que serão adotados e a justificativa para sua utilização. Simplificações e hipóteses admitidas devem também ser justificadas;
- parâmetros adotados para o solo: apresentar, em forma de tabela, valores de parâmetros geotécnicos, coesão, ângulo de atrito, peso específico, coeficiente de adensamento e índice de compressão, adotados para os tipos de solos envolvidos no mecanismo de ruptura e de adensamento. Deve ainda ser apresentada uma sustentação dos valores dos parâmetros geotécnicos adotados, com base nas investigações e ensaios realizados ou correlações consagradas com base em resultados das sondagens a percussão;
- método de cálculo empregado: citar os métodos de cálculo empregados para os cálculos geotécnicos realizados. Citar a referência bibliográfica onde se encontram os fundamentos do método;
- cálculo da estabilidade e recalques, antes e depois do tratamento;
- bibliografias: todas as referências citadas no texto devem constar na lista de bibliografias.

Nos desenhos de projeto devem constar as seguintes informações:

- locação em planta das sondagens e ensaios;

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.

- seções geológico-geotécnicas permitindo visualizar as camadas de solos moles e o subtrato resistente, assim como a plataforma de aterro do trecho;
- zonas de tratamentos das camadas de solos moles, em planta e perfil;
- detalhes dos tratamentos tais como disposição de drenos verticais, geogrelhas etc.;
- método construtivo com etapas de seqüência construtiva;
- recomendações ou restrições executivas em forma de notas.

5.6 Aterro em encosta íngrime

Os problemas de aterros sobre encostas íngrimes associam-se principalmente à sobrecarga adicional exercida pelo peso do aterro na região da base em terreno íngrime.

Entretanto, em rodovias de regiões serranas, onde a ocorrência de encostas íngrimes é freqüente, podem existir massas naturalmente instáveis na base do aterro.

As causas da instabilidade natural de massas em encostas íngrimes são diversas e envolvem combinações de causas constituindo-se num fenômeno complexo. Em geral, os volumes de massa envolvidos são grandes e as ocorrências são sazonais, freqüentes em épocas chuvosas.

Estudos preliminares

Durante a fase de estudo de alternativas de traçado da rodovia, deve haver interação com os estudos geológicos, que devem mapear áreas de massas instáveis. O traçado escolhido não deve atravessar estas áreas, preferencialmente.

Projeto básico

Caso seja inevitável que o traçado da rodovia atravesse áreas de massas instáveis, a região deve ser mapeada por geólogo e investigada com ensaios de campo e laboratório, de acordo com as instruções da IP-DE-G00-002 – Instruções de Serviços Geotécnicos. No caso de massa instável de grandes dimensões, a transposição por obra de arte é inevitável.

Mesmo que a base do aterro não seja constituída por uma massa instável, devem ser realizadas análises de estabilidade de taludes.

A análise de estabilidade dos taludes de aterros sobre encostas íngrimes, deve ser feita para as seções consideradas críticas por meio de ábacos, pela altura do aterro ou pelas características de resistência e deformabilidade do solo da fundação.

Projeto executivo

As análises de estabilidade devem ser reavaliadas tendo em vista as investigações e os ensaios geotécnicos complementares realizados.

Os cálculos são realizados através de análises por equilíbrio limite para superfícies circulares ou não circulares, como, por exemplo, pela utilização dos métodos propostos por Bishop, Fellenius, Janbu e Spencer.

Para a análise, é fundamental a consideração de sobrecargas que simulem adequadamente as

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.

solicitações impostas ao aterro durante a sua vida útil e, também, de sobrecargas especiais de equipamentos e veículos especiais que possam ser necessários à sua execução.

Recomenda-se que os fatores de segurança mínimos aceitáveis estejam em concordância com os valores descritos na norma NBR 11682/1991[29].

Deve-se prestar atenção para o caso de existência de superfícies preferenciais de escorregamento no maciço da encosta, como é o caso de materiais xistosos. Nestas situações, o mecanismo de ruptura analisado deve contemplar aquelas superfícies considerando a percolação de água pelo maciço que intervém na estabilidade do conjunto terrapleno mais fundação.

5.7 Talude de corte

O estudo de taludes de cortes envolve a análise da estabilidade quanto à ruptura, a definição da inclinação que atenda aos requisitos de segurança e a classificação dos materiais que deverão ser escavados. Envolve ainda a definição do método construtivo, a definição da necessidade e o detalhamento de medidas de estabilização tais como: contenções, proteções superficiais e dispositivos para rebaixamento do lençol freático, como drenos sub-horizontais.

O estudo para classificação dos materiais da escavação, deve contemplar a sua caracterização tecnológica e o seu potencial de uso com material de construção da própria estrada. No caso de solos, a possibilidade de uso para construção de aterros e camada de reforço de pavimentos. No caso de rocha, o seu uso como agregado para concreto, material granular para base e sub-base e até mesmo em aterros.

Os taludes de corte são classificados em provisórios e definitivos. Os cortes provisórios são aqueles executados para permanecerem abertos para um curto espaço de tempo e que servem para a implantação de obras enterradas, tais como: galerias e tubulações, escavações de corta rios e para concretagem de elementos de fundação. Os cortes definitivos são aqueles que permanecerão abertos.

5.7.1 Projeto de taludes de corte

O projeto de taludes de corte deve ser executado em estreita relação com os estudos geológicos.

5.7.1.1 Caracterização do maciço

Estudos preliminares

Para a fase de estudos preliminares, devem-se obter as características locais a partir de interpretação de dados já existentes da área em questão, provenientes de projetos anteriores, de bibliografias recomendadas, ou ainda, da avaliação de mapeamentos.

Projeto básico

Para a fase de projeto básico, é necessária a complementação e confirmação das informações obtidas através de realização de uma campanha de investigações geotécnicas, por meio de ensaios de campo e laboratório.

Devem também ser levantados todos os fatores de condicionamentos locais que possam in-

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.

terferir na execução da obra, como por exemplo:

- dispositivos de drenagem, energia, esgoto e redes de interferências, aéreas ou enterradas;
- benfeitorias existentes que possam sofrer influência dos recalques induzidos pela escavação e pelo rebaixamento do lençol freático;
- sistemas viários e obras existentes.

Projeto executivo

Deve ser executada a complementação da caracterização geológico-geotécnicas dos maciços que devem ser cortados. Para tanto, devem ser consideradas as informações obtidas nos levantamentos das fases anteriores. Esta complementação se faz necessária para confirmar a categoria de escavação dos materiais e as características e quantidades de materiais que devem ser reaproveitados como material para execução dos aterros e o montante que deve ser transportado para as áreas de depósito de materiais excedentes. Considerando que os itens de serviço de transporte têm grande peso nos custos de terraplenagem, a caracterização dos materiais deve ser determinante na escolha do traçado.

5.7.1.2 Categoria de escavação

A classificação dos materiais dos cortes, quanto a sua categoria de escavação, é feita de acordo com a instrução de projeto IP-DE-Q00-001 – Projeto de Terraplenagem.

Esta atividade deve ser desenvolvida com subsídios dos estudos geológicos. As investigações geotécnicas devem ser posicionadas nas seções geológicas do trecho em estudo de maneira a possibilitar inferir um perfil dos limites das camadas de materiais ocorrentes, a posição do nível d'água etc. As seções longitudinais devem conter o greide do projeto geométrico. As transversais, além das plataformas viárias, as benfeitorias lindeiras e a faixa de domínio.

Para cálculo dos volumes de escavação, admite-se a utilização de porcentuais estimativos de ocorrência de cada categoria de escavação.

5.7.1.3 Estabilidade dos taludes

A análise da estabilidade de taludes deve ser expressa, numericamente, através da definição do seu fator de segurança quanto à ruptura. Tendo em vista os diversos parâmetros envolvidos e as hipóteses simplificadoras que precisam ser admitidas, a análise não conduz a um valor preciso. Entretanto, a avaliação deste valor é importante, pois permite compreender o comportamento do talude e a sensibilidade de sua condição de segurança quanto à estabilidade, face às mudanças dos parâmetros condicionantes críticos.

Ressalta-se que o projeto de taludes de corte deve ser feito com base em experiências anteriores, em obras similares situadas em zonas de condições climáticas e geológicas semelhantes. Assim, são fundamentais as vistorias de campo para observar e caracterizar o comportamento de taludes de obras existentes na região.

Um aspecto importante para estimativa do valor do fator de segurança na análise da estabi-

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.

lidade de cortes é a definição dos parâmetros geotécnicos, ou seja, coesão, ângulo de atrito, peso específico, módulos de deformabilidade e coeficiente de *Poisson*. Estes valores devem ser convenientemente escolhidos em compatibilidade com a fase do projeto e do mecanismo de ruptura previsto. Para a fase de estudos preliminares, estes parâmetros devem ser definidos com base em dados de obras existentes na área ou em bibliografias recomendadas.

Para as fases de projeto básico e executivo, com base em sondagens a percussão e ensaios de laboratório e, eventualmente, ensaios *in situ*. Recomenda-se que a seleção dos parâmetros representativos, deve ser feita com base em experiências anteriores em obras semelhantes.

Definidos os parâmetros, a estimativa do fator de segurança quanto à estabilidade da escavação, deve ser feita utilizando-se métodos de cálculo apropriados para cada fase do projeto. Na fase de estudos preliminares, estas análises são feitas empregando-se métodos simplificados de avaliação apresentados em ábacos, como por exemplo, os ábacos de Höek. Nas fases de projeto básico e em função das características da obra, as análises de estabilidade devem ser realizadas de maneira mais detalhada. No caso das escavações em solo, são comumente utilizados os métodos baseados no equilíbrio limite de superfícies circulares ou não, como por exemplo, Bishop, Fellenius, Janbu e Spencer. Para cortes em rochas, são utilizados métodos de equilíbrio limite que levam em consideração superfícies de escorregamento planares pelas de fraturas e as características de rugosidade. Na fase de projeto executivo as análises devem ser feitas utilizando parâmetro de solo de ensaios especiais e *in situ*.

É necessária a consideração das sobrecargas externas no cálculo da estabilidade. Em particular, no caso das obras provisórias, é fundamental a consideração de sobrecargas especiais de equipamentos e veículos especiais que possam ser necessários à construção.

Para construções definitivas e provisórias, os fatores de segurança mínimos aceitáveis devem ser adotados os valores descritos na norma NBR 11682/1991[29].

5.7.1.4 Rebaixamento do lençol freático e controle do fluxo d'água.

Em cortes provisórios, o projeto engloba a seleção dos sistemas de rebaixamento do lençol freático e de controle do fluxo d'água de forma a garantir que a obra se desenvolva com total segurança.

Para a escolha dos dispositivos, devem ser considerados os aspectos geológicos-geotécnicos dos materiais a serem escavados, as condições construtivas envolvidas e as interferências com viários, benfeitorias e demais redes de serviços existentes no local.

Os sistemas de rebaixamento devem ser cuidadosamente estudados de modo a evitar que ocorram recalques em construções localizadas nas redondezas, e também, para evitar o carreamento de solo juntamente com a água retirada. Nas saídas destes sistemas, devem ser previstas caixas de inspeção para a observação da qualidade da água que estará sendo removida da área em escavação antes do lançamento nos cursos d´água.

Os dispositivos de controle de fluxo d'água devem ser adequadamente dimensionados para evitar que as águas da chuva das imediações da área em escavação sejam conduzidas para o interior da área de serviço. Estes dispositivos compreendem ensecadeiras, tubulações de drenagem convenientemente locadas, poços de bombeamento etc.

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.

Para os cortes definitivos, o projeto do controle do fluxo d'água consiste em determinar qual o dispositivo adequado (drenos longitudinais localizados no pé dos taludes, drenos horizontais profundos) e seu dimensionamento.

Inicialmente é necessário caracterizar geotecnicamente o maciço, determinando o tipo de material presente (solo, rocha ou ambos) e como se dá o fluxo pelo maciço, ou seja, se é homogêneo, se existem veios de materiais mais permeáveis, se existem fraturas pelas qual a água percola, se o fluxo se dá pela interface entre materiais diferentes (transição solo-rocha).

O projeto de drenos sub-horizontais é feito através de sua disposição geométrica de modo que interceptem a maior quantidade possível de veio permeáveis as camadas mais permeáveis.

5.8 Muro de arrimo

As instruções de projeto para os muros de arrimo constam do documento IP-DE-C00/005 – Projeto de Estruturas de Muro de Arrimo.

5.9 Contenções de talude e encosta

As instruções de projeto para as contenções de taludes e encostas constam do documento IP-DE-C00/007 – Projeto de Estruturas de Contenção.

6 FORMA DE APRESENTAÇÃO

6.1 Estudos Preliminares

Todos os documentos devem ser emitidos de acordo com as diretrizes das instruções de projeto de Elaboração e Apresentação de Documentos Técnicos (IP-DE-A00/001), Codificação de Documentos Técnicos (IP-DE-A00/002) e Elaboração e Apresentação de Desenhos de Projeto em Meio Digital (IP-DE-A00/003).

6.1.1 Desenhos técnicos

As indicações das possíveis soluções geotécnicas tais como: necessidade de tratamento de fundação de aterros, contenções de encostas, localização de áreas de jazidas e tipos de materiais disponíveis, localização de áreas de depósito de materiais excedentes etc; devem ser feitas tendo como referência a base do projeto geométrico correspondente para esta etapa. Caso a visualização das informações não fique prejudicada, pode-se superpor as informações relevantes levantadas pelos estudos geológicos.

Para as obras significativas localizadas, como por exemplo, uma ponte de grande extensão, deve-se indicar se a fundação deve ser do tipo rasa ou profunda e se os aterros de encontro devem ser executados em região com ocorrência de solos moles. No caso de túnel, que tipos de materiais devem ser escavados, ou seja, rocha ou solo, transição rocha-solo, e em que proporções.

Nesta etapa dos serviços, as obras geotécnicas necessárias à implantação da rodovia, não são possíveis de serem definidas com detalhes. Entretanto, é possível estimar as dimensões de obras geotécnicas, tais como: contenções, extensões de aterros sobre solos moles, túneis etc;

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.

que, sempre quando possível, devem também ser indicadas nos desenhos.

A apresentação do trabalho nesta fase, pode ser feita aproveitando-se a base do projeto geométrico, ou seja, traçado sobre base aerofotogramétrica, preferencialmente georreferenciada, com base em coordenadas UTM ou, quando for o caso, base cartográfica do Instituto Geográfico e Cartográfico - IGC ou da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A. - EMPLASA, em escala 1:5000 ou 1:10000 ou ainda outra julgada conveniente pela fiscalização.

6.1.2 Relatórios

O relatório geotécnico deve expor os fatores geotécnicos condicionantes de cada alternativa de traçado estudada. As possíveis áreas de jazidas devem ser descritas enfatizando o tipo de material explorável, as possíveis aplicações na obra, a estimativa de volume disponível e o acesso à área.

Os seguintes itens devem ser abordados no mínimo:

- apresentação: texto descrevendo a rodovia, o sub-trecho, o número do contrato de prestação dos serviços, que se trata de estudo em nível preliminar;
- aspectos geológicos: descrever os aspectos geológicos relevantes As informações são obtidas a partir do relatório dos estudos geológicos. Inserir um mapa geológico geral destacando o trecho da rodovia estudado;
- aspectos geotécnicos: descrever os métodos utilizados para definição dos aspectos geotécnicos. Nesta fase de projeto, em geral, a definição é feita com base em referências bibliográficas, investigações geotécnicas de estudos anteriores e experiência em obras semelhantes;
- estudo de alternativas: para cada alternativa de traçado estudada, descrever os principais aspectos geotécnicos. Apresentar uma tabela comparando as quantidades de obras geotécnicas para cada alternativa de traçado;
- conclusões e comentários;
- bibliografias: todas as referências citadas no texto devem constar na lista de bibliografias.

6.2 Projeto básico

Todos os documentos devem ser emitidos de acordo com as diretrizes das instruções de projeto de Elaboração e Apresentação de Documentos Técnicos (IP-DE-A00/001), Codificação de Documentos Técnicos (IP-DE-A00/002) e Elaboração e Apresentação de Desenhos de Projeto em Meio Digital (IP-DE-A00/003).

6.2.1 Desenhos técnicos

A apresentação dos projetos geotécnicos deve ser feita de maneira que seja possível a determinação dos quantitativos de materiais e serviços e, conseqüentemente, obter o orçamento de cada obra. A escala de apresentação deve permitir a plena visualização das obras, em planta e perfil.

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 implantação da obra deve ser definida, permitindo que se visualize a interferência com outras obras a serem construídas ou benfeitorias existentes. Ou seja, todos os fatores que incorram em custos, devem ser orçamentados.

Os desenhos de projeto de cortes e aterros devem apresentar todos os detalhes relativos ao arranjo e implantação, ou seja, inclinações, alturas, proteções, espessuras de remoção, elementos de reforço ou para aceleração de recalques e suas distribuições no maciço. Devem ser apresentadas ainda as sondagens utilizadas como referência, com sua locação em planta e em perfil ou seções. Devem constar todas as recomendações e restrições executivas. Nos cortes, devem-se indicar as categorias d escavação dos materiais e sua quantidade em distribuição porcentual.

No caso de aterros sobre solos moles, quando a solução especificada for substituição da camada, indicar a extensão da área em planta bem como a espessura e largura, em cada seção das cavas. Para o material de substituição, indicar o tipo, suas especificações técnicas – granulometria, índice de durabilidade da brita do rachão e requisitos executivos como, por exemplo, energia de compactação de aterros.

No caso de utilização de geossintéticos para reforço de aterros ou envelopamento de solos, devem-se indicar todas as especificações técnicas, tais como: tipo de material, classes de resistência à tração, ao puncionamento, espessuras e gramaturas. As exigências quanto ao método de instalação, visando o comportamento previsto no projeto, também devem ser indicadas.

Os desenhos de projeto de fundações devem constar dos projetos estruturais. Cabe ao projeto geotécnico elaborar os desenhos de métodos construtivos eventualmente necessários, tais como: escavações para blocos ou sapatas, escoradas ou não, a ser implantadas juntos às rodovias ou interferências existentes, expondo-as a algum tipo de risco. As investigações geotécnicas que caracterizam o maciço devem ser sempre indicadas.

Para representação em planta de soluções geotécnicas para terraplenagem, por exemplo troca de solo, tratamento de solos moles, retaludamento, contenções utilizar a escala mínima de 1:1.000. Seções-tipo devem ser apresentadas na escala mínima de 1:200 e detalhes, na 1:20.

6.2.2 Relatório Técnico e Memorial de Cálculo

Na fase de projeto básico, já devem ser apresentados relatórios específicos para cada tipo de estudo.

Os relatórios devem justificar as soluções geotécnicas adotadas, tanto tecnicamente como economicamente. Deve-se comparar alternativas, explicando as vantagens e desvantagens de cada uma, os custos relativos, as exigências e requisitos construtivos.

Nos memoriais de cálculo, destacando a apresentação e descrição do tipo de obra, apresentar as hipóteses, verificações e pré-dimensionamentos realizados. As análises devem ser em número reduzido de seções e apresentadas sucintamente, porém suficientes para avaliar o projeto estrutural e geotécnico.

Nos relatórios técnicos e memoriais de cálculo, os tópicos mínimos a serem apresentados

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.

foram descritos nos itens 5.3 e 5.5 para o estudo de fundações e aterro sobre solos moles, respectivamente.

6.3 Projeto executivo

Nesta etapa, os estudos geotécnicos devem ser realizados em nível de complementação e detalhamento das etapas anteriores.

O grau de detalhamento desta etapa deve permitir a determinação dos quantitativos e orçamento preciso dos diversos serviços, para planejamento da obra, aquisição dos insumos, bem como apresentar os detalhes e especificações que se julguem relevantes para execução das obras.

Devem também ser especificados os controles necessários para supervisão e controle técnico dos serviços, inclusive plano de instrumentação para monitoração de deslocamentos, por exemplo.

Todos os documentos devem ser emitidos de acordo com as diretrizes das instruções de projeto de Elaboração e Apresentação de Documentos Técnicos (IP-DE-A00/001), Codificação de Documentos Técnicos (IP-DE-A00/002) e Elaboração e Apresentação de Desenhos de Projeto em Meio Digital (IP-DE-A00/003).

6.3.1 Desenhos técnicos

As escalas dos desenhos devem estar compatíveis com a dimensão e a complexidade do que deve ser apresentado. As informações, recomendações e restrições construtivas devem ser apresentadas nas notas e as quantidades, em uma tabela resumo, onde devem constar os valores totais de cada item utilizado. Esta tabela deve permitir a aquisição dos insumos para execução dos serviços.

Os desenhos de projeto de cortes e aterros devem apresentar todos os detalhes relativos ao arranjo e implantação, ou seja, inclinações, alturas, proteções, espessuras de remoção, elementos de reforço ou para acelerar os recalques e suas distribuições no maciço. Devem ser apresentadas ainda as sondagens utilizadas como referência com sua locação em planta e em perfil ou seções. Devem constar nas notas todas as recomendações e restrições executivas. Nos cortes, devem-se indicar as categorias dos materiais a serem escavados e sua quantidade em distribuição porcentual, de forma a permitir o planejamento da obra e definir os tipos de equipamentos mais recomendáveis. Quando estiver previsto o monitoramento do maciço por instrumentação, devem ser apresentadas seções transversais, onde deve constar o posicionamento de cada equipamento, ou seja, as cotas de apoio e as distâncias em relação ao eixo do viário. Neste caso, deve constar também a freqüência de leitura dos instrumentos e o critério de liberação.

No caso de aterros sobre solos moles, quando a solução especificada for substituição da camada, indicar a extensão da área em planta bem como as espessura e largura, em cada seção, das cavas. Para o material de substituição, indicar o tipo, suas especificações técnicas – granulometria, índice de durabilidade da brita do rachão e requisitos executivos como, por exemplo, energia de compactação.

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.

Os projetos de fundação devem apresentar não apenas sua disposição geométrica, mas também os elementos geotécnicos fundamentais ao acompanhamento executivo e controle de liberação da fundação, para garantir a sua qualidade. Desta forma, deve constar o tipo de solução adotada, as cotas previstas para o assentamento da base e os comprimentos estimados, as tensões admissíveis adotadas em projeto, as sondagens de referência empregadas no detalhamento do projeto e outras investigações eventualmente disponíveis, os esforços solicitantes previstos e as recomendações e restrições executivas. Quando necessário, devem ser apresentados desenhos com a seqüência construtiva para orientar a execução em obra.

Para representação em planta de soluções geotécnicas para terraplenagem, por exemplo troca de solo, tratamento de solos moles, retaludamento, contenções utilizar a escala mínima de 1:500. Seções-tipo devem ser apresentadas na escala mínima de 1:100 e detalhes, na 1:20.

6.3.2 Relatório Técnico e Memorial de Cálculo

Os memoriais de cálculo devem justificar o dimensionamento das soluções geotécnicas adotadas. Devem ser destacadas a apresentação e descrição do tipo de obra, apresentar as hipóteses, verificações e dimensionamentos realizados. Para cada tipo de problema, devem-se utilizar métodos de cálculos consagrados. As análises devem abranger todas as seções-tipo de maneira a se cobrir todas as situações que influenciam o dimensionamento.

O memorial de cálculo de cortes e aterros deve conter as hipóteses básicas adotadas, as considerações sobre o subsolo com a descrição das diversas camadas, os parâmetros utilizados para cada tipo de solo, com a justificativa de como foram obtidos, a descrição dos métodos de cálculos empregados nas análises de estabilidade, deformabilidade e demais verificações necessárias, os cálculos e processamentos realizados, os fatores de segurança admitidos e as medidas a serem empregadas para viabilizar a execução dos cortes e aterros.

As soluções adotadas devem ser justificadas e devidamente detalhadas, de forma a possibilitar a execução do mesmo na obra. Assim devem ser apresentadas todas as dimensões e características geométricas dos diversos elementos a serem incorporados ao maciço, para acelerar os recalques ou reforçá-lo e, também, das espessuras de remoções ou sobrecargas a serem utilizadas. Sempre que se julgar necessário, deve ser apresentada descrição detalhada dos métodos construtivos a serem empregados, e ainda, as recomendações e restrições executivas a serem observadas. O memorial deve prever também os dispositivos de drenagem necessários para o correto escoamento do fluxo d'água.

O memorial de cálculo de fundações deve conter as hipóteses básicas admitidas, os esforços solicitantes obtidos do cálculo estrutural, as considerações sobre o subsolo com a descrição das diversas camadas. Deve ser apresentada uma descrição do método de cálculo empregado no dimensionamento e também os cálculos e processamentos executados.

No final deve ser apresentada a bibliografia básica utilizada, com a listagem dos livros, teses, artigos, normas e especificações consultados.

Todas as informações julgadas necessárias e que não tiverem especificação correspondente no DER/SP, devem ser apresentadas com a elaboração de uma especificação técnica complementar. Incluem-se aqui, por exemplo, definições de materiais e equipamentos, seqüências construtivas e serviços diversos.

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.

Nos relatórios técnicos e memoriais de cálculo, os tópicos mínimos a serem apresentados foram descritos nos itens 5.3 e 5.5, para o estudo de fundações e aterro sobre solos moles, respectivamente.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122**. Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro, 1996.

2 Diversos autores - **Fundações – Teoria e Prática.** –PINI, São Paulo**,** 1996.

3 **Manual de Especificações de Produtos e Procedimentos** – ABEF, Associação Brasileira de Empresas de Engenharia de Fundações e Geotecnia – 2a. Edição, Novembro de 1999.

4 POULOS, H, G e DAVIS, E. H. ***Pile Foundation Analysis and Design.*** John Wiley and Sons, Nova York, 1980.

5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.**. NBR 8681.** Ações e Segurança nas Estruturas. Rio de Janeiro, 2003.

6 TERZAGHI, K e Peck, R. B. ***Soil Mechanics in Engineering Practice*** – John Wiley and Sons, Nova York, 1948.

7 VARGAS, M. **Fundações, Manual do Engenheiro** – Editora Globo, 4o. Volume. Tomo, pp 184-320, 1955

8 MEYERHOFF, G. G. ***Shallow Foundations –*** *Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering, American Society of Civil Engineering*, vol. 91, N^{o}. SM2, pp 21-31, 1965.

9 TEIXEIRA A. H. **Correlação entre a Capacidade de Carga de Argilas e a Resistência à Penetração** – Anais do III Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos, Belo Horizonte, vol. 1 – pp III-55 a III-69, 1966.

10 TERZAGHI, K. – **Theoretical Soil Mechanics** – Jonh Wiley & Sons, Ltd, 1943.

11 -SKEMPTON, A. W. – ***The Bearing Capacity of Clays*** – *Proceedings Buiding Research Congress* – pp 180-189, 1951.

12 VESIC, A. S. – ***Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations*** - *Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering, American Society of Civil Engineering*, vol. 99, N^{o}. SM5, 1973.

13 MEYERHOF, G. G. – ***Some Recent Research on the Bearing Capacity of Foundations*** – *Canadian Geotechnical Journa*l, vol. 1, no. 1, pp 16-26, 1963.

14 HANSEN, J. B. – ***A revised and Extended Formula for Bearing Capacity*** – *Geoteknisk Institut, Bulletin* no. 28, Copenhagen, 1970.

15 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 6489**. Prova de Carga Direta Sobre Terreno de Fundação. Rio de Janeiro, 1984.

16 POULOS, H. G. e DAVIS, E. H. – ***Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics*** – John Wiley and Sons, Sidney, 1973.

17 MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 18 - Condições e Meio Ambiente**

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.

de Trabalho na Indústria da Construção. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_18.asp>. Acesso em 07.dez. 2006.

18 MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR-15 – Atividade e Operações Insalubres**. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/ legislacao/ normas_ regulamentadoras/nr_15.pdf>. Acesso em 07.dez. 2006.

19 DECÓURT, L – ***Special Problems on Foundations***, *General Report – Proceedings of the IX Panamerican Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol I, pp 1953-2001, Viña del Mar, 1991.

20 ALONSO, U. R. **Exercício de Fundações** – Editora Edgard Blücher, São Paulo, 1983.

21 AOKI, N. e VELLOSO, D. A. – ***An Approximate Method to Estimate the Bearing Capacity of Piles*** – *Proceedings of the V Panamerican Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Buenos Aires, 1975.

22 DECOURT, L. e QUARESMA, A. R. – **Capacidade de Carga de Estacas a Partir de Valores de SPT** – Anais do VI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, pp. 45 – 53, Rio de Janeiro, 1978.

23 CABRAL, D. A. – **O uso da Estaca-raiz com Fundação de Obras Normais -** Anais do VIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Vol. 6, pp. 71 - 82 – 53, Porto Alegre, 1986.

24 BJERRUM, L – ***Problems of Soil Mechanics and Construction on Soft Clays and Structurally Unstable Soils*** – *Proceedings of the 8TH International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol 3 pp 109 - 159, 1973.

25 SCHNAID, F. **Ensaios de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações** - Oficina de Textos, 247 pp, São Paulo, 2000.

26 ALMEIDA, M. S. S – **Aterros Sobre Solos Moles –** Universidade do Rio de Janeiro, Editora UFRJ – Rio de Janeiro, 1996.

27 MASSAD, F. - **As Argilas Quaternárias da Baixada Santista**. Tese de Livre Docencia – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

28 PINTO, C. S. – **Capacidade de Carga de Argilas com Coesão Linearmente Crescente com a Profundidade**. Jornal de Solos, Vol 3, No.1, pp 21 – 44, São Paulo, março de 1966.

29 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 11682**. Estabilidade de Taludes. Rio de Janeiro, 1991.

30 **Manual Brasileiro de Geossintéticos** – ABNT Associação Brasileira das Indústrias de Não-tecidos e Tecidos Técnicos, Editora Edgard Blücher, São Paulo, 2004.

31 COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. NC 03 – Normas Técnicas Complementares, São Paulo - 1980.

32 **NAVFAC, DM-7.2** – *Department of Navy - Foundations and earth Structures – Design Manual*, 1982.

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.