

RESUMO

Este documento, que é uma norma técnica, fixa o procedimento a ser adotado em mapeamento geológico-geotécnico para obras viárias. Descreve as fases de trabalho e as metodologias empregadas para obtenção das cartas de cada fase.

ABSTRACT

This document presents the procedure to be adopted for geological and geotechnic mapping for road design and construction. It presents the requirements for each operation phase and the methodology for map obtention on each phase.

SUMÁRIO

- 0 Apresentação
- 1 Objetivo
- 2 Referências
- 3 Condições gerais
- 4 Condições específicas

Anexo normativo

0 APRESENTAÇÃO

Esta Norma decorreu da necessidade de se adaptar, quanto à forma, a DNER-PRO 014/79 à DNER-PRO 101/93, fazendo-se atualizações e/ou inserções no seu conteúdo técnico.

Macrodescriptores MT: norma, geologia, mapa, topografia (ciência)

Microdescriptores DNER: mapa, mapa rodoviário, geologia, geotécnica

Palavras-chave IRRD/IPR: mapa (4074), geologia (4053), alinhamento, traçado da estrada (2894)

Descriptores SINORTEC: normas, geologia, levantamentos

Aprovada pelo Conselho Administrativo em 20/12/95

Resolução nº 167/95, Sessão nº CA/44/95

Processo nº 51100013396/93-9

Autor: DNER/DrDTc(IPR)

Revisão e adaptação da DNER-PRO 014/79
à DNER-PRO 101/93.

1 OBJETIVO

Esta Norma fixa as condições mínimas exigíveis na execução de um levantamento geológico-geotécnico de campo, nas fases de planejamento, projeto e pós-construção (ampliação, manutenção ou conservação) de eixos viários, de modo a uniformizar sua sistemática e homogenizar a maneira de apresentação dos dados levantados.

2 REFERÊNCIAS

2.1 Referências bibliográficas

No preparo desta Norma foram consultados os seguintes documentos:

- a) DNER-PRO 014/79, designada Mapeamento geológico - geotécnico para obras viárias;
- b) Santos, A.R. dos, Salomão, F.X.T. - A geologia nas diversas etapas de uma obra viária - In: Anais, I Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Rio de Janeiro; publ. ABGE, v.2, p.271-280, 1976;
- c) Manual de projeto de engenharia rodoviária - DNER/IPR - quatro volumes, 1974;
- d) Zuquette, Lázaro Valentim et Gandolfi, Nilson - Mapeamento geotécnico - uma proposta metodológica - Geociências, S.Paulo, 9:55-66 - 1990;
- e) IPT - Carta geotécnica dos morros de Santos e S. Vicente - S. Paulo, 1980;
- f) S. Pinto, Y. Bittencourt, Silva, Carmem M. F. et Collet, Haroldo B - XVIIIth World Road Congress - A experiência brasileira em estudos geológicos/geotécnicos em rodovias - Bruxelas - 1987;
- g) Santos, Maria do Carmo S.Rodrigues dos-Manual de fundamentos cartográficos e diretrizes gerais para elaboração de mapas geológicos, geomorfológicos e geotécnicos - IPT, S. Paulo - 1990;
- h) DNER - Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico-curso GP7 - Geotecnia e pavimentação rodoviária - Vol.1 - 1994;
- i) Costa Nunes A. J. da - Estabilização de encosta em rodovia - Publicação IPR nº 338 - 1969.

3 CONDIÇÕES GERAIS

3.1 Conceituação das fases de trabalho

Nesta Norma, o papel da informação de natureza geológico-geotécnica é definido, em termos de mapeamento de campo, na seqüência de fases abaixo relacionadas e conceituadas.

Na elaboração do Plano Diretor de determinado eixo viário entende-se como tal o conjunto de premissas e planos que hierarquizam, a partir da análise da rede viária de determinada região, as necessidades de novas ligações, fixando, desta maneira, os investimentos prioritários a serem aplicados em determinado período.

A fase de definição de alternativas de traçado, ou fase de viabilidade, compreende a definição das principais diretrizes de traçado bem como a eleição das alternativas viárias, a partir do confronto entre as condicionantes do plano diretor, e as características do meio físico.

Na fase de seleção o traçado final, ou fase de anteprojeto, as diversas alternativas viáveis do traçado, definidas na fase anterior, são analisadas, graças a análises comparativas de custos e soluções técnicas, atingindo-se não somente a eleição do traçado final, mas também a escolha de determinada filosofia de projeto.

Na elaboração do projeto executivo, ou projeto final, a obra é definida detalhadamente em seus mais variados aspectos, atingindo-se o dimensionamento final e procedendo-se à definição da seqüência de serviços, especificações correspondentes e estabelecimento detalhado de responsabilidades técnico-administrativas.

Na fase construtiva, ou fase de implantação da obra, entende-se como tal o conjunto de atividades através das quais se implanta a obra no terreno, de acordo com o estipulado no projeto final e durante as quais se devem processar as adaptações necessárias e eventuais reformulações localizadas.

A fase pós-construção compreende, principalmente, estudos de duplicações, ou intervenções de caráter excepcional em área crítica de corte ou aterro que necessita de estudo e projeto específico.

4 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

4.1 Fase do Plano Diretor

Devido ao caráter preliminar, da fase de estudo, a informação de natureza geológico-geotécnica consistirá num conjunto esquemático de dados capaz de subsidiar o poder público na aprovação ou não do empreendimento, e de fornecer ao projetista os principais elementos sobre as grandes opções geológico-geotécnicas que ocorrem na região em estudo.

4.1.1 Metodologia do trabalho

O trabalho se inicia pelo levantamento sistemático da bibliografia existente sobre a região em estudo, notadamente voltado para os seguintes aspectos: hidrografia (drenagem), fisiografia (topografia, geomorfologia, morfologia), geologia de superfície, pedologia, fitografia, condicionamento climático e feições ligadas a obras civis. Para este fim, lança-se mão de publicações, fotografias aéreas, fotomosaicos, imagens de satélites, mapas e, se possível, sobrevôos aéreos ou rápidas incursões no campo.

Nota: A rigor, a qualidade (precisão) da contribuição geológica, nesta fase de elaboração do Plano Diretor, depende, basicamente, da qualidade, quantidade e detalhamento da documentação existente sobre a região.

4.1.2 Elaboração da carta

A partir do levantamento sistemático referido no item 4.1.1, procede-se à montagem, em planta, em escala compatível com a fase do trabalho, a complexidade geológico-geotécnica e a área de interesse para o Plano Diretor (1:60.000), de um documento-base, do qual deverão constar os aspectos considerados de interesse para a definição do traçado. Tais aspectos são, principalmente de natureza física (topográfica, fisiográfica, geomorfológica), ou de suscetibilidade, face a um conhecimento prévio dos materiais (erodibilidade de unidade geológica, tendências e fenômenos de instabilização, comportamento típico como fundação) e geológico-estratigráficos e hidrológicos. Deve haver ainda a apresentação de um mapa geológico e estrutural, com respectiva legenda. É de todo conveniente (quando possível) a elaboração da seção ou seções geológicas esquemáticas.

A faixa abrangida pelo documento deve ter largura variável, em função das particularidades regionais e das características do Plano Diretor, mas, em princípio, sua largura deve ser da ordem de 1/4 a 1/10 do comprimento total do trecho considerado.

4.2 Fase de viabilidade

O estudo geológico tem por objetivo apresentar as principais características das faixas que abrangem as possíveis soluções do traçado, de modo a possibilitar uma apreciação comparativa entre elas.

A malha rodoviária existente ou a ser implantada secciona ou seccionará, quanto ao meio ambiente, os seguintes tipos de regiões fisiográficas:

- Regiões montanhosas, com declividade alta, maior que 30°, onde ocorre o embasamento cristalino granito gnaisse, como por exemplo a Serra do Mar e Serra da Mantiqueira; ou de rochas metamórficas; como por exemplo a Serra da Canastra; ou de rochas sedimentares; como por exemplo a faixa entre os rios Paraguai e Araguaia.
- Regiões litorâneas, compreendendo a linha da costa atlântica brasileira, com mais de 8000 km com planícies costeiras e sem planícies costeiras, mas com pequenas elevações ou pontões de costa.
- Regiões planas, com declividades predominantes menores que 10°, com alta ou baixa diversidade litológica, respectivamente, como por exemplo: Depressão Periférica (SP), Planalto Ocidental (SP), Baixada Cuiabana (MT), Chapada dos Parecis (MT).
- Vales circundados por montanhas, como por exemplo o Vale do Rio Paraíba do Sul.
- Planícies interiores, com deposição de sedimentos, como por exemplo: a Planície Amazônica.
- Planície e planaltos, com litologias diversas, como por exemplo o Nordeste Brasileiro e o Planalto Central Brasileiro.
- Áreas com relevo irregular, declividade variando entre 12° e 30°, como por exemplo algumas regiões nos estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso.

Essa diversidade de modelado pode ser sumarizada nos seguintes tipos de terrenos listados abaixo, considerando a terraplenagem a ser executada, isto é, o diagrama de massas (compensação de corte/aterro), bem como a necessidade de material de empréstimo:

- Terreno Plano - com declividade menor do 10°, onde há necessidade de ser pesquisado material de empréstimo;
- Terreno Suavemente Ondulado - com declividade maior que 10° e menor que 20°, quando deve haver equilíbrio entre corte/aterro;
- Terreno Ondulado - com declividade maior que 20° e menor que 30°, quando deve haver equilíbrio entre corte/aterro;
- Terreno Fortemente Ondulado - com declividade maior que 30°, quando deve ser previsto bota-fora.

O estudo geológico-geotécnico nessa fase, deve focar o meio ambiente sob uma ótica conservacionista, principalmente no que diz respeito a terraplanagem (cortes e aterros) e materiais de construção, tanto solo quanto rocha, em jazidas, empréstimos ou pedreiras, uma vez que o conceito de conservação aplica-se à utilização racional de um recurso qualquer, de modo a se obter um rendimento considerado bom, garantindo-se, entretanto, sua renovação ou sua auto-sustentação.

4.2.1 Metodologia do trabalho

O estudo geológico-geotécnico, de caráter regional, destina-se a caracterizar, de maneira genérica, todas as formações geológicas presentes, através de sua fenomenologia típica. Além da fotointerpretação sistemática do traçado, ao longo de faixas-alternativas, utilizando-se as fotografias aéreas disponíveis, os dados obtidos devem ser controlados e complementados por elementos obtidos em inspeção de campo. Tal inspeção deve constar, basicamente, de levantamentos geológicos-geotécnicos (estratigráfico e estrutural) de superfície, ao longo das estradas existentes ou de picadas abertas no interior das faixas em estudo.

Qualquer programa que venha definir trabalhos geológicos-geotécnicos de campo (superfície e

subsuperfície), deve ser calcado na idéia de províncias geológicas semelhantes, onde numa primeira aproximação, as informações e dados sobre os terrenos são grupados de forma organizada e consciente. Assim, os dados sobre geologia, relevo, propriedades dos solos e rochas e as condições de hidrogeologia (águas superficiais e subterrâneas), do trecho ou segmento em estudo, devem ser especialmente relacionados com o substrato através de mapas, imagens orbitais ou fotografias aéreas.

A identificação de áreas cujos dados sejam uniformes (unidades homogêneas), deve ser buscada para orientar os trabalhos posteriores de programação dos estudos geotécnicos, tanto no aspecto dos tipos de recursos quanto nas quantidades de investigações. Inicialmente, o sítio estudado é subdividido em padrões formados por áreas de morfologia similares. Num segundo estágio a esta classificação são agregados dados e parâmetros sobre as propriedades dos solos relevantes para a implantação de uma rodovia. A conjugação destas duas etapas é que faz o reconhecimento de um terreno/região, capaz de permitir programação de estudos geotécnicos mais racional e econômico.

Notas: 1) Quando não tiver lugar a fase do Plano Diretor, os estudos geológicos-geotécnicos devem iniciar pela pesquisa da documentação existente sobre a região interessada, seguindo-se a foteointerpretação sistemática do traçado, ao longo das faixas alternativas;

2) Podem ser empregados meios expeditos de prospecção, quais sejam, geofísica preliminar com o uso de eletrorresistividade e sísmica de refração sem o emprego de explosivos (1 canal), trados, trincheiras e poços.

O documento resultante desta sistemática deve mostrar, de maneira clara e prática, as vantagens e desvantagens apresentadas pelos diferentes terrenos encontrados, fornecendo os dados básicos para definição e fixação das linhas básicas de traçado, ou faixas alternativas de traçado.

4.2.2 Elaboração da carta e relatório

Os dados resultantes do estudo acima exposto devem constar da carta geológico-geotécnica. A escolha do traçado é elaborada progressivamente. Ela deve levar em conta, além das características dos terrenos, todas as informações que possam ser traduzidas em elementos condicionantes dessa fase, sendo portanto avaliados desde o início dos estudos.

O mapeamento geológico-geotécnico regional deve ser levado aos corredores de traçado em escalas compatíveis (1:10000-1:60000) com as dificuldades encontradas (1:5000 em zonas difíceis), segmentando os corredores em unidades de comportamento geológico-geotécnico comparáveis entre si (homogêneas). A largura de cada faixa alternativa de traçado, deve ser de 10 ou 6 km, para os casos, respectivamente, de $E = 1:60\ 000$ e $E = 1:10\ 000$.

A rede hidrográfica, os limites das pequenas e médias bacias, unidades de relevo, vegetação, limites litológicos, presença de solos moles e seus limites, áreas tectonicamente afetadas, áreas de depósitos instáveis (tálus, colúvio), áreas prováveis de jazidas de materiais de construção (pedreiras, saibreiras, cascalheiras, areias, solos para reforço) devem constar necessariamente, da carta geológico-geotécnica e da respectiva legenda, procurando-se, sempre que possível, emprestar bases quantitativas a estas informações.

Sempre que possível, a fenomenologia típica de determinadas unidades geológicas, obtida graças a experiências adquiridas previamente em condições análogas, deve ser registrada (por exemplo, quanto a escorregamentos, erodibilidade, escarificabilidade, comportamento em fundação, cortes, túneis e aterros, materiais de empréstimo), de modo a permitir o estabelecimento de unidades geotécnicas que também devem constar da carta.

Todas as informações coletadas, assim como a própria carta geológico-geotécnica e as seções geológicas, devem constituir parte integrante de um relatório, sob forma de texto, onde se exponham, de maneira prática e objetiva, as características geológico-geotécnicas das diversas alternativas de traçado.

4.3 Fase de anteprojeto

O estudo geológico-geotécnico visa fornecer o subsídio necessário ao acerto final nos traçados das diversas alternativas, disso resultando a indicação dos tipos de obras necessárias, e, conseqüentemente, uma definição suficientemente realista de custo das diversas alternativas, de modo a permitir análise comparativa e seleção do traçado final. Nesta fase procura-se construir modelos de aplicação local, válidos para determinados trechos do traçado.

4.3.1 Metodologia de trabalho

De posse das idéias básicas de traçado, selecionadas na fase anterior do trabalho e de posse da indicação de greide e de tipos de obras propostas em cada trecho, cabe à equipe de geologia otimizar estas condições no campo, através de estudos geológicos-geotécnicos adequados. Desses estudos podem resultar sensíveis deslocamentos de traçado, dentro da faixa prefixada, mudanças de greide ou, ainda, sugestões para mudanças nos tipos de obras indicadas.

A extensão lateral da faixa em estudo, à semelhança da fase anterior, continua dependendo das condições topográficas, complexidade geológica, problemas de estabilidade em encostas naturais, mas, como a ordem de grandeza varia de acordo com as escalas das fotos utilizadas, isto é, um máximo de 2,0 km e um mínimo de 0,5 km.

Qualquer programa que venha a definir trabalhos geológicos-geotécnicos de campo (superfície e subsuperfície) deve ser baseado na realidade da enorme complexidade geológica do país, que leva a programações calcadas no conceito de províncias geológicas.

Trechos singulares, onde esteja caracterizada a existência de problemas e outros pontos julgados de interesse, devem ser objeto de estudos localizados, mediante o emprego de interpretação fotogeológica, inspeção geológica de campo e método de investigação direto (sondagens mecânicas) e indireto (sondagens geofísicas). A intensidade (densidade) destas investigações depende do maior ou menor grau de complexidade geológica de cada local.

A interpretação fotogeológica nesta fase está vinculada à capacidade de resolução das fotografias aéreas cujas escalas, E, deverão variar de:

$$1:25\ 000 \leq E \leq 1:10\ 000 \text{ ou } 1:10\ 000 \leq E \leq 1:5\ 000$$

Os trabalhos de fotointerpretação geológica devem ser apoiados por levantamentos geológicos-geotécnicos de campo, executados, sempre que possível, com o uso de alidade-prancheta, teodolito, nível, clisímetro, trena, etc.

No caso em que as informações da fase de reconhecimento sejam inadequadas ao propósito de identificar os principais elementos do terreno que tenham relação importante com a fase de construção, dever-se-á programar vôos para fotografias multispectrais de áreas específicas, postergando-se a escolha de um alinhamento definitivo.

A inspeção geológico-geotécnica tem diversas funções, entre as quais a de dirimir dúvidas sobre aspectos litológicos, estratigráficos, tectônicos, possibilitar a coleta de amostras superficiais e de profundidade, para fins de classificação e caracterização por análises laboratoriais e orientar a realização de investigação de subsuperfície em trechos considerados críticos ou representativos, determinando o método de prospecção a ser empregado em cada caso.

As prospecções de subsuperfície, realizadas com o emprego de sondagens mecânicas e geofísicas (sísmicas de refração e/ou eletrorresistividade) objetivam melhor conhecimento do terreno em áreas de cortes, túneis, aterros, obras-de-arte, mas devem, nesta fase, ser realizadas de maneira restrita. O bom senso e a experiência dos técnicos devem definir a intensidade de uso desses métodos de prospecção. Como consequência de tais estudos, será possível, sempre que for o caso, subdividir as unidades geotécnicas anteriormente reconhecidas.

Uma vez acertado o traçado, definidos os tipos de obras e conhecidas, em caráter preliminar, as características geológicas-estruturais das rochas, os tipos de solos e suas espessuras, é mister proceder ao cálculo de volumes e custos. A geologia auxiliará nas seguintes definições:

- nos cortes: os taludes de projetos, a estabilização e as categorias de escavação;
- nos aterros: os taludes de projeto, a estabilização e eventuais tratamentos de fundação;
- nos túneis: o tipo de material a ser escavado e a necessidade ou não de escoramento (uso de cambotas metálicas) e tipos de revestimentos;
- com relação a materiais de empréstimo, os volumes necessários à complementação da compensação de cortes, túneis, aterro, bem como as distâncias médias e transportes das jazidas ou fontes de areia, brita para concreto, lastro, pavimento e solos especiais.

Finalmente, a par de todo o tipo de investigação efetuada, é preciso dedicar-se bastante atenção à análise de experiências prévias adquiridas em outras obras próximas, em materiais semelhantes ou em meio físico semelhante, o que certamente se constitui em valioso subsídio para o projeto.

É sempre necessário explicar o que está sendo inferido ou extrapolado e o nível de confiança das inferências e extrapolações feitas.

4.3.2 Elaboração da carta e relatório

Os dados obtidos devem ser lançados em plantas, em escala da ordem de 1:2 000. Perfis longitudinais contendo os dados de natureza geológico-geotécnica devem acompanhar as plantas, na mesma escala horizontal e escala vertical da ordem de 1:200, implicando em sobrelevação acentuada. Associado ao perfil, é conveniente representar, sob a forma de diagrama de barras, as diversas feições e propriedades geológicas-geotécnicas prevalentes, bem como a identificação e o domínio das diversas unidades geotécnicas presentes. Devem constar, também, dessas plantas, seções transversais em escalas horizontal e vertical da ordem de 1:200, para as obras mais importantes, sejam cortes, aterros ou túneis. Outras escalas poderão ser adotadas para casos especiais localizados (ex: levantamento de um escorregamento, estudos de emboques) sem prejuízo na clareza de detalhes relativos à interpretação geológica.

Os dados de caráter geológico constarão de:

- a) delimitação entre os diferentes tipos de solos e rochas ocorrentes (contatos) e as respectivas identificações no campo e em laboratório de solos e rochas mediante emprego de métodos expeditos de campo e ensaios laboratoriais com a utilização de microscópio-estereoscópio, peneiramento, sedimentação; no caso de rocha, de microscópio polarizante para a devida identificação e caracterização petrográfica em lâminas delgadas e a execução de alguns ensaios tecnológicos (desgastes, abrasão, reatividade, adesividade, etc.);
- b) aspectos estruturais significativos (mergulho, xistosidade, direções, dobramentos, falhas, intensidade do diaclasamento e trincas, descontinuidades, sistemas de mergulho dos planos de disjunção);
- c) aspectos hidrogeológicos (comportamento das águas de superfície e subsuperfície, avaliações de permeabilidade dos solos, observações de surgências naturais, cisternas domésticas, cortes e túneis porventura existentes);

- d) localização de áreas sujeitas a quedas de blocos, a escorregamentos lentos e rápidos, zonas de talús, sinais de instabilidade;
- e) localização de áreas pantanosas e várzeas contendo solo argiloso mole;
- f) localização de áreas contendo prováveis materiais de construções;
- g) dados de projeto e pontos de referência;
- h) quadro de convenções gráficas e simbologia.

Os documentos resultantes devem ser acompanhados por relatório, sob a forma de texto e tabelas auto-explicativas, conforme exemplo ilustrativo, constante das Tabelas 1, 2, 3 e 4, em anexo, onde os principais aspectos geológicos-geotécnicos detectados são descritos de maneira prática e objetiva.

4.4 Fase de projeto executivo

Uma vez escolhido o anteprojeto mais adequado, e uma vez aprovada a execução da obra pelo poder público, passa-se à fase de detalhamento. O objetivo dos trabalhos de natureza geológica e geotécnica é o de fornecer os dados para a definição e dimensionamento final das obras em questão.

4.4.1 Metodologia de trabalho

Uma vez apreciada a natureza do relatório, resultante da etapa anterior de trabalho, selecionam-se os trechos do traçado sujeitos a ulteriores estudos, face a problemas geológicos e geotécnicos bem determinados.

De maneira geral, o grau de detalhamento das informações e a própria quantidade de informações devem ser, nesta fase, máximos.

Deve proceder-se a levantamentos geológicos particularmente detalhados em áreas limitadas, selecionadas por determinadas disposições construtivas (barragens, pontes, túneis, viadutos, bueiros, aterros) ou por elementos geológicos particularmente complexos (escorregamentos, subsidências, corpos de talús, cavidades subterrâneas, zonas de circulação de água, solos moles ou colapsíveis, zonas extremamente fraturadas).

Quanto aos métodos empregados, o detalhamento geológico-geotécnico conta com os meios já expostos na fase anterior de trabalho, diferindo, apenas, na intensidade de aplicação dos métodos, aqui máxima, de modo a aperfeiçoar a caracterização e distribuição espacial das unidades geotécnicas identificadas, e até mesmo subdividi-las, no caso necessário.

A geologia contribui para a definição dos seguintes elementos:

- a) nos cortes:
 - projeto geométrico final;
 - escarificabilidade e tipo de equipamento;
 - sistemas e planos de desmonte por explosivos;
 - dimensionamento de obras de contenção;
 - projeto de drenagem.

b) nos aterros:

- projeto geométrico final;
- serviços de tratamento da fundação;
- origem e distribuição dos materiais de empréstimo;
- sistema de proteção superficial;

c) nos túneis:

- projeto geométrico final;
- sistema de avanço;
- projetos especiais para emboques;
- sistemas e planos de desmonte por explosivos;
- definição de zonas de escoramento e tipo;
- projeto de revestimento e tratamento do maciço;

d) nas obras-de-arte:

- projetos específicos de fundação e tratamento;

e) para pavimento:

- localização, cubagem e caracterização das áreas;
- caracterização do subleito e tratamento;
- amostragem para ensaios tecnológicos em rochas;

f) para empréstimos:

- cubagem, caracterização e orientação de aproveitamento;

g) em encostas naturais e artificiais:

- medidas de estabilização e controle;
- instrumentação superficial e profunda.

4.4.2 Elaboração da carta e relatório

Em termos de mapeamento geológico, as escalas e os recursos gráficos de apresentação (plantas, seções longitudinais e transversais) devem obedecer às mesmas indicações utilizadas no anteprojeto. O que muda é o grau de detalhamento das informações e a própria quantidade de informações.

Para cada local de projeto portador de problemas específicos de caráter geológico-geotécnico, devem constar memoriais descritivos, onde se realcem suas particularidades, cuidados especiais a serem considerados e recomendações, bem como se estabeleçam as propriedades médias e seus níveis de confiabilidade.

Tais memoriais devem constituir parte integrante do relatório, sob forma de texto, onde todos os eventos de natureza geológico-geotécnica detectados em superfície ou em subsuperfície, sejam descritos de maneira prática e objetiva.

4.5 Fase de construção

Diversos aspectos de caráter geológico-geotécnico somente são passíveis de real ponderação quando diretamente observados durante os trabalhos de implantação da obra, uma vez que a caracterização geológico-geotécnica a nível de projeto dificilmente é definitiva, especialmente no caso de túneis, grandes cortes, etc. Daí resulta a necessidade de um tratamento adequado com adaptações e reformulações locais do projeto.

4.5.1 Metodologia de trabalho

Os trabalhos de acompanhamento técnico e supervisão, na esfera de atividades de cunho geológico-geotécnico, devem ser conduzidos a nível executivo e a nível consultivo.

A nível executivo, as atividades realizadas nesta fase consistirão de inspeções sistemáticas das frentes de obra para verificar a compatibilidade entre o previsto no projeto e a realidade, mapeamento geológico-geotécnico complementar dos trechos em corte, túneis, etc.; onde as condições requeiram revisões ou complementações, tomada de fotografias técnicas, medições estruturais intensivas, aferição das estimativas e organização do arquivo técnico da obra.

A nível consultivo, as atividades consistirão em interpretar as situações de obra e os novos dados coletados, de modo a possibilitar, além de uma correta aplicação das diretrizes, normas e especificações de projeto, a própria adequação do projeto a condicionantes geológicos-geotécnicos não previstos nas fases anteriores. Dentro desse espírito, podem ser conseguidos:

a) em cortes:

- melhoras no projeto final, graças ao exame detalhado e direto de bancadas provisórias em taludes de escavação;
- controle da velocidade da terraplenagem, em função do comportamento do lençol freático;
- otimização dos sistemas de drenagem profunda;
- verificação dos planos de escavação e desmonte em materiais de diferentes categorias;
- verificações complementares visando obras de contenção;

b) em aterros:

- verificação do projeto final de escavação para lançamento do aterro;

c) em túneis:

- otimização dos planos de desmonte;
- delimitação, com o avanço da obra, dos trechos de escoramento provisório;
- aperfeiçoamento do projeto final de revestimento, drenagem e demais tratamentos;

d) nas obras-de-arte:

- confirmação das condições de fundação;

e) em pavimentos e lastros:

- verificação das condições do subleito e eventual definição de formas de tratamento;
- orientação na exploração de áreas de empréstimo especiais.

4.5.2 Elaboração da carta

A carta torna-se necessária na medida em que feições ou características geológico-geotécnicas não detectadas, anteriormente, requeiram sensíveis modificações de projeto. Vigoram, neste caso, escalas e recursos gráficos já anteriormente empregados. Caso contrário, basta elaborar a revisão dos documentos apresentados, com introdução das informações da fase construtiva.

Além disso, em cortes, túneis e fundações de obras-de-arte, o mapeamento geológico-geotécnico deve constituir o documento comprobatório da qualidade dos materiais atingidos e da aplicabilidade dos critérios de projeto. Assim sendo, devem ser empregados critérios geotécnicos de classificação, descrevendo-se detalhadamente os materiais atingidos quanto a seu grau de alteração, fraturamento, resistência, coerência, natureza das descontinuidades e outras características consideradas representativas. Para esses critérios de classificação geotécnica dos maciços rochosos devem ser observadas as diretrizes aprovadas nas normas para sondagem pelo método rotativo e aquelas constantes da ABGE (Associação Brasileira de Geologia de Engenharia).

- Notas: 1) Em fundação de obras-de-arte, devem ser empregadas escalas gráficas da ordem de 1:100 a 1:50, ou mesmo maiores. Em cortes e túneis, as escalas devem ser da ordem de 1:100 a 1:200, em função da intensidade e complexidade das obras de contenção e revestimento necessárias;
- 2) Os critérios de classificação de maciços rochosos acima citados devem decorrer das normas emitidas a respeito pela "Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE".

4.6 Fase de pós-construção

Deslizamentos de solos e/ou rochas podem ser freqüentes durante períodos chuvosos em regiões de serra, com condicionantes geológicas favoráveis (falhas, dobras, fissuras, diques, etc), requerem estudos e investigações "in situ" detalhadas, para obter informações de superfície e subsuperfície para o projeto de medidas corretivas ou preventivas. Deslizamentos em aterros também requerem estudos específicos e detalhados "in situ".

A duplicação de eixo de uma rodovia implicará seguramente em estudos completos e minuciosos sob o ponto de vista geológico/geotécnico, para a nova pista de rolamento.

4.6.1 Metodologia do trabalho

O estudo geológico/geotécnico para duplicação de eixo, envolve todas as fases de projeto, desde o estudo de traçado até o projeto final de engenharia.

Todos os dados de projeto e/ou construção, bem como os constantes de “como construído”, se houver, deverão ser examinados, principalmente; quanto aos aspectos de:

- **Facilidade de traçado;**
- **Materiais de construção;**
- **Identificação de áreas críticas.**

Sob o ponto de visita de manutenção, na pós-construção, para áreas de aterros deverá ser providenciado:

- **Topografia;**
- **Geologia detalhada da área;**
- **Sondagem mecânica;**
- **Investigação elétrica;**
- **Ensaio de campo e laboratório;**
- **Instrumentação;**

Para áreas de taludes de corte deverá ser providenciado:

- **Topografia;**
- **Mapeamento geológico detalhado;**
- **Sondagem geofísica (sísmica e elétrica);**
- **Sondagens mecânicas**
- **Ensaio de campo e laboratório;**
- **Instrumentação.**

Para aumentar a estabilidade dos taludes as seguintes providências construtivas poderão ser tomadas, em pontos onde couber, após os estudos geológicos/geotécnicos

- **Diminuição de “b” (ângulo de inclinação do talude)**
- **Drenagem superficial e/ou subterrânea para evitar:**
 - **pressões intersticiais estáticas e de percolação;**
 - **diminuição dos parâmetros de resistência ao corte (“C”);**
 - **aumento de peso;**
 - **erosão subterrânea (“Piping”);**
 - **erosão superficial;**

- Berma (Banquetas)
- Reforço de resistência ao cisalhamento no pé do talude;
- Muro de arrimo para inclinações excessivas;
- Ancoramentos;
- Escoramentos (gigantes);
- Obturação de fissuras;
- Injeções de argamassa de cimento;
- Plantio de gramíneas;
- Gunitagem e/ou tela sobre a face do talude;
- Grampeamentos (solos e rocha);
- Outros.

4.6.2 Elaboração da carta e relatório

Em qualquer das fases do projeto de duplicação de eixo deverão ser apresentados relatórios conclusivos para orientar e definir claramente as questões relativas a cada fase. A escala dos mapas e perfis será compatível a cada fase, conforme já descrito em itens anteriores de projeto. Quanto aos estudos particulares para cortes e aterros um relatório conclusivo deve incluir:

- Relatório geológico completo, ilustrado por plantas, perfis e seções geológicas elucidativas;
- Perfil geofísico (refração e resistividade);
- Escalas do perfil geológico/geotécnico: Horizontal - 1:2000, Vertical 1:200, apresentando a classificação dos materiais quanto à susceptibilidade a deslizamentos;
- Perfis individuais de sondagens e quadro com resultados de ensaios;
- Tratamento estatístico dos resultados, agrupando os materiais pelas suas unidades geotecnológicas homogêneas;
- Os casos mais complexos devem indicar claramente nos relatórios e seções o que é certeza e o que é hipótese. Nesse casos recomendam-se escalas Horizontal 1:500, Vertical - 1:50 ou Escalas com $H = V$;
- Relatório geotécnico, resumindo todas as conclusões destinadas a melhor orientar o desenvolvimento dos demais projetos, além de conter planos de acompanhamento tecnológico para atender as peculiaridades de cada projeto geotécnico, e plano de instrumentação de acompanhamento quando a complexidade da obra recomendar essa atividade para a avaliação do desempenho da obra construída.

Tabela 1 - Descrição de unidades homogêneas em mapeamento geológico-geotécnico

Unidade homogênea	Modelado	Solos, materiais e hidrologia	Cobertura vegetal
1	Superfície de crostas lateríticas: Superfície horizontal ou de suaves mergulhos. Ocorrências variam em tamanho de 100 m ² a 2 km ² . Ocorre em interflúvios planos e em superfícies de mesetas isoladas	Crostas lateríticas de até 15 cm de espessura capeando arenitos, cuja parte superior é frequentemente muito ferruginosa. O material aflorante se constitui de crostas descobertas e solos rasos pedregosos. Onde as crostas foram removidas solos pedregosos recobrem o arenito	Cerrado grosso misto, quando a espessura de solo é suficiente
2	Vertentes escarpadas: Topografia de encostas acidentadas, geralmente mais íngremes na parte superior das vertentes logo abaixo dos limites da unidade 1. Taludes côncavos na parte inferior com micro relevo acidentados. Fendas rochosas íngremes, esporões e ravinas entalhados profundamente, são comuns	Crostas lateríticas e rochas areníticas em formato de talús e solos pedregosos rasos sujeito a erosão pelas águas superficiais que descem as encostas	Cerrado, quando a espessura de solo é suficiente
3	Superfície arenítica: Superfície horizontal até moderadamente inclinada, correspondente aos terraços formados pela dissecação do arenito de estratificação horizontal	Rocha e solos pedregosos rasos	Como acima
4	Terraços de arenito ferruginoso: Como a unidade acima, mas mais persistente e desenvolvida marcada pela presença de um horizonte de arenito ferruginoso com 0,8 m de espessura entre as unidades 1 e 5	Rocha e solos pedregosos rasos. O arenito ferruginoso endurecido protege o arenito inferior mais friável e forma um banco proveniente frequentemente de rocha viva, mas às vezes cobertos de cascalhos e pedregulhos	
5	Fundo do vale: Horizontal mas com transição suavemente acidentada com a unidade. Varia em largura desde 20 m até 1000 m. O comportamento pode ser maior que 15 km	Os solos são moderadamente espessos, constituídos por depósitos aluviais e coluviais cinza claro a marrom avermelhado. Permeáveis e sem linhas de drenagem bem definidas. O entalhamento ativo das ravinas está paralizado	Campos nativos (savanas) intensamente aproveitados

Tabela 2 - Características e propriedades geotécnicas das unidades

Unidades homogêneas	Controles gerais de campo			Class sucs	Limites		Compactação		CBR P.N. %	Granulometria típica %						
	Material dominante	Profundidade espessura	Drenagem interna		LL	IP	D _{max} /PM	HOT		Pedregulho			Areia		Silte	
					%	%	t/m ³	%		%	Gros	Med	Fina	Gros	Med	Fina
1. Crostas lateríticas com pedregulho residual	Rocha ferrifera com pedregulho bem graduado	Variável 1,5 m - 4,5 m	Geralmente bem drenado local e intermitente devido às crostas lateríticas	GW	N	P	2,21	10	36	5	20	35	10	10	8	12
2. Vertentes escarpadas	Ampla espectro de materiais de construção (arenitos, detriticos mal selecionados) bolsões de material fino		Bem drenado, mas altamente suscetível à erosão	GP GW	N 39	P 17				42	35 2	7 7	3 8	7 11	4 15	2 57
3. Superfície arenítica	areia, silte, rocha arenítica	Variável 0,2 m - 1,0 m	Geralmente bem drenado ocasionais lençóis suspensos na presença de lentes argilosas	SM	N	P	1,95	9	37			2	11	12	17	58
4. Terraços	Rocha cimentada			Rock												
5. Fundo de Vale	Areias siltosas e areias argilosas com alguns fragmentos de arenitos pobremente graduada		Bem drenada, mas com consideráveis extensões de nascentes lavadas nas vizinhanças das escarpas	SM/SC SP	N 23-26 N	P 6-11 P						5	23 15	32 45	15 32	25 8

Tabela 3 - Insumos básicos de engenharia das unidades geotécnicas

Unidade homogênea		Abastecimento de água	MATERIAL DE CONSTRUÇÃO					
Nº	Denominação		Areia para concreto	Agregado para concreto	Formas de madeira	Pavimentação		
						Sub-base	Base	Revestimentos
1.	Crostas lateríticas com cascalhos lateríticos residuais	Suprimento muito fraco de poços rasos na estação seca, contaminado por fluxos superficiais na estação de chuvas		Crostas endurecidas após a britagem e peneiramento		Apto, mas anti-econômico Apto, suprimento abundante	Apto como crosta requer "rippagem" e britagem Apto mas requer estabilização com cal ou cimento	Apto após a britagem e peneiramento Apto após peneiramento
2.	Vertentes escarpadas			arenitos meio-duros aptos para britagem		Cascalhos aptos mas a rocha é antieconômica	Rocha apta após britagem, mas cascalhos só com cal ou cimento	Apto, após britagem e peneiramento do material
3.	Superfície arenítica	Poços profundos em geral Ocasionalis cacimbas sobre lençóis suspensos				apto		
4.	Terraços de arenito ferruginoso			Rocha cimentada apta à britagem		apto	Apto, após britagem	Apto após a britagem e peneiramento
5.	Fundo de Vale	Abastecimento perene de água potável em poços profundos. Possível contaminação superficial na estação úmida	Suprimento limitado em bolsões locais depositados por enxurradas		Ramagem arbustiva. Apta para carvão, não para construção			

Tabela 4 - Adequabilidade (aptidão) à implantação rodoviária

Ufidade homogênea		Avaliação	Feições características
Nº	Denominação		
1.	Crosta laterítica com cascalhos lateríticos residuais	Inapta devido à situação isolada da unidade. Quando este tipo de unidade tem continuidade em outros domínios geomórficos então é bastante apta para implantação viária	Plana a suavemente ondulada Suprimento abundante de cascalho Geralmente bem drenada
2.	Vertentes escarpadas	Geralmente inapta devido ao escarpamento íngreme	Despenhadeiros, com desmoronamentos e erosão
3.	Superfície arenítica	Apta quando desenvolve-se por grandes extensões	Solos arenosos e bem drenados com poucos cursos d'água bem definidos
4.	Terraços de arenito ferruginoso	Inapta por causa da situação isolada da unidade	Situação isolada e acesso difícil devido à altitude, mergulho da camada é favorável
5.	Fundo de Vale	Apta	Solos usualmente profundos e bem drenados. Não há rampas excessivas. Localmente o escoamento superficial da unidade 2 provoca problemas de erosão e podem ser necessárias obras de controle (valas, bueiros)