

NORMA

INFRA S.A.
PRO-00002

rev 0
03.07.2023

**Estudos geotecnológicos — Especificação
de projeto**

Geotechnological studies — Project specification

INFRA S.A.

© INFRA S.A. 2023

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada em qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da INFRA S.A.

Sede da INFRA S.A.

SAUS, Quadra 01, Bloco 'G', Lotes 3 e 5. - CEP: 70.070-010

Asa Sul Brasília - DF

Telefone:+55 61 2029-6100

<https://www.infrasa.gov.br>

Sumário

Prefácio	v
Introdução	vi
1 Objetivo	1
2 Referências normativas	1
3 Termos e definições	3
4 Estudos geológicos	4
4.1 Anteprojeto	5
4.2 Projeto básico	5
4.3 Projeto executivo	5
5 Estudos geotécnicos	6
5.1 Relatório de características geotécnicas preliminares	6
5.2 Planejamento de investigações e ensaios	7
5.3 Anteprojeto	7
5.4 Projeto básico	7
5.4.1 Investigações em áreas de corte	8
5.4.2 Investigações em áreas de taludes	11
5.4.3 Investigações em áreas de aterro	12
5.4.4 Investigações para materiais naturais de construção	15
5.4.5 Investigações para obras de arte especiais	20
5.4.6 Investigações para obras de arte correntes	21
5.5 Projeto executivo	21
5.5.1 Investigações em áreas de corte	22
5.5.2 Investigações em áreas de taludes	26
5.5.3 Investigações em áreas de aterro	26
5.5.4 Investigações para materiais naturais de construção	26
5.5.5 Investigações para obras de arte especiais	27
5.5.6 Investigações para obras de arte correntes	27
6 Apresentação	27
Anexo A (normativo) Modelos de documentos para apresentação	33
A.1 Modelo de apresentação de mapa geológico e de perfil	33
A.2 Modelo de planilha de programação das investigações da faixa de implantação e das obras de arte correntes	34
A.3 Modelo de planilha de programação das investigações das obras de arte especiais	35
A.4 Modelo de convenções para perfil geotécnico	36
A.5 Modelo de boletim de sondagem a trado e poço de inspeção	37
A.6 Modelo de boletim de sondagem a percussão	38
A.7 Modelo de boletim de sondagem mista	39
A.8 Modelo de boletim de sondagem mista	40

A.9	Modelo de planilha resumo de investigação geotécnica nas ocorrências	41
A.10	Modelo de planilha-resumo de investigação geotécnica do eixo	42
A.11	Modelo de apresentação de estudos para material terroso	43
A.12	Modelo de apresentação de estudos para material pétreo.....	44
Anexo B	(normativo) Informações mínimas necessárias para os boletins de sondagem	45
B.1	Sondagem a trado (ST) e poço de inspeção (PI).....	45
B.2	Sondagem a percussão (SP)	46
B.3	Sondagem mista (SM) ou rotativa (SR)	47

Prefácio

A Valec – Engenharia, Construções e Ferrovias S.A. (nome fantasia – “INFRA S.A.”), empresa pública de capital fechado, é uma sociedade por ações controlada pela União e vinculada ao Ministério dos Transportes, regida por seu Estatuto Social e, especialmente, pelas Leis nº 6.404, de 15 de dezembro de 1976, nº 11.772, de 17 de setembro de 2008, nº 12.404, de 04 de maio de 2011, nº 12.743, de 19 de dezembro de 2012 e nº 13.303, de 30 de junho de 2016, e pelos Decretos nº 8.945, de 27 de dezembro de 2016 e nº 11.081, de 24 de maio de 2022.

A INFRA S.A. tem por objeto social prestar serviços nas áreas de projetos, estudos e pesquisas, destinados a subsidiar o planejamento da logística e dos transportes no País, considerando as infraestruturas, as plataformas e os serviços pertinentes aos modos rodoviário, ferroviário, dutoviário, aquaviário e aeroviário.

A Superintendência de Projetos e Custos (SUPRO) da INFRA S.A. tem por objetivo criar, revisar, zelar e organizar o acervo de Normas Técnicas de engenharia, com o intuito de melhorar os procedimentos da empresa. Ainda que a responsabilidade do conteúdo das normas seja de todo o corpo técnico da INFRA S.A., a SUPRO é a responsável pela gestão do processo de manutenção do acervo de Normas Técnicas de engenharia.

Para estabelecer a estrutura técnica aplicada à infraestrutura de logísticas de transporte nacional, foi elaborada a Norma técnica INFRA S.A. PRO-00002 – Estudos Geotecnológicos – Especificação de projeto, para regulamentação dos requisitos para a definição dos Estudos Geotecnológicos a serem utilizados em obra ferroviária.

Esta edição revoga e substitui a norma VALEC 80-EG-000A-29-0000 - Especificação de projeto: Estudos geotecnológicos.

Introdução

Esta Norma estabelece os critérios de execução dos estudos geológicos e geotécnicos para elaboração do anteprojeto, projeto básico e projeto executivo de engenharia de infraestrutura ferroviária.

Os trabalhos desenvolvidos no âmbito da presente especificação devem ser realizados em observância às melhores práticas disponíveis e em conformidade com as normas, disposições e parâmetros prescritos no texto, além dos critérios julgados cabíveis pela INFRA S.A., os quais prevalecem sobre os demais.

Os estudos geológicos e geotécnicos devem ser realizados em perfeito entrosamento. Os estudos geológicos, além de fornecerem subsídios para o projeto geométrico da via, constituem a base indispensável para a programação dos trabalhos geotécnicos, necessários aos projetos de geometria, drenagem, terraplenagem, superestrutura, obras de arte especiais e para a obtenção de materiais de construção.

Os estudos geológicos e geotécnicos devem ser elaborados concomitantemente com os estudos e/ou projetos de topografia, geometria, hidrologia e ambientais, além de tecnologias de sistemas construtivos, materiais de construção e fundações.

Estudos geotecnológicos – Especificação de projeto

1 Objetivo

Esta Norma visa definir e especificar os serviços constantes dos estudos geológicos e geotécnicos, a fim de compor o anteprojeto, o projeto básico e o projeto executivo de engenharia de infraestrutura ferroviária, bem como orientar quanto à sua elaboração e à padronização da apresentação.

2 Referências normativas

Os documentos a seguir são citados no texto de tal forma que seus conteúdos, totais ou parciais, constituem requisitos para este Documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas):

ABNT NBR 5564, *Via férrea – Lastro ferroviário – Requisitos e métodos de ensaio;*

ABNT NBR 6122, *Projeto e execução de fundações;*

ABNT NBR 6459, *Solo – Determinação do limite de liquidez;*

ABNT NBR 6484, *Solo – Sondagens de simples reconhecimentos com SPT – Método de ensaio;*

ABNT NBR 7180, *Solo – Determinação do limite de plasticidade;*

ABNT NBR 7181, *Solo – Análise granulométrica;*

ABNT NBR 7182, *Solo – Ensaio de compactação;*

ABNT NBR 7185, *Solo – Determinação da massa específica aparente, in situ, com emprego do frasco de areia;*

ABNT NBR 7211, *Agregados para concreto – Especificação;*

ABNT NBR 7218, *Agregados – Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis;*

ABNT NBR 7389, *Agregados – Análise petrográfica de agregado para concreto;*

ABNT NBR 9603, *Sondagem a trado – Procedimento;*

ABNT NBR 9604, *Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas – Procedimento;*

ABNT NBR 9895, *Solo – Índice de suporte Califórnia (ISC) – Método de ensaio;*

ABNT NBR 10905, *Solo – Ensaio de palheta in situ – Método de ensaio;*

ABNT NBR 11682, *Estabilidade de encostas;*

PRO-00002

ABNT NBR 12052, *Solo ou agregado miúdo – Determinação do equivalente de areia – Método de ensaio;*

ABNT NBR 15577-3, *Agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 3: Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto;*

ABNT NBR 16097, *Solo – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaio;*

ABNT NBR 16853, *Solo – Ensaio de adensamento unidimensional;*

ABNT NBR 16867, *Solo – Determinação da massa específica aparente de amostras indeformadas – Método da balança hidrostática;*

ABNT NBR 16973, *Agregados – Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem;*

ABNT NBR 17054, *Agregados – Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio;*

ABNT NBR NM 49, *Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas;*

ASTM D3441-16, *Standard test method for mechanical cone penetration testing of soils;*

ASTM D3080-04, *Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions;*

ASTM D4767-11, *Standard test method for consolidated undrained triaxial compression test for cohesive soils;*

DNER-CLA 259/96 – *Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos de prova compactados em equipamento miniatura;*

DNER-ME 030/94, *Solos - Determinação das relações sílica-alumina e sílica-sexquíóxidos em solos;*

DNER-ME 045/95, *Prospecção geofísica pelo método da sísmica de refração ;*

DNER-ME 256/94, *Solos compactados com equipamento miniatura – Determinação da perda de massa por imersão;*

DNER-ME 258/94, *Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-MCV;*

DNER-PRO 102/97, *Sondagem de reconhecimento pelo método rotativo;*

DNIT 134/2018-ME, *Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência;*

DNIT 179/2018-IE, *Pavimentação – Solos – Determinação da deformação permanente;*

DNIT 381/2022-PRO, *Projeto de aterros sobre solos moles para obras viárias – Procedimento; e*

DNIT 417/2019-ME, *Solos – Controle de compactação com equipamento densímetro eletromagnético.*

3 Termos e definições

Para os efeitos deste normativo, aplicam-se os seguintes termos e definições.

3.1 classificação RMR (*rock mass rating*)

Classificação geomecânica de maciços rochosos, proposta originalmente por Bieniawski (1973).

3.2 classificação RQD (*rocky quality designation*)

Classificação geomecânica de maciços rochosos, proposta originalmente por Deere (1964).

3.3 N_{SPT}

Número de golpes correspondente à cravação de 30 cm finais do amostrador-padrão, após a cravação inicial de 15 cm.

3.4 poços de inspeção (PI)

Escavação vertical no terreno, com objetivo de permitir o acesso de um observador, visando a inspeção e mapeamento das paredes e do fundo, além de obter amostras deformadas e/ou indeformadas de solo. Devem ser executados de acordo com a ABNT NBR 9604.

3.5 sistema Q (*rock mass quality*)

Classificação geomecânica de maciços rochosos, proposta originalmente por Barton *et al.* (1974).

3.6 solo colapsível

Solo que apresenta brusca redução de volume quando submetido a acréscimos de umidade ou carregamentos.

3.7 solo compressível

Solo que tem a característica de se deformar facilmente quando comprimido.

3.8 solo de baixa capacidade de suporte

Solo que, por sua composição, apresenta baixa capacidade de suporte, baixa permeabilidade e elevada compressibilidade.

3.8.1 solo fofo

Solo de baixa capacidade de suporte, composto por areias ou siltes arenosos com $N_{SPT} \leq 4$.

3.8.2 solo mole

Solo de baixa capacidade de suporte, composto por argilas ou siltes argilosos com N_{SPT} entre 3 e 5.

3.8.3 solo muito mole

Solo de baixa capacidade de suporte, composto por argilas ou siltes argilosos com $N_{SPT} \leq 2$.

3.9 solo expansivo

Solo que, por sua composição mineralógica, aumenta de volume quando há acréscimo do teor de umidade.

3.10 sondagens diretas

Método de reconhecimento e caracterização do terreno que consiste em perfurações realizadas com o emprego de quatro métodos distintos ou ainda pela combinação desses métodos: trado, percussão, rotativa ou poço de inspeção.

3.10.1 sondagem a percussão (SP)

Método de reconhecimento e caracterização do terreno que tem como objetivo determinar os tipos de solos, suas profundidades de ocorrência, seus índices de resistência à penetração e obter a posição do nível d'água. O índice de resistência à penetração é determinado pela cravação do amostrador-padrão no terreno, com golpes sucessivos de um peso determinado em queda livre, sobre a cabeça de cravação conectada às hastes e ao barrilete e corresponde ao número de golpes necessários à cravação do amostrador. Quando a resistência do material impede a cravação do amostrador-padrão, o ensaio deve ser interrompido ou seguir critérios preestabelecidos, em função da finalidade da sondagem a ser realizada. Deve ser executada de acordo com a ABNT NBR 6484.

3.10.2 sondagem a trado (ST)

Método de reconhecimento e caracterização do terreno que tem como objetivo determinar as espessuras, o nível d'água e o tipo de solo encontrado. É realizada com a escavação por meio de trado-concha ou helicoidal, de diâmetro suficiente para a coleta de amostra deformada de solo de cada horizonte, ou com critério preestabelecido para ensaios geotécnicos ou estudos geológicos. Deve ser executada de acordo com a ABNT NBR 9603.

3.10.3 sondagem com penetrômetro dinâmico

Método de reconhecimento e caracterização do terreno que consiste na cravação de um cone no solo, pela queda de um martelo, registrando-se a penetração provocada até que uma determinada profundidade de inspeção seja atingida. Com a cravação da ponta cônica, é possível analisar a resistência à penetração do solo, possibilitando que camadas com diferentes resistências sejam detectadas. Pode ser utilizado para avaliar mudanças no tipo de solo e identificar a compacidade de um determinado material.

3.10.4 sondagem mista (SM) (SP-SR)

Método de reconhecimento e caracterização do terreno que consiste na execução da sondagem a percussão (SP) e da sondagem rotativa (SR) em um mesmo furo. Ao atingir o impenetrável, passa-se do método de sondagem a percussão (SP) para o método rotativo (SR). A sondagem mista (SM) permite a coleta de amostras contínuas de solo e rocha, podendo atingir grandes profundidades de investigação.

3.10.5 sondagem rotativa (SR)

Método de reconhecimento e caracterização do terreno que tem como objetivo obter testemunhos em locais onde não é possível a avaliação do subsolo através das sondagens a trado ou percussão, devido a impenetrabilidade. É realizada através de sondas rotativas, providas de hastes, coroa de corte e barrilete amostrador.

3.11 sondagens indiretas

Método de reconhecimento e caracterização do terreno, considerado complementar às sondagens diretas, que consiste no emprego de métodos geofísicos de propagação de ondas ou de efeitos eletromagnéticos, para obtenção de informações sobre a transição solo-rocha, profundidade do nível d'água e morfologia do topo do substrato rochoso, em áreas com características geológicas distintas. São realizadas com a aplicação de sondagem geofísica por eletrorresistividade e/ou sísmica por refração.

4 Estudos geológicos

Os estudos geológicos devem subsidiar os estudos geotécnicos, influenciando principalmente na orientação das investigações de campo. Devem ser elaborados em três etapas, sendo anteprojeto,

projeto básico e projeto executivo, as quais devem seguir uma sequência de aprofundamento dos estudos e detalhamentos, conforme os conteúdos citados em 4.1 a 4.3.

4.1 Anteprojeto

No anteprojeto, devem ser realizados o levantamento de dados da região de implantação da ferrovia e a análise de imagens aéreas, de modo a verificar a viabilidade do projeto, auxiliar no estudo de alternativas viáveis de traçado e na definição de possíveis soluções de engenharia para a implantação, subsidiar a elaboração do plano de sondagens e orientar os estudos geotécnicos.

Devem ser coletados e analisados dados relevantes para o levantamento das características geomorfológicas, geológicas e pedológicas da região, considerando informações existentes de topografia, geomorfologia, tipos de solos, hidrogeologia, clima e vegetação. Devem ser examinados mapas pedológicos, geomorfológicos, geológicos, geotécnicos, hidrológicos, cartas topográficas, imagens aéreas, publicações e outros.

As imagens aéreas da região devem ser interpretadas, destacando os locais de interesse geotécnico, identificando as feições e orientações características de descontinuidade (falhas, juntas, clivagens, diáclases, xistosidades), de contatos e de estratificações, além de outros dados que possam interferir na determinação do traçado e na geometria da ferrovia.

Devem ser demarcados os locais nos quais há possibilidade de ocorrência de materiais de construção, zonas de talus, cicatrizes de antigos movimentos de taludes, zonas de serras, escarpas, cristas, encostas, zonas de solos compressíveis e quaisquer outras que sejam importantes para o estudo.

4.2 Projeto básico

Na fase de projeto básico, os estudos na região do traçado escolhido devem ser verificados e complementados com novos dados, considerando, inclusive, os aspectos ambientais. Os estudos geológicos também devem subsidiar a elaboração do plano de sondagens e orientar os estudos geotécnicos.

Devem ser realizadas investigações de campo ao longo da região, para confirmar os dados coletados durante o anteprojeto, levando em consideração a incorporação dos dados do traçado. Devem ser verificados a geomorfologia, a vegetação, os tipos de solos, seu hidromorfismo, a hidrologia, além da indicação de prováveis problemas geotécnicos.

Também se deve anotar dados sobre a água subterrânea, incluindo a estimativa de valores de permeabilidade dos maciços, o afloramento de água e o nível do lençol freático.

As investigações geológicas devem ser planejadas de acordo com as necessidades do projeto. Os métodos mais adequados tanto aos maciços mapeados, como à complexidade das obras, devem ser utilizados.

As investigações de campo também devem verificar as possíveis fontes de materiais de construção, próximas ao traçado escolhido, as zonas de ocorrência de solos colapsíveis, compressíveis e áreas potencialmente instáveis.

4.3 Projeto executivo

Na fase de projeto executivo, deve-se buscar um amplo detalhamento nas investigações. Os estudos geológicos devem ser conclusivos, subsidiar a elaboração do plano de sondagens e orientar os estudos

geotécnicos.

Em regiões onde há indicação de soluções construtivas específicas, como obras de arte especiais, contenções e outros, devem ser elaborados estudos específicos detalhados. Assim como em regiões complexas do ponto de vista geológico-geotécnico, como em áreas de solos de baixa capacidade de suporte, solos hidromórficos, zonas de erosão ativa, áreas de afloramentos rochosos, estruturas desfavoráveis à estabilidade de taludes de cortes e áreas de encostas instáveis ou próximas da instabilidade.

Além disso, devem ser fornecidas informações mais detalhadas quanto às ocorrências de materiais de construção disponíveis na área. Estes materiais compreendem desde os necessários aos corpos de aterros até aqueles para as obras civis, passando pelos materiais de sublastro e lastro.

5 Estudos geotécnicos

Os estudos geotécnicos devem ser desenvolvidos em conformidade com os estudos geológicos, de forma a obter as características dos materiais (subleito, corte, taludes, jazidas) da área de implantação da ferrovia.

Toda a programação de sondagens e ensaios geotécnicos deve ser submetida à INFRA S.A. para discussão e aprovação. A liberação da campanha de sondagens e ensaios deve ocorrer após a análise conjunta entre a equipe de geotecnia da solicitante e a equipe técnica da INFRA S.A., mediante a aprovação desta. As sondagens devem ser georreferenciadas e sua distribuição, espaçamento e quantidade devem ser determinados em função das características específicas de cada trecho, assim como os ensaios *in situ* e de laboratório.

O plano de sondagens para reconhecimento da região deve abranger toda a área de influência da ferrovia, levando em consideração os aspectos geológicos e geotécnicos. Deve ser estabelecido, tendo como base mapas e informações disponíveis nos estudos geológicos, buscando dar soluções a problemas geológicos e geotécnicos, como zonas de tálus, zonas sedimentares recentes, principalmente com presença de solos compressíveis, zonas de instabilidade potenciais ou reais, zonas com ocorrência de solos coluviais e passagens em gargantas e meias-encostas íngremes.

Nos estudos geotécnicos, deve ser feito o relatório de características geotécnicas preliminares e o planejamento de investigações e ensaios, de modo a embasar o plano de sondagens. Na sequência, os estudos geotécnicos devem ser elaborados em três etapas, sendo anteprojeto, projeto básico e projeto executivo, apresentando os conteúdos descritos em 5.1.

5.1 Relatório de características geotécnicas preliminares

O relatório de características geotécnicas preliminares deve ser elaborado a partir dos estudos geológicos, a fim de dar embasamento adequado à elaboração do plano de sondagens. Os seguintes subtópicos devem ser apresentados devidamente detalhados:

- a) Características geotécnicas preliminares da faixa de implantação (incluindo detalhamento dos locais com solos de baixa capacidade de suporte, dos processos erosivos, dos afloramentos rochosos e das estruturas desfavoráveis à estabilidade de taludes);
- b) Características geotécnicas preliminares e localização dos possíveis empréstimos;
- c) Características geotécnicas preliminares e localização das possíveis ocorrências de sublastro;

- d) Características geotécnicas preliminares e localização dos possíveis areais; e
- e) Características geotécnicas preliminares e localização das possíveis pedreiras.

5.2 Planejamento de investigações e ensaios

Elaborado a partir dos estudos geológicos e do relatório de características geotécnicas preliminares, deve contemplar, definições, justificativas, orientações e cronogramas, para a execução adequada de levantamentos e ensaios, o produto final deste planejamento, deve ser um plano de sondagens e um cronograma de execução, coerentes com as peculiaridades da região e com as especificações e orientações da INFRA S.A..

5.3 Anteprojeto

Nos estudos geotécnicos, a etapa de anteprojeto deve subsidiar a avaliação técnica das alternativas de diretriz de traçado para o estudo de implantação da ferrovia. Nesta etapa, também devem ser estimadas as dimensões de obras geotécnicas, como contenções, áreas de aterros sobre solos compressíveis, túneis, dentre outras.

Para cada alternativa de diretriz de traçado, devem ser indicadas possíveis soluções geotécnicas, como tratamento de fundação de aterros, contenções de encostas, localização de áreas de jazidas e tipos de materiais disponíveis, dentre outros.

Devem ser feitas vistorias de campo de modo a verificar as condições físicas do local de implantação da ferrovia. Nestas vistorias, com os subsídios fornecidos pelos estudos geológicos, deve-se tomar conhecimento das ocorrências geológicas e geotécnicas que condicionam o custo de cada alternativa de traçado analisada.

O anteprojeto deve ser elaborado atendendo ao mesmo conteúdo (mesma itemização) dos estudos geotécnicos para projeto básico, porém, com menor detalhamento, sendo os levantamentos (sondagens e ensaios) reduzidos a quantitativos menores, seguindo as seguintes premissas:

- a) Dados de sondagens, com plano submetido e aprovado pela INFRA S.A. em número e tipos adequados e suficientes, distribuídos de acordo com as características geológicas/geotécnicas locais, de modo a obter as informações mínimas necessárias para a caracterização da faixa de implantação e das ocorrências. Recomenda-se a execução de no mínimo 20% dos quantitativos de projeto básico;
- b) Informações geotécnicas e localização de ocorrências de materiais naturais para construção e empréstimos;
- c) Localização e caracterização de ocorrências de solos de baixa capacidade de suporte e processos erosivos que comprometam a faixa de domínio; e
- d) Verificação e caracterização da presença de afloramentos rochosos e/ou vestígios de possíveis cortes em maciço rochoso.

5.4 Projeto básico

Na fase de projeto básico, a diretriz de traçado deve estar consolidada e as soluções devem ser estudadas de forma específica, destinando-se a quantificar e a qualificar as áreas de materiais necessários à implantação da ferrovia.

Em modalidades de contratação de projetos em que o anteprojeto não está incluído, os estudos descritos do anteprojeto em 5.3 devem ser realizados na fase de projeto básico.

Com os dados disponibilizados nesta fase como investigações geotécnicas e projetos geométricos sobre base topográfica, devem-se conceber alternativas de soluções geotécnicas para cada situação e compará-las do ponto de vista técnico-econômico.

A abrangência e a 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.

5.4.1 Investigações em áreas de corte

5.4.1.1 Investigações de campo

As investigações em áreas de corte devem ser programadas em função do projeto geométrico preliminar da etapa de projeto básico e das características litológicas, estruturais e hidrogeológicas das formações a serem atravessadas, fornecidas pelos estudos geológicos e pelo anteprojeto de estudos geotécnicos. O programa também deve visar complementar estas informações, retificando-as ou ratificando-as.

As investigações devem ser dirigidas para os seguintes objetivos:

- a) Classificação do material a escavar;
- b) Determinação de condições de suporte do subleito;
- c) Caracterização dos materiais a escavar como material de construção;
- d) Determinação das condições hidrogeológicas com presença ou não do nível freático interferindo com o greide e os taludes;
- e) Determinação dos fatores de homogeneização a serem aplicados aos volumes escavados e necessários para o estudo de compensação entre corte e aterro, para cada segmento que apresente características geotécnicas semelhantes, a partir de dados obtidos nos ensaios de determinação da densidade *in situ* e em laboratório; e
- f) Determinação de parâmetros geotécnicos para subsidiar análises de estabilidade de taludes.

No projeto básico, em cada domínio geológico, devidamente caracterizado pelos estudos geológicos e pelo anteprojeto de estudos geotécnicos, devem ser eleitos cortes típicos, ou seja, cortes representativos para cada segmento homogêneo (apresentado pelo projetista para análise e aprovação da INFRA S.A., a fim de fazer o detalhamento geotécnico representativo para o cálculo de estabilidade de taludes e definição da geometria mais adequada dos cortes, partindo das seções-tipo da INFRA S.A..

Para a análise dos cortes e definição das camadas a serem escavadas, devem ser realizadas sondagens a percussão, trado, mista, rotativa e poços de inspeção, de acordo com as condições locais, com vistas à caracterização dos diversos tipos de materiais a escavar, assim como à verificação das

condições de suporte e expansibilidade do subleito e identificação do nível do lençol freático. As sondagens indiretas geofísicas por eletrorresistividade e/ou por sísmica de refração devem ser utilizadas, sempre que possível, de forma complementar às sondagens diretas.

Em cortes de até 300 m de extensão, deve ser realizada sondagem no ponto central do corte ou no ponto de maior cota. Para cortes com comprimento acima de 300 m, devem ser realizados no mínimo dois furos de sondagem, sendo que o espaçamento máximo entre eles nunca pode ser superior a 300 m.

Além das sondagens no eixo da ferrovia, também devem ser realizadas sondagens adicionais nas laterais de encostas íngremes e na crista dos taludes, em cortes executados em encostas naturais.

As sondagens devem atingir a profundidade de 1,5 m abaixo do greide de terraplenagem ou 5,0 m subsequentes, no método rotativo, com recuperação igual ou superior a 90%. Para assegurar uma boa recuperação dos testemunhos rochosos, devem ser utilizados amostradores de parede dupla.

Na sondagem a percussão, caso seja identificada a presença de material impenetrável à pequena profundidade ($\leq 3,0$ m), o furo deve ser deslocado de alguns metros e a sondagem reiniciada.

Em alguns dos furos mais representativos dos cortes mais altos e/ou mais extensos, as sondagens rotativas (Φ NX) devem ser programadas quando ficar caracterizada a presença de rocha ou material impenetrável à percussão, seguindo-se o critério de lavagem por tempo da ABNT NBR 6484. Vale desatacar que as sondagens rotativas devem ser executada de acordo com a norma do DNER-PRO 102/97.

Nos furos centrais dos cortes mais altos, sempre devem ser programadas e, se necessário, executadas sondagens a percussão ou mistas e geofísicas.

Em cortes mais altos e/ou mais extensos, recomenda-se a coleta de amostras indeformadas, para caracterização e estimativa dos parâmetros de resistência.

As amostras de sondagem a percussão devem ter sua caracterização tátil-visual feita por profissional engenheiro ou geólogo com anotação de responsabilidade técnica.

Para a verificação do nível d'água (NA) em cortes mais extensos (maior ou igual a 600 m), devem ser realizadas sondagens adicionais com profundidade de 1,50 m abaixo do greide de terraplenagem (no mínimo um furo em cada ponto de passagem e um furo no meio do corte).

Todos os pontos que possam apresentar NA até 1,50 m em relação ao greide de terraplenagem devem ter projeto de drenagem profunda, de forma a garantir o rebaixamento do lençol freático abaixo do subleito o suficiente para não haver ascensão capaz de saturar o solo até 1,50 m abaixo da cota do greide de terraplenagem, garantindo a condição de não acesso de água externa, e sem possibilidade de saturação do subleito e das camadas.

5.4.1.2 Investigações de laboratório

As amostras coletadas em cada furo (sondagem e/ou poço de inspeção), nos diversos horizontes, devem ser objeto de ensaios de caracterização. Quando forem identificados solos finos (solos que apresentam 95% passando na peneira de abertura nominal de 10 mm), deve ser utilizada a classificação MCT (Miniatura, Compactado, Tropical), em pontos representativos, quando estes puderem ser adequadamente classificados por este sistema. Nos demais casos, os solos devem ser classificados pelo sistema da AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*).

PRO-00002

Na classificação MCT, os solos com comportamento laterítico (LA, LA' e LG') apresentam desempenho promissor e os identificados com comportamento não laterítico (NA', NG' ou NS') apresentam desempenho inferior.

Para a caracterização dos solos, de acordo com a classificação que melhor se adequa à região (Classificação MCT ou Classificação AASHTO), devem ser realizados os seguintes ensaios:

a) Classificação da AASHTO:

- Análise granulométrica por peneiramento e sedimentação (ABNT NBR 7181);
- Limite de liquidez (ABNT NBR 6459); e
- Limite de plasticidade (ABNT NBR 7180).

b) Classificação MCT:

- Perda de massa por imersão (DNER-ME 256/94); e
- Mini-MCV (DNER-ME 258/94).

c) Após a caracterização, devem ser realizados os seguintes ensaios:

- Compactação (ABNT NBR 7182);
- Índice de Suporte Califórnia – ISC (ABNT NBR 9895);
- Expansão (ABNT NBR 9895);
- Módulo de resiliência (para projetos dimensionados por análise mecanicista) (DNIT 134/2018-ME); e
- Deformação permanente (para projetos dimensionados por análise mecanicista) (DNIT 179/2018-IE).

Em projetos dimensionados por análise mecanicista, o ensaio de deformação permanente deve ser realizado em 10% do número de amostras utilizadas nos segmentos homogêneos para ensaios de módulo de resiliência, sendo no mínimo três amostras. Os segmentos homogêneos devem ser definidos através do coeficiente de variação máximo de 20% ($CV = \sigma/X$) considerando a média obtida nos 18 pares de tensão em cada ensaio de módulo de resiliência.

Em todos os cortes, deve ser obtida a massa específica aparente *in situ* (ABNT NBR 7185 ou DNIT 417/2019 – ME) e o teor de umidade natural do solo (ABNT NBR 16097), quando da execução de poços de inspeção. No caso das sondagens a trado, os ensaios *in situ* devem ser realizados apenas no horizonte mais superficial. Estes dados devem ser utilizados na determinação do fator de homogeneização do solo, necessário para o estudo de compensação entre corte e aterro, em cada segmento que apresente características geotécnicas semelhantes.

5.4.2 Investigações em áreas de taludes

As investigações em áreas de taludes devem ser dirigidas para os seguintes objetivos:

- a) Determinação das características e da resistência ao cisalhamento dos diversos materiais envolvidos;
e
- b) Feições litoestruturais intervenientes na estabilidade de taludes a projetar.

Para cada domínio geológico, devem ser escolhidos os cortes mais complexos do ponto de vista de sua estabilidade, para amostragem e posterior execução de ensaios ou parametrizações.

Podem ser realizados poços de inspeção nas linhas de *off-set* de corte, quando possível, em número e posições suficientes para caracterizar a área em estudo.

Nestes poços, também devem ser coletadas amostras deformadas em horizontes de materiais diferentes. As amostras deformadas devem ser submetidas aos ensaios mencionados em 5.4.1.

A coleta das amostras indeformadas deve ser orientada em função do mapeamento geológico e do resultado de caracterização. Essas amostras devem ser submetidas a ensaios triaxiais (ASTM D4767-11) ou de cisalhamento direto (ASTM D3080-04), sob condições de saturação, tensões, drenagem e velocidade de carregamento preestabelecidas, para a determinação da resistência ao cisalhamento do solo.

No caso de solos rompidos, a envoltória de resistência deve ser obtida para tensões residuais, preferencialmente por ensaios de cisalhamento torcional a grandes deformações. Alternativamente, a envoltória residual pode ser obtida por reversão múltipla em ensaios de cisalhamento direto (ASTM D3080-04). As amostras devem ser representativas da zona de ruptura.

Após a definição dos segmentos homogêneos, determinados pelo Método das Diferenças Acumuladas, deve-se seguir a análise de estabilidade dos taludes das seções críticas, ou seja, aterros altos, cortes altos, seções mistas, aterros sobre taludes íngremes. A realização desses estudos deve estar de acordo com a norma ABNT NBR 11682.

Para o caso da análise de estabilidade de taludes em maciços rochosos, devem ser realizadas classificações geomecânicas detalhadas, para cada zona homogênea do maciço, seguindo, por exemplo, as metodologias de Bieniawski (RMR), Barton (Sistema Q) e/ou Hoek & Brown (GSI), a partir das sondagens realizadas e da caracterização de afloramentos rochosos.

De posse das classificações geomecânicas, devem ser propostas geometrias de taludes que possibilitem a obtenção de fatores de segurança aceitáveis de acordo com a ABNT NBR 11682, quanto à susceptibilidade de rupturas planares.

Deve ser avaliada ainda a possibilidade de quedas de blocos, cunhas e deslocamentos, sendo previstas soluções de contenção, como por exemplo, a aplicação de telas metálicas de alta resistência, além de chumbadores, tirantes e/ou contrafortes. Entretanto, até mesmo na fase de projeto executivo, pode não ser possível elaborar um projeto detalhado ou realizar o dimensionamento adequado destas soluções de contenção, visto que as sondagens trazem informações pontuais e não são, na maioria dos casos, orientadas. Assim sendo, faz-se necessário o detalhamento dos projetos destas contenções em fase de obra, após avaliação dos taludes em maciços rochosos escavados, preferencialmente por uma equipe de acompanhamento técnico de obras (ATO).

Para o caso de maciços com RMR inferior ou igual a 23, deve ser realizada a análise de estabilidade de

taludes de acordo com os critérios da envoltória de Mohr-Coulomb.

5.4.3 Investigações em áreas de aterro

5.4.3.1 Aterros sobre terrenos moles e compressíveis

Nas áreas dos aterros onde for confirmada, através de sondagens a percussão, a presença de solos de baixa capacidade de suporte e que, em função da altura do aterro, a estabilidade da estrutura possa ficar comprometida por recalques excessivos, devem ser realizadas sondagens e ensaios especiais de forma a permitir a determinação das espessuras de camadas moles que devem ser removidas e/ou estabilizadas e a delimitar a região com presença deste tipo de material.

Dessas investigações devem ser obtidas:

- a) Definição da disposição espacial dos diversos extratos intervenientes na estabilidade do terrapleno e/ou capazes de induzir recalques ao corpo ferroviário; e
- b) Determinação de índices físicos, resistência não drenada ao cisalhamento, compressibilidade e permeabilidade dos extratos, objetivando as análises de estabilidade, cálculo de recalque e sua evolução ao longo do tempo.

A norma DNIT 381/2022 – PRO pode ser consultada quanto aos procedimentos a serem adotados em projetos de aterros sobre solos moles.

O projeto básico de aterros sobre solos moles deve ser composto por investigação geotécnica nas regiões de aterro, para cada unidade geológica presente ao longo do segmento, buscando a caracterização geotécnica das litologias existentes.

Devem ser executadas sondagens à percussão em número suficiente para o conhecimento da natureza, espessura, volume do material e sua capacidade de suporte. O número de sondagens deve ser definido em função da heterogeneidade da ocorrência. Quanto maior a heterogeneidade, maior deve ser o número de sondagens, sendo no mínimo 3 furos para cada trecho de solos moles. O espaçamento entre sondagens deve ser de no máximo de 100 m. Também podem ser feitas sondagens indiretas geofísicas de superfície ao longo da região para complementar os estudos.

Caso seja detectada camada de solos moles compressíveis, deve-se verificar se a substituição total desta camada é viável (até no máximo 5 m de profundidade). Caso não seja viável, deve-se executar investigações complementares e ensaios especiais, visando à obtenção de parâmetros de resistência e deformabilidade dos solos moles.

Na verificação da fundação dos aterros e em obras de arte correntes, devem ser consideradas as inúmeras sondagens de simples reconhecimento executadas. Deve ser dada atenção aos materiais arenosos com $N_{SPT} \leq 4$ e aos materiais argilosos com $N_{SPT} \leq 5$ que, de acordo com a ABNT NBR 6484, são considerados de baixa capacidade e baixa consistência. Nestes pontos, devem ser realizados cálculos de solitação e o resultado deve ser comparado com a capacidade de suporte.

Os procedimentos de investigação, complementares ao SPT, podem ser feitos por penetrômetro dinâmico leve (DPL), penetrômetro dinâmico médio (DPM), penetrômetro dinâmico pesado (DPH), penetrômetro dinâmico superpesado (DPSH), cone de penetração dinâmica (DCP) e ensaio de piezocone (CPTU).

Os segmentos onde forem encontradas regiões alagadiças, pantanosas, brejosas, com presença de matéria orgânica, solos de coloração escura e vegetação típica, como a “*mauritia flexuosa*” (buriti), devem ser considerados como as principais áreas-alvo de análises, com a concentração de um maior número de SP, podendo ser complementado por ensaios de DPL, DPM, DPH, DPSH, DCP e CPTU, permitindo a verificação da presença de solos de baixa capacidade de suporte.

Além das SP, devem ser realizados ensaios adequados para investigação de baixada, sendo DPSH, DPH, DPM, DPL, DCP, CPTU, Palheta, dentre outros, que em conjunto, permitem a caracterização, espacialização, dimensionamento e análise do material, bem como a elaboração de cálculos de adensamento e estimativas de recalques imediatos e secundários.

No projeto básico, devem ser feitas as seguintes análises e considerações:

- a) Interpretação dos resultados de ensaios e definição de parâmetros para análises;
- b) Obtenção da resistência e deformabilidade dos solos moles;
- c) Verificação da estabilidade global;
- d) Verificação de recalques por adensamento primário;
- e) Escolha da solução para estabilização;
- f) Definição do tratamento;
- g) Detalhamento da solução de estabilização;
- h) Elaboração do método construtivo; e
- i) Elaboração do plano de instrumentação para acompanhamento e liberação das etapas do método construtivo.

As sondagens a percussão devem, além de atravessar toda camada de solo compressível, alcançar o solo residual com resistência mínima SPT de 15 golpes para penetração de 30 cm (N_{SPT}), em pelo menos 3 m consecutivos.

Devem ser realizadas, para os aterros altos, investigações transversais ao eixo, visando completar a análise de estabilidade.

Quando a solução de remoção total da camada mole não for viável, deve ser estabelecida a retirada de amostras indeformadas (SHELBY) para ensaios, além de determinar a resistência ao cisalhamento *in situ*.

Nesses casos, para cada extrato compressível, que constitui o depósito sedimentar, devem ser realizados os seguintes ensaios:

- a) Ensaio de palheta *in situ* - Vane test (ABNT NBR 10905); e
- b) Ensaio de piezocone - CPTU (ASTM D3441-16);

Em amostras indeformadas (SHELBY):

- a) Massa específica aparente em laboratório ou *in situ* (ABNT NBR 16867 ou ABNT NBR 7185);

- b) Teor de umidade natural (ABNT NBR 16097);
- c) Análise granulométrica por peneiramento e por sedimentação (ABNT NBR 7181);
- d) Limite de liquidez (ABNT NBR 6459);
- e) Limite de plasticidade (ABNT NBR 7180);
- f) Adensamento (ABNT NBR 16853);
- g) Cisalhamento direto (ASTM D3080-04); e
- h) Triaxial consolidado, não drenado, com medida de poropressão, se necessário (ASTM D4767-11).

5.4.3.2 Aterros sobre terrenos íngremes

Nas áreas onde os aterros forem executados sobre solos íngremes e que, em função da altura do aterro e inclinação do terreno, a estabilidade da estrutura possa ficar comprometida, devem ser realizados estudos para verificação da segurança. No caso de detecção de possibilidade de instabilidade, devem ser propostas soluções na forma de métodos construtivos que visem o equilíbrio da estrutura.

Dessas investigações, devem ser obtidas as seguintes informações:

- a) Identificação espacial dos diversos extratos intervenientes na estabilidade global do conjunto encosta/terrapleno;
- b) Definição do regime hídrico subsuperficial da encosta e elaboração de projetos de drenagem condizentes;
- c) Delimitação de zonas críticas onde a encosta natural apresenta indícios de instabilidade;
- d) Determinação da resistência ao cisalhamento dos diversos extratos acima mencionados; e
- e) Determinação do contato solo/rocha.

Sempre que indicado pelos estudos geológicos, devem ser executadas investigações com sondagem a percussão, a trado e/ou poço de inspeção. O emprego de sondagens mistas pode ser feito para melhor caracterização das diversas camadas de solo e contato solo-rocha.

Se necessário, devem ser estabelecidas seções geológicas transversais.

Se pertinentes, devem ser retiradas amostras indeformadas de camadas representativas ou das que se apresentem mais críticas no tocante à estabilidade do conjunto aterro-encosta.

Nestas amostras indeformadas, devem ser realizados ensaios de cisalhamento direto rápido pré-adensado (ASTM D3080-04) para caracterizar a resistência ao cisalhamento, além dos de caracterização completa.

5.4.3.3 Aterros sobre terrenos pouco acidentados e de capacidade de suporte indefinida

Dessas investigações, deve ser obtida avaliação das resistências ao cisalhamento dos diversos extratos existentes na fundação.

Devem ser efetuadas investigações através de sondagem a trado ou poços de inspeção, com retirada de amostras deformadas.

No caso de justificada dúvida com relação à capacidade de suporte do terreno, deve ser realizada sondagem a percussão.

A sondagem a percussão deve ser paralisada quando atingir solo com resistência mínima SPT de 15 golpes para penetração de 30 cm (N_{SPT}), em pelo menos 3 m consecutivos.

5.4.4 Investigações para materiais naturais de construção

O mapeamento preliminar das ocorrências ao longo do eixo permite um estudo prévio das condições econômicas do uso destas ocorrências, escolhendo aquelas que resultem num menor momento de transporte para os materiais a serem utilizados. Este estudo econômico deve proceder a programação de estudos geotécnicos, eliminando, quando possível, o estudo das jazidas que resultem em custos de transportes mais elevados.

Recomenda-se para tais estudos, além das informações do estudo geológico e do anteprojeto de estudos geotécnicos, o uso do banco de dados do Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE), da Agência Nacional de Mineração (DNPM), a fim de verificar os processos minerários cadastrados na região.

No mapeamento das ocorrências de materiais naturais aproveitáveis para construção de aterro, sublastro, lastro, agregados, filtros e colchões drenantes, devem ser utilizadas malhas básicas com 160 m de lado, no máximo.

Em um total de 5 vértices a 12 vértices destas malhas, os quais a fiscalização julgue representativos, devem ser executados furos de sondagem na periferia e na parte central da área, convenientemente localizados até a profundidade necessária ou compatível com os métodos de extração adotados.

O número de furos de sondagem deve ser aumentado em casos de solos muito heterogêneos e em áreas muito extensas. Nestes casos, devem ser realizados furos em número suficiente para bem caracterizar o material em estudo.

Deve ser feito um croqui da amarração dos furos de sondagem, anotando as distâncias aproximadas entre os mesmos e a posição da ocorrência, em relação à ferrovia.

Somente devem ser utilizados materiais de empréstimos caso o material dos cortes executados não tenha características compatíveis para uso nos aterros ou sua quantidade seja insuficiente. No entanto, todo

o volume de material de corte de boa qualidade deve ser utilizado para os aterros, efetuando-se apenas o estudo de empréstimos para o volume necessário a ser complementado.

5.4.4.1 Material terroso para construção de corpos de aterro

Sempre que possível e economicamente indicado, estes empréstimos devem resultar do alargamento

e/ou suavização dos taludes dos cortes projetados.

As sondagens das áreas de empréstimo devem ser amarradas entre si e determinada sua distância até a ferrovia, a fim de ter ideia das dimensões da ocorrência e das distâncias de transporte envolvidas.

Os furos devem ser locados de acordo com uma malha básica, estimada em 160 m de lado no máximo.

Os furos de sondagem devem atingir o N.A. ou o impenetrável ao equipamento manual de exploração, visto que, aberto um empréstimo, em geral convém economicamente aprofundar sua exploração tanto quanto possível, desde que tal fato não implique em interferências com a drenagem natural da região.

Em todas as sondagens realizadas, devem ser coletadas amostras deformadas de cada horizonte de material.

As amostras colhidas devem ser submetidas aos seguintes ensaios de caracterização, de acordo com a classificação que melhor se adequa à região (Classificação MCT ou Classificação AASHTO), sendo:

a) Classificação da AASHTO:

- Análise granulométrica por peneiramento e sedimentação (ABNT NBR 7181);
- Limite de liquidez (ABNT NBR 6459);
- Limite de plasticidade (ABNT NBR 7180); e
- Equivalente de areia (ABNT NBR 12052).

b) Classificação MCT:

- Perda de massa por imersão (DNER-ME 256/94); e
- MiniMCV (DNER-ME 258/94).

c) Após a caracterização, devem ser realizados os seguintes ensaios:

- Compactação (ABNT NBR 7182);
- Índice de Suporte Califórnia – ISC (ABNT NBR 9895);
- Expansão (ABNT NBR 9895);
- Módulo de resiliência (para projetos dimensionados por análise mecanicista) (DNIT 134/2018-ME); e
- Deformação permanente (para projetos dimensionados por análise mecanicista) (DNIT 179/2018-IE).

Em projetos dimensionados por análise mecanicista, deve ser realizado no mínimo um ensaio de deformação permanente por segmento homogêneo. Os segmentos homogêneos devem ser definidos através do coeficiente de variação máximo de 20% ($CV = \sigma/X$) considerando a média obtida nos 18 pares de tensão em cada ensaio de módulo de resiliência.

Para dimensionamentos usando métodos empíricos, no corpo de aterros, as amostras devem apresentar ISC > 2% e expansão ≤ 4%.

Nas camadas finais de aterro, relativas aos últimos 60 cm, as amostras devem apresentar ISC > 8% e expansão < 2%.

Devem ser feitos estudos especiais para aterros com altura > 25 m, sendo:

- Para cada material e condição de compactação (por exemplo, umidade ótima ± 2%) devem ser executados ensaios especiais, objetivando identificar as variações de parâmetros de resistência e recalques do maciço; e
- Deve ser esquematizado o zoneamento dos materiais do aterro.

A investigação de furos de sondagem a trado pode ser complementada pela abertura de poços de inspeção tátil visual, para a determinação da massa específica aparente *in situ* (ABNT NBR 7185 ou DNIT 417/2019 – ME) e do teor de umidade natural do solo (ABNT NBR 16097). Estas servem para uma comparação aproximada de volumes de corte e de aterro compactados.

5.4.4.2 Material para sublastro

Os materiais a serem empregados no sublastro podem ser obtidos "in natura" (lateritas, cascalhos, solos arenosos etc.), ou pela mistura de dois ou mais materiais em usina ou na pista.

As amostras colhidas para estudos de materiais para sublastro devem ser submetidas aos ensaios de caracterização dos solos, de acordo com a classificação que melhor se adequa à região (Classificação MCT ou Classificação AASHTO), sendo:

a) Classificação da AASHTO:

- Análise granulométrica por peneiramento e sedimentação (ABNT NBR 7181);
- Limite de liquidez (ABNT NBR 6459);
- Limite de plasticidade (ABNT NBR 7180); e
- Equivalente de areia (ABNT NBR 12052).

b) Classificação MCT:

- Perda de massa por imersão (DNER-ME 256/94); e
- MiniMCV (DNER-ME 258/94).

c) Após a caracterização, devem ser realizados os seguintes ensaios:

- Compactação (ABNT NBR 7182);
- Índice de Suporte Califórnia – ISC (ABNT NBR 9895);
- Expansão (ABNT NBR 9895);
- Módulo de resiliência (para projetos dimensionados por análise mecanicista) (DNIT 134/2018-ME);

e

- Deformação permanente (para projetos dimensionados por análise mecanicista) (DNIT 179/2018-IE).

Em projetos dimensionados por análise mecanicista, deve ser realizado no mínimo um ensaio de deformação permanente por segmento homogêneo. Os segmentos homogêneos devem ser definidos através do coeficiente de variação máximo de 20% ($CV = \sigma/X$) considerando a média obtida nos 18 pares de tensão em cada ensaio de módulo de resiliência.

Quando a classificação MCT for utilizada, o solo identificado deve ser de comportamento laterítico (LA, LA' e LG').

Ao realizar o dimensionamento por análise mecanicista, o projetista deve avaliar os resultados obtidos nos ensaios de módulo de resiliência e deformação permanente, bem como a sensibilidade dos mesmos em relação à variação de umidade, devendo informar essa situação em projeto.

Para dimensionamentos usando métodos empíricos, o produto resultante deve ter sempre as seguintes características:

- a) Granulometria de acordo com uma das faixas (A, B, C, D, E ou F) da AASHO, determinadas conforme o método ABNT NBR 7181;
- b) Capacidade de suporte medida pelo ensaio de Índice de Suporte Califórnia - ISC, com energia de compactação intermediária, definida conforme a ABNT NBR 9895. O ISC mínimo admissível de projeto deve ser de 20%;
- c) Agregado retido na peneira nº 10 constituído de partículas duras e duráveis, isentas de fragmentos moles, alongados ou achatados, de matéria vegetal ou outra substância prejudicial;
- d) Porcentagem de material que passa na peneira nº 200 (0,074) igual ou inferior a 2/3 da porcentagem que passa na peneira nº 40 (0,42mm);
- e) Fração que passa na peneira nº 40 apresentando limite de liquidez (LL) inferior ou igual a 25% e índice de plasticidade (IP) inferior ou igual a 6%;
- f) Expansão máxima de 1,0%; e
- g) Índice de grupo (IG) igual a zero.

Os solos de comportamento laterítico, classificados conforme a Classificação MCT e a DNER-CLA 259/96 devem apresentar relação molecular sílica-sesquióxido (DNER-ME 030/94) menor ou igual a 2 ou, quando necessário, análise petrográfica (ABNT NBR 7389), que permita comprovar a qualidade das concreções.

Os resultados de todos os ensaios devem atender às especificações técnicas pertinentes ao sublastro.

5.4.4.3 Materiais pétreos para lastro, agregado, filtros e colchões drenantes

Uma primeira indicação e definição de pedreiras potenciais deve decorrer do reconhecimento geológico e da descrição da litologia, da estimativa da cubagem de volumes (áreas e espessuras) da formação e da apreciação de primeiro grau de aproximação dos fatores condicionantes da exploração.

A escolha da jazida de material pétreo para lastro deve atender à ABNT NBR 5564.

Para o caso de material pétreo para agregados de concreto, deve ser realizado o que prescreve a ABNT NBR 7211. Também deve ser realizada análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto (ABNT NBR 15577-3), em no mínimo seis amostras por tipo litológico de ocorrência pétreo.

O estudo de jazida de material pétreo, exclusivamente, para uso em drenagem e enrocamentos deve atender às condições e caracterizações descritas a seguir:

- a) Sempre que possível, estar dentro do lote de projeto;
- b) Determinar a espessura e qualidade do expurgo (classificação tátil visual e indicações de consistência) para previsão dos equipamentos e processos construtivos de sua remoção;
- c) Verificar o nível do lençol freático;
- d) Determinar a espessura e a qualidade do depósito; e
- e) Apresentar características físicas e mecânicas adequadas para estas utilizações, como serem materiais de origem ígnea ou metamórfica, limpos, livres de alteração, de fissuramento, de xistosidade expressiva, ou de qualquer característica litológica que altere a sua resistência ou durabilidade.

5.4.4.4 Materiais arenosos para agregado, filtro e colchão drenante

No caso de materiais arenosos, devem ser lançadas sobre a jazida, malhas básicas quadrangulares, estimadas com 160 m de lado, no máximo. Para efeito de cubagem, devem ser feitas sondagens nos vértices destas malhas e coletadas amostras do depósito de metro em metro.

As sondagens devem ser amarradas entre si e determinada a distância da jazida à ferrovia, a fim de se ter ideia das dimensões da ocorrência e das distâncias de transporte envolvidas.

As amostras coletadas dos vértices das malhas básicas devem ser misturadas, formando a amostra representativa do depósito, para a qual estão previstos os seguintes ensaios:

- a) Análise granulométrica (ABNT NBR 17054);
- b) Teor de argila em torrões (ABNT NBR 7218);
- c) Equivalente de areia (ABNT NBR 12052);
- d) Teor de material pulverulento (ABNT NBR 16973); e
- e) Teor de matéria orgânica (ABNT NBR NM 49).

No caso de depósitos granulometricamente heterogêneos, como exemplo nas pilhas coletadas de areais de dragagem de leitos de rios, devem ser coletadas amostras representativas de cada área

característica.

5.4.5 Investigações para obras de arte especiais

O plano de sondagem deve ser feito, em função do comprimento da obra e do número de apoios. Primeiramente, deve-se proceder a uma análise visual *in loco*, a fim de defini-lo, em caráter provisório, porém o mais próximo da realidade técnica.

No que diz respeito às avaliações e considerações geotécnicas para determinação do tipo de fundação, os seguintes pontos devem ser considerados:

- a) Características do subsolo: Tipo de solo, inexistência de solos colapsíveis ou expansivos por baixo das fundações, índice de resistência à penetração (N_{SPT}), nível d'água e determinação de sua tensão admissível;
- b) Grandeza das cargas a serem transmitidas às fundações e a determinação da cota de assentamento das bases dos tubulões ou comprimento previsto para as estacas;
- c) Existência de redes de interferências;
- d) Limitação executiva do equipamento para diversos tipos de fundações; e
- e) Análise de estabilidade dos taludes nos encontros de pontes onde ocorrem camadas de baixa capacidade de suporte e análise de ocorrência de esforços adicionais na fundação, sendo: verticais devido ao atrito negativo por recalque do aterro; horizontais devido ao empuxo lateral por movimentação das camadas instáveis; efeito Tschebotarioff; cálculo de esforços e deslocamentos no topo da estaca devido a força horizontal e; momentos aplicados.

Devem constar, nestes estudos, recomendações quanto à sequência construtiva, inclusive sobre a não execução das fundações dos encontros antes do alteamento dos aterros de encabeçamento.

Deve-se apresentar toda memória de cálculo reportando os modelos e origens dos parâmetros utilizados, além da bibliografia consultada. O dimensionamento geotécnico das fundações profundas deve ser feito utilizando as metodologias apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 — Metodologias para dimensionamento geotécnico das fundações profundas

Tipo de fundação	Métodos indicados ⁽¹⁾	
Estaca-raiz	Aoki e Velloso modificado por Monteiro (1997)	FUNDESP
Estaca escavada ⁽²⁾	Aoki e Velloso modificado por Monteiro (1997)	DANZIGER (1982)

⁽¹⁾ No caso de solos homogêneos (areia ou argila), indica-se a utilização do método de Décourt e Quaresma (1978) na análise de capacidade de carga das estacas (exceto para o caso de estaca-raiz).

⁽²⁾ A utilização de estaca escavada somente será autorizada no caso de impossibilidade de execução de outro tipo de fundação.

Caso a projetista deseje empregar outro método, este deve ser aprovado pela INFRA S.A..

Os materiais decorrentes das escavações de fundações profundas devem ser classificados, para efeito de projeto e quantificação de volumes de escavação, de acordo com 5.4.1, que trata das investigações em áreas de corte.

Na fase de projeto básico, as sondagens têm por objetivo a perfeita caracterização do perfil geológico do terreno onde serão executados os apoios da estrutura e a definição das taxas de resistência do solo para estabelecimento do tipo e das cotas de fundação.

Assim sendo, devem ser executados no mínimo um furo de sondagem a percussão ou mista a cada 100 m, de acordo com a extensão da OAE e com a heterogeneidade da geologia local. Quanto maior a heterogeneidade, maior deve ser o número de sondagens, sendo no mínimo dois furos por OAE. Quando for verificada uma variação das camadas de solo, devem ser feitas sondagens de confirmação, a fim de dar confiabilidade ao perfil geológico.

O limite máximo de profundidade deve ser quando o terreno se apresentar, com resistência maior ou igual a 30 golpes para penetração de 30 cm (N_{SPT}) em 10 m consecutivos ou quando ocorrer o impenetrável ao trépano de lavagem (3 ciclos consecutivos de 10 min, com penetração inferior a 5 cm em cada ciclo).

A tensão admissível dos solos deve ser determinada conforme a ABNT NBR 6122.

Para casos particulares, quando as prospecções geotécnicas indicarem a presença de material que contribua para a redução da resistência (mica, por exemplo), sugere-se a utilização da equação proposta por Teixeira & Godoy (1996):

$$\sigma_a = 0,02 \times N_{SPT} \quad \sigma_a \text{ em MPa}$$

Tal correlação é válida para qualquer solo natural no intervalo $5 \leq N_{SPT} \leq 20$, sendo a tensão admissível máxima limitada em 0,40 MPa.

Para análise de recalques por adensamento primário deve ser utilizada a teoria do adensamento de Terzaghi com parâmetros geotécnicos constantes de bibliografias obtidos a partir de correlações com o ensaio SPT.

5.4.6 Investigações para obras de arte correntes

Em toda obra de arte corrente (OAC), no projeto básico, deve ser executado no mínimo um furo de sondagem a percussão. O plano de sondagens deve constar de sondagens a percussão em função do comprimento e do tipo da obra.

Primeiramente, deve-se proceder uma análise visual *in loco*, a fim de defini-lo, em caráter provisório, porém o mais próximo da realidade técnica.

De acordo com os resultados obtidos, cabe a fiscalização a indicação de furos complementares para melhor definição do perfil geotécnico do terreno.

A sondagem a percussão deve ser paralisada quando o furo atingir o limite de 15 m ou quando houver ocorrência de terrenos com resistência maior ou igual a 30 golpes para penetração de 30 cm (N_{SPT}) em 3 m consecutivos, ou quando em qualquer profundidade for atingido o impenetrável. Neste último caso, se houver suspeita de matacão, o posicionamento do furo deve ser deslocado em 2 ou 3 metros.

5.5 Projeto executivo

Na fase de projeto executivo, os estudos geotécnicos devem ser realizados em complementação à etapa de projeto básico. Seu grau de detalhamento deve permitir a determinação dos quantitativos e o orçamento preciso dos diversos serviços, para implantação da ferrovia, bem como apresentar os detalhes e especificações que se julguem relevantes para execução das obras.

Com a finalidade de agilizar os estudos geotécnicos, todas as atividades podem ser desenvolvidas para os segmentos que já tiveram traçado otimizado pela projetista e aprovado pela equipe técnica da INFRA S.A..

5.5.1 Investigações em áreas de corte

Nas áreas de corte, os números mínimos de furos de sondagem devem atender aos seguintes critérios em relação à sua extensão:

- a) Cortes de até 120 m de comprimento: um furo;
- b) Cortes entre 120 e 200 m de comprimento: dois furos;
- c) Cortes entre 200 e 300 m de comprimento: três furos;
- d) Cortes entre 300 e 400 m de comprimento: quatro furos; e
- e) Cortes acima de 400 m de comprimento: um furo a cada 150 m.

Nos trechos onde o greide acompanha o terreno natural, o espaçamento máximo entre os furos de sondagem deve ser de 200 m.

Além das sondagens no eixo da ferrovia, também devem ser realizadas sondagens adicionais nas laterais de encostas íngremes e na crista dos taludes, em cortes executados em encostas naturais.

Na sondagem a percussão, caso seja identificada a presença de material impenetrável a pequena profundidade ($\leq 3,00\text{m}$), o furo deve ser deslocado de alguns metros e a sondagem reiniciada.

Caso seja constatada impenetrabilidade ao ST, PI ou SP (mesmo com a utilização de lavagem por tempo), antes da profundidade programada, deve ser empregado o método rotativo até a profundidade de 1,5 m abaixo do greide de terraplenagem ou até que se obtenha recuperação igual ou superior a 90% em 5,0 m consecutivos, possibilitando assim a correta verificação das dimensões dos blocos, matacões e pedras de mão presentes no maciço, de modo a classificar adequadamente a escavabilidade. Para assegurar uma boa recuperação dos testemunhos rochosos, devem ser utilizados amostradores de parede dupla.

Em cortes mais altos e/ou mais extensos, recomenda-se a coleta de amostras indeformadas, para caracterização e estimativa dos parâmetros de resistência.

As amostras de sondagem a percussão e rotativas devem ter sua classificação realizada por profissional engenheiro ou geólogo com anotação de responsabilidade técnica.

Nos cortes em que se prevê sua utilização como áreas de empréstimo de alargamento de corte, devem ser programadas sondagens adicionais (à direita ou à esquerda do eixo) e/ou poço de inspeção.

As amostras de rocha das sondagens mista e/ou rotativa devem ser classificadas macroscopicamente,

por profissional qualificado. Na sua classificação, devem ser considerados:

- a) Grau de alteração;
- b) Grau de coerência;
- c) Grau de fraturamento;
- d) Recuperação por manobra;
- e) RQD (Rocky Quality Designation);
- f) Classificação das descontinuidades (contato entre camadas, junta de alívio de tensão, acamamento, foliação, falha geológica etc.);
- g) Tipo de contato da descontinuidade (aberta ou fechada);
- h) Rugosidade das paredes das descontinuidades (lisa, rugosa ou ondulada);
- i) Material de preenchimento das descontinuidades (solo argiloso, fragmentos de rocha etc.);
- j) Alterações das paredes das descontinuidades (sã, alterada, oxidada etc.), e
- k) Inclinação das descontinuidades (horizontal, sub-horizontal, inclinada, sub vertical ou vertical).

Caso a sondagem seja utilizada para a classificação de maciço rochoso para o estudo de estabilidade de taludes ou túneis, devem ser realizadas classificações geomecânicas. Entre as várias classificações geomecânicas, referencia-se as de Bieniawski (RMR) e Barton (Sistema Q).

Caso não haja amostragem obtida por sondagens, mas sejam identificáveis os traços das descontinuidades em afloramentos rochosos ou em escavações, o valor do RQD pode ser estimado recorrendo à relação proposta por Palmström (1982):

$$RQD = 115 - 3,3 J_v$$

Onde J_v representa o índice volumétrico (somatório do número de descontinuidades por unidade de comprimento, para o conjunto das famílias).

O objetivo destas classificações consiste também em sistematizar o conjunto de elementos geotécnicos necessários para caracterizar um determinado maciço rochoso.

Na eventualidade de se prever a utilização dos cortes em rocha para o fornecimento de material pétreo, os ensaios devem ser programados conforme as orientações apresentadas para estudo daqueles materiais, em 5.4.4.3.

Em todas as sondagens e/ou poços de inspeção realizados, devem ser coletadas amostras deformadas dos horizontes de materiais diversos e estas amostras devem ser submetidas aos ensaios mencionados em 5.4.1.

Em projetos dimensionados por análise mecanicista, o ensaio de deformação permanente deve ser realizado em 10% do número de amostras utilizadas nos segmentos homogêneos para ensaios de módulo de resiliência, sendo no mínimo três amostras. Os segmentos homogêneos devem ser definidos através do coeficiente de variação máximo de 20% ($CV = \sigma/X$) considerando a média obtida nos 18 pares de tensão em cada ensaio de módulo de resiliência.

Em todos os cortes, deve ser obtida a massa específica aparente *in situ* (ABNT NBR 7185 ou DNIT 417/2019 – ME) e o teor de umidade natural do solo (ABNT NBR 16097), quando da execução de poços de inspeção. No caso das sondagens a trado, os ensaios *in situ* devem ser realizados apenas no horizonte mais superficial. Estes dados devem ser utilizados na determinação do fator de homogeneização do solo, necessário para o estudo de compensação entre corte e aterro, em cada segmento que apresente características geotécnicas semelhantes.

No caso de sondagens a percussão e mista, na determinação do fator de homogeneização para materiais classificados como de 2ª categoria (conforme 5.5.1.1), podem ser aplicadas correlações qualitativas com a compacidade ou consistência das litologias atravessadas, como por exemplo, com a densidade relativa (D_r), considerando a influência da profundidade; com a compacidade para solos granulares e consolidação para solos coesivos; com o ângulo de atrito em solos granulares (ϕ); e com o índice de compacidade (I_D). Sugere-se para tal os estudos de Skempton (1986), Mayne et al. (2002) e Schnaid e Odebrecht (2012).

Em cortes nos quais a expansão for $> 2\%$ na cota do greide de terraplenagem, deve ser indicada no projeto, a substituição de 60 cm de camada abaixo deste greide, por material que atenda a expansão $< 2\%$.

Para dimensionamentos usando métodos empíricos, caso o ISC do subleito seja $< 8\%$, a espessura a ser substituída da camada final de terraplenagem (CFT) deve estar de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 — Espessura da camada final de terraplenagem de acordo com o ISC do subleito

Valor do ISC (%)	< 2	$2 < \text{ISC} < 4$	$4 < \text{ISC} < 8$
Espessura da CFT (cm)	60	40	20

A investigação de furos a trado pode ser complementada pela abertura de poços de inspeção, desde que a sondagem alcance pequena profundidade, indicando um provável veio de material granular. A abertura do poço permitirá, além da inspeção tátil visual, a determinação da massa específica aparente *in situ* (ABNT NBR 7185 ou DNIT 417/2019 – ME) e o teor de umidade natural do solo (ABNT NBR 16097). Estas servem para determinar o fator de homogeneização, comparando os volumes de corte e de aterro compactado. Estes poços devem ser locados também objetivando a verificação de pontos de passagem de corte/aterro e para coleta de amostras indeformadas.

Para aterros com altura $> 25\text{m}$, deve ser verificado o item 5.4.4.1 Material terroso para construção de corpos de aterro.

Em todos os boletins de sondagem realizados nos cortes e nos trechos onde o greide acompanha o terreno natural, deve ser indicado se foi constatada a presença de água até a profundidade sondada, ou seja, até 1,5 m abaixo do greide de terraplenagem. Em todos os furos, devem ser coletadas amostras para a determinação do teor de umidade natural do solo.

Quando da insuficiência de dados oriundos dos resultados das sondagens diretas ou da heterogeneidade do material, deve ser programada a aplicação de sondagens indiretas geofísicas por eletrorresistividade e/ou por sísmica de refração para obtenção de informações sobre a transição solo-

rocha, profundidade do nível d'água e morfologia do topo do substrato rochoso, em duas áreas com características geológicas distintas, para avaliar a sua eficiência na obtenção de atributos do meio físico e para coleta de dados de caracterização e de critérios de escavabilidade.

Para aplicação da eletrorresistividade, devem ser utilizadas as técnicas de caminhamento elétrico (CE) e sondagem elétrica vertical (SEV) com o objetivo de identificar e caracterizar os seguintes itens:

- a) Nível d'água;
- b) Ocorrência de solo expansivo, solo de baixa capacidade de suporte e solo mole;
- c) Identificação de topo, extensão e fraturamento de rocha sã no leito e margem de rio, para a realização de pontes (OAE) e em trechos de corte ao longo do eixo da ferrovia;
- d) Caracterização geoeétrica do perfil de solo/rocha no mínimo de 25 m e no máximo de 35 m de profundidade; e
- e) Correlação do perfil geoeétrico com as sondagens diretas realizadas, com o tipo e categoria do material.

Para a aplicação da sondagem por sísmica de refração, devem ser atendidos os requisitos mínimos para sua execução e interpretação conforme a DNER-ME 045/95.

5.5.1.1 Classificação dos materiais quanto a categoria de escavabilidade

Os materiais decorrentes das escavações em áreas de corte devem ser classificados quanto à escavabilidade para efeito de projeto e quantidades de acordo com as descrições a seguir:

- a) Material de 1ª categoria: Compreendem solos em geral, residuais ou transportados, com diâmetro de partículas máximo inferior a 0,15 m, qualquer que seja o teor de umidade, escavado sem a exigência do emprego de explosivos, podendo exigir escarificação esporádica;
- b) Material de 2ª categoria: Compreende aquele com resistência ao desmonte inferior à da rocha sã (não alterada), cuja extração se processe por combinação de métodos que obriguem a utilização de maior equipamento de escarificação, constituído por um trator de esteira de potência no volante igual ou superior a 270 HP e escarificador de dimensões adequadas para operar com o trator mencionado. A extração eventualmente poderá envolver o uso de explosivos para desagregação do material ou processo manual adequado. Estão incluídos nesta classificação os blocos de rocha de volume inferior a 2 m³ e os matacões de diâmetro médio entre 0,15 m e 1,00 m, cuja extração se processe com o emprego de rompedor pneumático ou *ripper*; e
- c) Material de 3ª categoria: Compreende aquele com resistência ao desmonte equivalente ao da rocha sã (não alterada) e blocos de rocha com diâmetro médio superior a 1,00 m ou de volume igual ou superior a 2 m³, cuja extração e redução, a fim de possibilitar o carregamento, se processem com o emprego contínuo de explosivos e eventualmente desmonte a frio.

Observa-se, no entanto, a recorrência dos seguintes resultados, salvo algumas exceções, que auxiliam na classificação do material e que podem ser considerados:

- a) 1ª categoria: material perfurado com ST, PI e/ou SP, com N_{SPT} , geralmente, inferior a 35;
- b) 2ª categoria: material perfurado com SP, sendo necessário o uso de lavagem (ABNT NBR 6484) e com N_{SPT} igual ou superior a 35 em vários ensaios consecutivos, ou SR, com recuperação de no máximo 50% (com a técnica adequada e com o uso de barrilete duplo giratório em bom estado); e
- c) 3ª categoria: material impenetrável ao procedimento de lavagem da SP (ABNT NBR 6484), perfurado exclusivamente com SR e com recuperação superior a 50% (com a técnica adequada e com o uso de barrilete duplo giratório em bom estado).

Na sondagem, deve-se ter especial cuidado com a presença de blocos, matacões ou pedras de mão, que podem incorrer a uma classificação errônea da escavabilidade, por este motivo, caso seja constatada impenetrabilidade ao ST, PI ou SP (mesmo com a utilização de lavagem por tempo), antes da profundidade programada, deverá ser empregado o método rotativo, podendo assim ser classificadas adequadamente as dimensões dos blocos, matacões e pedras de mão presentes no maciço, de modo a estabelecer a classificação adequada da escavabilidade.

Para a determinação e identificação da espessura das camadas de materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias, indica-se a execução de sondagens mistas, com coleta de amostras ao longo dos segmentos de corte, incluindo os horizontes subjacentes ao greide de terraplenagem, até 1,5 m, com a finalidade de auxiliar a estimativa do volume de cada categoria de material a ser escavado.

As classificações citadas anteriormente podem ser complementadas aplicando as metodologias propostas por Franklin *et al.* (1971), Pettifer & Fookes (1994) e Tsiambaos & Saroglou (2010).

5.5.2 Investigações em áreas de taludes

No projeto executivo, as investigações geotécnicas do projeto básico devem ser complementadas, caso sejam constatadas diferenças entre as condições locais e as indicações fornecidas no projeto básico. A realização dos estudos de estabilidade dos taludes das seções críticas deve estar de acordo com a ABNT NBR 11682.

5.5.3 Investigações em áreas de aterro

No projeto executivo de aterros sobre solos moles e compressíveis, sobre terrenos íngremes e sobre terrenos pouco acidentados e de capacidade de suporte indefinida, as investigações geotécnicas do projeto básico devem ser complementadas, caso sejam constatadas diferenças entre as condições locais e as indicações fornecidas pela investigação geotécnica, de forma a esclarecer completamente divergências incertezas e para eliminar riscos.

5.5.4 Investigações para materiais naturais de construção

Os furos de sondagem devem ser locados nos vértices de uma malha básica de cerca de 40 m a 80 m de lado, para complementar os estudos realizados no projeto básico. Quanto maior a heterogeneidade do material, maior deve ser o número de sondagens. Em cada furo e para cada camada pedológica, deve ser coletada uma amostra suficiente para a realização dos ensaios citados em 5.4.4, que trata das investigações para materiais naturais de construção no projeto básico.

As sondagens da jazida devem ser amarradas entre si e a distância da jazida à ferrovia deve ser determinada, a fim de se ter ideia das dimensões da ocorrência e das distâncias de transportes envolvidas.

5.5.5 Investigações para obras de arte especiais

Deve ser executado um furo para cada encontro, e, na parte central, no mínimo um furo na linha do eixo em cada apoio. Para obras ferroviárias de um único vão, devem ser executados os furos correspondentes aos encontros. Quando for identificada heterogeneidade de materiais, devem ser feitas sondagens intermediárias, para melhor definição do perfil geotécnico do terreno.

Estas sondagens devem ser iniciadas a percussão e, quando se encontrar o impenetrável ao trépano de lavagem (3 ciclos consecutivos de 10 min, com penetração inferior a 5 cm em cada ciclo), prosseguidas com a rotativa. Toda vez que a rotativa ultrapassar o impenetrável, deve ser retomada a sondagem a percussão.

A sondagem deve ser paralisada quando o terreno apresentar resistência maior ou igual a 30 golpes para penetração de 30 cm (N_{SPT}) em 10 m consecutivos ou, quando no método rotativo, ocorrer recuperação maior que 90% em 5,0 m consecutivos.

Orienta-se a utilização de métodos teóricos através de fórmulas de capacidade de carga que visam estimar a tensão de ruptura geral do solo. O coeficiente de segurança adotado deve considerar 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. O fator de segurança adotado deve estar de acordo com a ABNT NBR 6122.

Recomenda-se a avaliação de recalques pela teoria do adensamento de Terzaghi ou por análises numéricas, utilizando parâmetros de ensaios de laboratório ou de campo específicos para os solos moles encontrados.

No caso da presença de solos compressíveis nos encontros, quando a remoção total da camada mole não se apresentar viável, deve ser retirada amostra para ensaios conforme metodologia análoga a de aterros sobre terrenos moles e compressíveis, em 5.4.3.1 é apresentado o estudo da execução de reforço ou outra solução que garanta a adequabilidade da fundação à carga aplicada.

5.5.6 Investigações para obras de arte correntes

No projeto executivo, deve ser realizado pelo menos um furo de sondagem a cada 20 m, ao longo do eixo provável da OAC, sendo no mínimo um furo.

A sondagem a percussão deve ser paralisada quando houver ocorrência de terrenos com resistência maior ou igual a 30 golpes para penetração de 30 cm (N_{SPT}) em 3 m consecutivos, ou quando em qualquer profundidade for atingido o impenetrável. Neste último caso, se houver suspeita de matacão, o posicionamento do furo deve ser deslocado em 2 m ou 3 m.

6 Apresentação

O mapa geológico e o perfil devem ser apresentados conforme o modelo que consta em A.1 do Anexo A.

Toda programação de sondagens e ensaios geotécnicos submetidos à INFRA S.A. para discussão e aprovação, devem ser representados em planta e perfil, incluindo planilha, contendo as coordenadas, o estaqueamento e deslocamento em relação ao eixo, a tipologia do estudo (corte, aterro, OAE), a profundidade e o critério de paralisação, o tipo de ensaio e demais dados necessários conforme padrão

PRO-00002

apresentado nos Anexos A.2 e A.3, para programação das investigações da faixa de implantação e obras de arte correntes e das investigações das obras de arte especiais, respectivamente.

Junto com a programação de sondagens deve ser apresentado um plano de ataque dos serviços de geotecnia, inclusive o número de frentes de serviço, atestados de calibração e manutenção dos equipamentos, a localização dos laboratórios e composição das equipes.

Para a apresentação dos boletins de campo e relatório definitivo das sondagens a trado, a percussão, rotativa e poços de inspeção devem ser seguidas as ABNT NBR 9603, ABNT NBR 6484, DNER PRO 102/97 e ABNT NBR 9604.

Os modelos de apresentação dos relatórios definitivos das sondagens são apresentados no Anexo A, sendo o Anexo A.4 o modelo de convenções para perfil geotécnico, o Anexo A.5 o modelo de boletim de sondagem a trado e poço de inspeção, o Anexo A.6 o modelo de boletim de sondagem a percussão e o Anexo A.7 o modelo de boletim de sondagem mista.

Podem ser empregados outros modelos de boletins de sondagem, desde que contenham as informações mínimas necessárias, descritas no Anexo B. Entretanto, no caso de aproveitamento de sondagens validadas pela INFRA S.A., não se faz necessária a apresentação de todos esses itens.

As ocorrências de materiais compressíveis ou moles devem ser apresentadas conforme modelo A.8 do Anexo A. Os modelos de apresentação dos mapeamentos das ocorrências, conforme A.9. O modelo de planilha resumo de investigação geotécnica do eixo, conforme A.10. O modelo de apresentação de estudos para material terroso, conforme A.11 e, o modelo de apresentação de estudos para material pétreo conforme A.12.

A Tabela 3 mostra a relação de estudos e documentos a serem apresentados nos estudos geológicos e geotécnicos divididos por volumes, com seus formatos especificados, independentemente da fase de projeto (anteprojeto, projeto básico e projeto executivo).

Tabela 3 — Estudos e documentos a serem apresentados nos estudos geológicos e geotécnicos

VOLUME	ITEM	DESCRIÇÃO E SUBDIVISÃO	FORMATO
Relatório (Estudos geológicos/geotécnicos) - Parte integrante do Volume 1	Estudos geológicos	Características geomorfológicas da região e da faixa de implantação (com mapa)	A4
		Características geológicas da região e da faixa de implantação (com mapa)	
		Características pedológicas da região e da faixa de implantação (com mapa)	
		Conclusões	
	Relatório de características geotécnicas preliminares	Características geotécnicas preliminares da faixa de implantação (incluindo detalhamento dos locais com solos de baixa capacidade de suporte, dos processos erosivos e dos afloramentos rochosos)	A4
		Características geotécnicas preliminares e localização dos possíveis empréstimos	
		Características geotécnicas preliminares e localização das possíveis ocorrências de sublastro	
		Características geotécnicas preliminares e localização dos possíveis areais	
		Características geotécnicas preliminares e localização das possíveis pedreiras	
	Planejamento de investigações e ensaios	Descrição das investigações geotécnicas e ensaios a serem realizados	A4
		Plano de sondagens (Programação de estudos geotécnicos de campo)	
	Investigações do eixo de implantação	Quadro-resumo de sondagens e ensaios do subleito	A4
		Caracterização do subleito e determinação dos segmentos homogêneos	
	Estudo das ocorrências dos materiais naturais para construção	Descrição da localização, características e das investigações realizadas nos empréstimos	A4
		Descrição da localização, características e das investigações realizadas nas ocorrências de sublastro	
		Descrição da localização, características e das investigações realizadas nos areais	
		Descrição da localização, características e das investigações realizadas nas pedreiras	
		Linear de ocorrências em A4	
	Estudos de estabilidade de taludes de cortes	Identificação dos cortes a serem estudados, das respectivas seções críticas e das parametrizações dos horizontes de materiais presentes	A4
		Metodologias utilizadas para os maciços terrosos, rochosos e mistos	
		Análises de estabilidade (memórias de cálculos)	
		Definições das geometrias dos taludes e dos dispositivos de contenção (se necessário)	
	Estudos de estabilidade de taludes de aterros	Descrição dos modelos de aterros a serem estudados, das respectivas seções críticas e das parametrizações dos horizontes de materiais	A4
		Metodologias utilizadas para a análise	
		Análises de estabilidade (memórias de cálculos)	
		Definições das geometrias dos taludes e dos dispositivos de contenção (se necessário)	
	Estudos das fundação dos aterros	Estudos de fundação de aterros em locais com a presença de solos de baixa capacidade de suporte	A4
		Estudos para substituição ou tratamento de solos de baixa capacidade de suporte	
Estudos de aterros com implantação em locais com terreno natural inclinado (se necessário)			
Anexo 1 - Parte integrante	Boletins das sondagens do	Poços de inspeção	A4

VOLUME	ITEM	DESCRIÇÃO E SUBDIVISÃO	FORMATO	
do Volume 2	eixo de implantação, das obras de arte correntes e das obras de arte especiais	Sondagens a trado		
		Sondagens a percussão		
		Sondagens mistas		
		Sondagens das obras de arte especiais		
	Ensaio das amostras coletadas nas sondagens do eixo de implantação	Ensaio <i>in situ</i>	A4	
		Ensaio dos poços de inspeção		
		Ensaio das sondagens a trado		
		Quadro-resumo dos ensaios do eixo de implantação		
	Linear de ocorrências	Linear das ocorrências e empréstimos com a respectiva amarração ao eixo	A3	
	Estudo de empréstimos	Croqui do empréstimo 01	A3	
		Boletim das sondagens do empréstimo 01	A4	
		Ensaio das amostras das sondagens do empréstimo 01		
		Quadro-resumo dos ensaios do empréstimo 01		
		Croqui do empréstimo 02	A3	
		Boletim das sondagens do empréstimo 02	A4	
		Ensaio das amostras das sondagens do empréstimo 02		
		Quadro-resumo dos ensaios do empréstimo 02		
		...		
		Croqui do empréstimo "n"	A3	
		Boletim das sondagens do empréstimo "n"	A4	
		Ensaio das amostras das sondagens do empréstimo "n"		
		Quadro-resumo dos ensaios do empréstimo "n"		
		Estudo de ocorrências de sublastro (jazida)	Croqui da jazida 01	A3
			Boletim das sondagens da jazida 01	A4
			Ensaio das amostras das sondagens da jazida 01	
	Quadro-resumo dos ensaios da jazida 01			
	Croqui da jazida 02		A3	
	Boletim das sondagens da jazida 02		A4	
	Ensaio das amostras das sondagens da jazida 02			
	Quadro-resumo dos ensaios da jazida 02			
	...			
	Croqui da jazida "n"		A3	

VOLUME	ITEM	DESCRIÇÃO E SUBDIVISÃO	FORMATO		
		Boletim das sondagens da jazida "n"	A4		
		Ensaio das amostras das sondagens da jazida "n"			
		Quadro resumo dos ensaios da jazida "n"			
	Estudo de areais	Croqui do areal 01	Croqui do areal 01	A3	
			Boletim das sondagens do areal 01	A4	
			Ensaio das amostras das sondagens do areal 01		
		Quadro resumo dos ensaios do areal 01			
		Croqui do areal 02	Croqui do areal 02	A3	
			Boletim das sondagens do areal 02	A4	
			Ensaio das amostras das sondagens do areal 02		
		Quadro-resumo dos ensaios do areal 02			
		...			
		Croqui do areal "n"	Croqui do areal "n"	A3	
			Boletim das sondagens do areal "n"	A4	
			Ensaio das amostras das sondagens do areal "n"		
		Quadro resumo dos ensaios do areal "n"			
		Estudo de pedreiras	Croqui da pedreira 01	Croqui da pedreira 01	A3
				Boletim das sondagens da pedreira 01	A4
	Ensaio das amostras das sondagens da pedreira 01				
	Quadro-resumo dos ensaios da pedreira 01				
	Croqui da pedreira 02		Croqui da pedreira 02	A3	
			Boletim das sondagens da pedreira 02	A4	
			Ensaio das amostras das sondagens da pedreira 02		
			Quadro-resumo dos ensaios da pedreira 02		
	...				
	Croqui da pedreira "n"		Croqui da pedreira "n"	A3	
			Boletim das sondagens da pedreira "n"	A4	
			Ensaio das amostras das sondagens da pedreira "n"		
		Quadro-resumo dos ensaios da pedreira "n"			
	Estudo de solos de baixa capacidade de suporte	Fichas de cadastro de ocorrências de solos de baixa capacidade de suporte	A4		
Boletins de sondagens e fichas dos ensaios para caracterização dos horizontes de solos de baixa capacidade de suporte					
Perfis com a delimitação dos horizontes do solo de baixa capacidade de suporte					

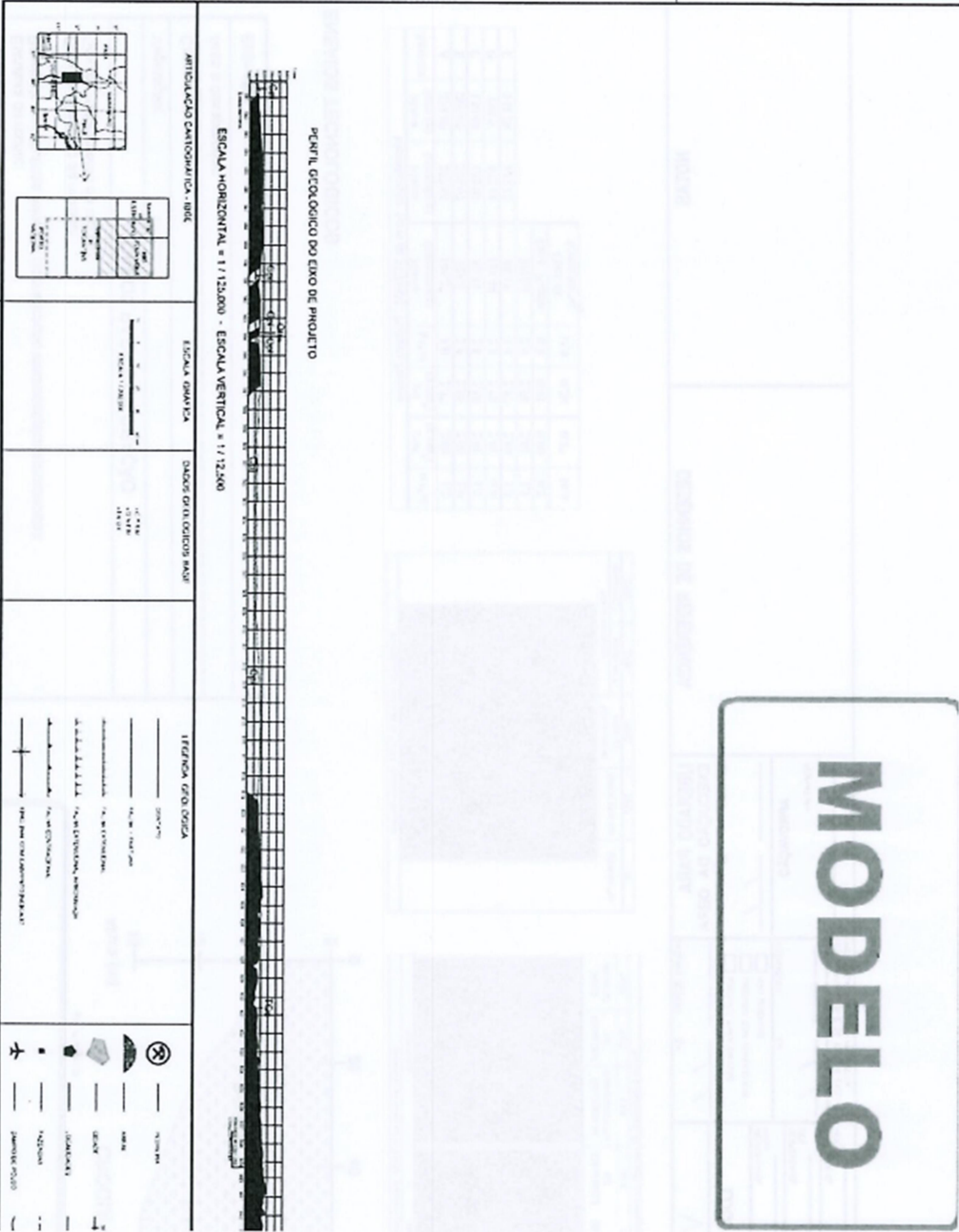
PRO-00002

VOLUME	ITEM	DESCRIÇÃO E SUBDIVISÃO	FORMATO
Desenhos - Parte integrante do Volume 3	Mapa geológico	Apresentação do mapa geológico da faixa de domínio	A1
	Perfil longitudinal	Define os horizontes de acordo com a escavabilidade (materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias de escavação)	A1
	Projeto de contenções	Apresentação dos desenhos referentes aos projetos de contenções (se houver)	A1/A3

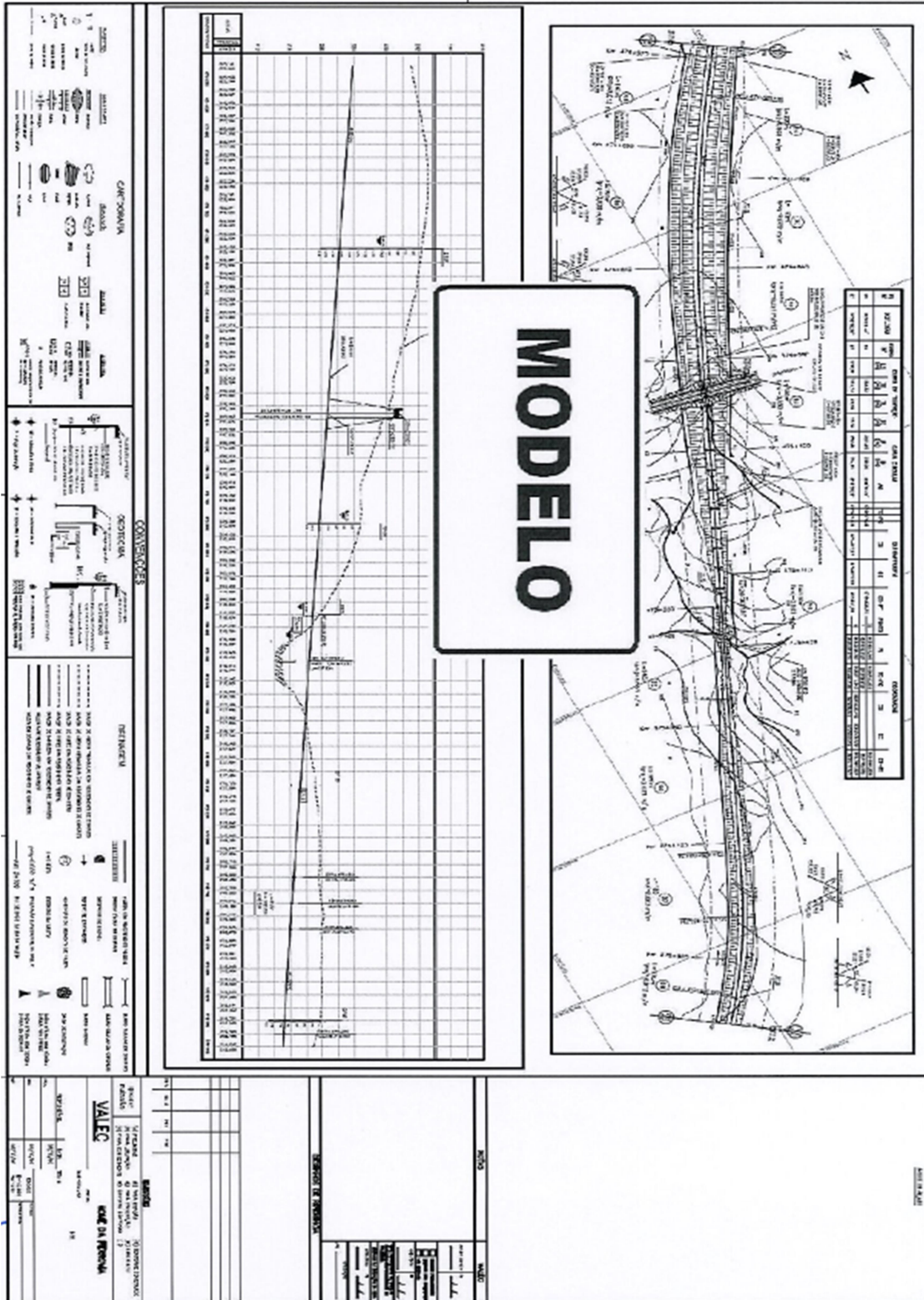
Anexo A (normativo)

Modelos de documentos para apresentação


A.1 Modelo de apresentação de mapa geológico e de perfil



A.4 Modelo de convenções para perfil geotécnico



A.5 Modelo de boletim de sondagem a trado e poço de inspeção

RELATÓRIO DE SONDAAGEM A TRADO (ST)				
INFRA S.A.		COORDENADAS: N= E=		
		FURO: ST-XXX ou PI-XXX	km: 100+100,00 (5,0 m LD)	
FERROVIA:	DATA INÍCIO:		COTA	TIP. DO ESTUDO
TRECHO:	DATA TÉRMINO:		0,000	
SUBTRECHO:	LEITURA DO NÍVEL D'ÁGUA (N.A.)			
LOTE:		DATA	HORA	PROFUNDIDADE
	INICIAL:			m
	FINAL:			m
	PROFUNDIDADE ENSAIADA:			A m
PROF. (m)	FERRAMENTA UTILIZADA	PERFIL	CLASSIFICAÇÃO EXPEDITA	N.A. (m)
0,00	CAVADEIRA		CAMADA VEGETAL	
0,20	CAVADEIRA			
1,00	ST		MODELO	
2,00	ST			
3,00			LIMITE DA SONDAAGEM = 3,00 m MOTIVO DA PARALISAÇÃO: Profundidade programada atingida.	
				2,50m 
Projetista:		R.T.:	Assinatura:	CREA:
LOGO DA EMPRESA		Fiscal:	Assinatura:	
		VALEC:	Assinatura:	

A.6 Modelo de boletim de sondagem a percussão

RELATÓRIO DE SONDAEM A PERCUSSÃO (SP)															
			Tipologia do Estudo CORTE		Nº FURO: SP-XXX		FOLHA 1/1	INÍCIO: 10/03/2014 TÉRMINO: 11/03/2014							
FERROVIA: FERROVIA NORTE SUL - EXTENSÃO SUL			km 100+100 (5,0 m LD)		COORDENADAS				FUSO -						
TRECHO:					N =				E =						
SUBTRECHO:															
LOTE:					COTA(m):										
PROFUNDIDADE COTA (m)	PIEIRIL GEOLÓGICO	PROFUNDIDADE (m)	PESO: 65 Kg ALTURA DA QUEDA: 75 cm REVESTIMENTO: Φ 2 1/2" AMOSTRADOR: Φ INTERNO: 34,9 mm Φ EXTERNO: 50,8 mm	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO "N"						R E V E S T	MET. PERF.	NÍVEL DA ÁGUA (m)			
				PENETRAÇÃO (GOLPES 30 cm)					AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI & PECK				Nº DE GOLPES		
CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS				Esc 1:1	1ª	2ª	3ª	1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40		
0,00			Solo orgânico, cor preta	1										ST + TRÉP.	0,00m
1,00			Argila siltosa, consistência mole, cor cinza	2	2	1	2	3	3					SP + TRÉP.	
2,00			Areia fina, compactade fofa, de cor cinza	3	1	1	1	2	2					SP + TRÉP.	
3,00			Argila silto arenosa com pedregulho de fino a médio, consistência rija, cor variegada	4	4	6	8	10	14					SP + TRÉP.	
3,45			Areia fina, compactade medianamente compacta, cor cinza	5	4	5	9	9	14					SP + TRÉP.	
4,45			Argila silto arenosa, consistência rija, de cor cinza	6	3	3	10	6	13					SP + TRÉP.	
6,00			Argila siltosa, consistência rija, de cor amarela	7	3	2	9	5	11					SP + TRÉP.	
7,00			Silte argiloso com presença de mica, consistência rija, de cor amarela	8	4	4	9	8	13					SP + TRÉP.	
7,45			Saprolito arenoso, oriundo de alteração de rocha granítica/gnáissica, compactade variando de compacto a muito compacto	9	6	8	17	14	25					SP + TRÉP.	
-5,00				10	9	8	17	17	25					SP + TRÉP.	
-10,00				11	12	15	17/15	27	32/25					SP + TRÉP.	
			Limite da sondagem = 10,40 m (Cota:)	12											
				13											
				14											
				15											
				16											
				17											
				18											
				19											
				20											

MODELO

N.A. encontrado à 0,00m da "boca do furo" em 12/03/2014.

PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA			LEGENDA		Avanço a trado: 0,22 m Avanço por lavagem: 10,18 m Prof. Revestimento: 10,40 m		LAVAGEM POR TEMPO (30 min)	
DATA/HORA	PROF.(m)		-----	SPT 30 cm INICIAIS		Tempo de Lavagem	Profundidade (cm)	
INICIAL: 11/03/2014	0,22		—————	SPT 30 cm FINAIS		0 a 10 min	2,3	
FINAL: 12/03/2014	0,00					10 a 20 min	3	
						20 a 30 min	4,1	
Empresa:			R.T.:		Fiscal:		VALEC	
LOGO DA EMPRESA								

A.7 Modelo de boletim de sondagem mista

RELATÓRIO DE SONDAAGEM MISTA (SM)																			
				COORDENADAS - FUSO: 23L				φ DO REVESTIMENTO: 0,00 mm BARRILHETE: Duplo Giratório φ EXT.: 00,0 mm - φ INT.: 00,0 mm											
				N=	E=			km: 100+100 (5,0 m LE)		TIPOLOGIA DO ESTUDO:		DATA INÍCIO: 23/03/2013	FOLHA						
FERROVIA: FERROVIA NORTE SUL - EXTENSÃO SUL				SM - XXX		CORTE		DATA TÉRMINO: 26/03/2013	1/1										
SUBTRECHO:				COTA: 836,520 m		ESCALA 5/N		N.A. INICIAL: 26/03/2013	13:00h										
LOTE:								N.A. FINAL: 27/03/2013	14:00h										
PROFUNDIDADE	PIR/IL GEOLÓGICO	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	Nº DE GOLPES		MÉTODO	RECUPERAÇÃO (%)	ALTERAÇÃO	FRATURAMENTO	COERÊNCIA	INCLINAÇÃO	PREENCHIMENTO	RUGOSIDADE	OXIDAÇÃO	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO	N.A. (m)				
			15e25	25e35												Nº DE GOLPES		RQD	
														--- SPT 30 cm INICIAIS — SPT 30 cm FINAIS					
			0	10	20	30	40	50						0	20	40	60	80	100
1,00m		Argila arenosa vermelha (solo residual)	30	32	ST									1,0					
		Argila arenosa, dura, vermelha (solo de alteração)	33	35	ST + SP									2,0					
3,00m					TRÉP. + SP									3,0					
		Basalto, cinza esverdeado, com geodos				92	A2	F2	C1	H	ARG.	S1	OX	4,5					
						85	A2	F2	C1	I	GRAN.	S1	OX	6,0					
7,50m						99	A1	F1	C1	SV	MISTO	S1	NÃO OX	7,5					
Limite da Sondagem: 7,50m (COTA: 464,707). Motivo da paralisação: atingiu a profundidade programada Profundidade do revestimento = 3,00 m LAVAGEM POR TEMPO 0 - 10 min: 2,0 cm 10 - 20 min: 2,5 cm 20 - 30 min: 0																			
<div style="border: 2px solid black; border-radius: 20px; padding: 10px; display: inline-block;"> <h1>MODELO</h1> </div>																			
LOGO DA EMPRESA				R.T.:				FISCAL:				VALEC:							

N.A. encontrado a 2,00m em 06/05/2013

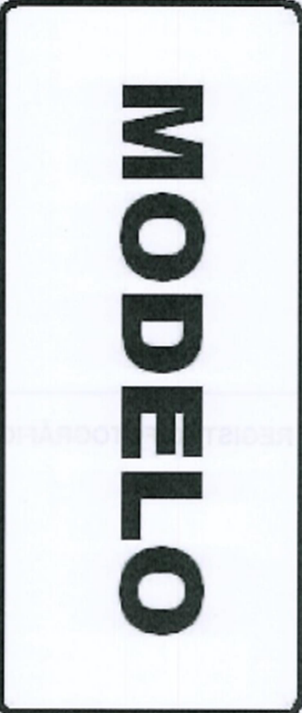
A.8 Modelo de boletim de sondagem mista

RELATÓRIO DE SONDAAGEM MISTA (SM)															
				COORDENADAS - FUSO: 23L				φ DO REVESTIMENTO: 0,00 mm BARRILHETE: Duplo Giratório φ EXT.: 00,0 mm - φ INT.: 00,0 mm							
				N=				E=				DATA INÍCIO: 23/03/2013		FOLHA	
FERROVIA: FERROVIA NORTE SUL - EXTENSÃO SUL				km: 100+100 (5,0 m LE)		TIPOLOGIA DO ESTUDO:		DATA TÉRMINO: 26/03/2013		1/1					
TRECHO:				SM - XXX		CORTE		N.A. INICIAL: 26/03/2013		13:00h					
SUBTRECHO:				COTA: 836,520 m		ESCALA S/N		N.A. FINAL: 27/03/2013		14:00h					
LOTE:															
PROFUNDIDADE	PERFIL GEOLÓGICO	CLASSIFICAÇÃO DAS CAMADAS	Nº DE GOLFES		MÉTODO	RECUPERÇÃO (%)	ALTERAÇÃO	FRATURAMENTO	COERÊNCIA	INCLINAÇÃO	PREENCHIMENTO	RUGOSIDADE	ONDULAÇÃO	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO	N.A. (m)
			19e22	22e32											
--- SPT 30 cm INICIAIS ——— SPT 30 cm FINAIS 0 10 20 30 40 50 RQD 0 20 40 60 80 100															
1,00m		Argila arenosa vermelha (solo residual)	30	32	ST									1,0	
		Argila arenosa, dura, vermelha (solo de alteração)	33	35	ST + SP									2,0	
3,00m		Basalto, cinza esverdeado, com geodos			TRÉP. + SP									3,0	
					S2	A2	F2	C1	H	ARG.	S1	OX		4,5	70%
					SR	A2	F2	C1	I	GRAN.	S1	OX		6,0	60%
					99	A1	F1	C1	SV	MISTO	S1	NÃO OX		7,5	90%
7,50m															
Limite da Sondagem: 7,50m (COTA: 464,707). Motivo da paralisação: profundidade programada atingida. Profundidade do revestimento = 3,00 m LAVAGEM POR TEMPO 0 - 10 min: 2,0 cm 10 - 20 min: 2,5 cm 20 - 30 min: 0															
<div style="border: 2px solid black; border-radius: 20px; padding: 10px; display: inline-block;"> <h1>MODELO</h1> </div>															
LOGO DA EMPRESA				R.T.:				FISCAL:				VALEC:			

N.A. encontrado a 2,00m em 06/05/2013

A.9 Modelo de planilha resumo de investigação geotécnica nas ocorrências

Logo Projetista		RESULTADOS DAS INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS REALIZADAS NAS OCORRÊNCIAS										Nº VÍDEO		FOLHA		REV			
Título:												Nº PROJETO:							
SONDAGEM	DESCRÇÃO	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA (%)					N _u (%)	ÍNDICES FÍSICOS			CLASSIFICAÇÃO			COMPACTAÇÃO AASHTO (Proctor Intermédio)		I. S. C.			
		2"	1"	3/8"	Nº 4	Nº 10		Nº 40	Nº 200	LL	LP	IP	IG	HRB	SUCS	Y _{max} (kg/cm ³)	IND (%)	C. B. R. (%)	EXP (%)
Ocorrência 01 - km 414+002																			
P1 - 01	0,00 - 0,10 Capa - Solo superficial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
P1 - 01	0,10 - 0,50 Pedregulhos de granito, de basalto, areia grossa e média, argilas, minerais	91,4	79,2	79,2	57,5	37,7	25,3	19,8	15,2	48,8%	25,9%	22,9%	0,6	A-2-7	SM	1810,00	15,0	28,6	0,40
P1 - 01	0,50 - 0,60 Argila de pouca areia fina, rosa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P1 - 02	0,00 - 0,10 Capa - Solo superficial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P1 - 02	0,10 - 0,50 Pedregulhos de basalto, granito e filão, areia grossa fina, argilas, minerais	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P1 - 02	0,50 - 0,90 Argila arenosa, amarelada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P1 - 03	0,00 - 0,10 Capa - Solo superficial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P1 - 03	0,10 - 0,40 Pedregulhos de basalto, granito e filão, areia grossa e média, minerais	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P1 - 03	0,40 - 0,60 Argila arenosa de pouca areia fina (areia média)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P1 - 04	0,00 - 0,10 Capa - Solo superficial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P1 - 04	0,10 - 0,60 Pedregulhos fino de basalto, granito, filão, areia grossa e média, minerais	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P1 - 04	0,60 - 1,00 Argila atenuada de areia fina e cinza	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P1 - 05	0,00 - 0,10 Capa - Solo superficial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P1 - 05	0,10 - 0,50 Pedregulhos de granito e basalto fino, areia grossa e média, minerais	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P1 - 05	0,50 - 0,70 Argila arenosa, amarelada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P1 - 07	0,00 - 0,10 Capa - Solo superficial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P1 - 07	0,10 - 0,50 Pedregulhos fino de basalto, granito, areia grossa e média, minerais	92,0	77,4	77,4	55,9	35,8	25,6	21,4	13,4	31,4%	17,4%	14,0%	0,3	A-2-6	SM	1870,00	13,9	42,1	0,00
P1 - 07	0,50 - 0,60 Argila arenosa, amarelada	92,0	89,0	89,0	79,4	58,8	44,0	34,5	18,0	50,8%	28,3%	22,5%	2,4	A-2-7	SM	1674,00	18,1	38,1	0,16
P1 - 08	0,00 - 0,10 Capa - Solo superficial	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P1 - 08	0,10 - 0,60 Areia grossa fina e média misturada, de pouca pedregulhos de granito e basalto, minerais	100,0	95,2	82,0	67,3	46,0	38,2	25,0	12,0	40,4%	28,2%	14,2%	0,4	A-2-7	SM	1825,00	17,5	22,0	0,00
P1 - 08	0,60 - 0,70 Argila arenosa amarelada	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



A.11 Modelo de apresentação de estudos para material terroso

Espessura média: 0,63 m Estimativa de volume: 8.000 m³ Vegetação: Arbustiva																																																																																																																																										
ENSAIOS TECNOLÓGICOS																																																																																																																																										
ESTATÍSTICO - CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS																																																																																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Analis. Geométrica</th> <th rowspan="2">I_r</th> <th rowspan="2">I_{max}</th> <th rowspan="2">K_{min}</th> <th rowspan="2">C_u (mm)</th> <th rowspan="2">C_l (%)</th> <th rowspan="2">C_u / C_l</th> <th rowspan="2">I_p</th> <th rowspan="2">I_{max}</th> <th rowspan="2">I_p / I_{max}</th> <th rowspan="2">I_p / I_{max}</th> <th rowspan="2">I_p / I_{max}</th> </tr> <tr> <th>U₂</th> <th>U₁₀</th> <th>U₃₀</th> <th>U₆₀</th> <th>U₁₀₀</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.º</td> <td>90,0</td> <td>100</td> <td>30,0</td> <td>100</td> <td>14,7</td> <td>6,8</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> </tr> <tr> <td>2.º</td> <td>80,0</td> <td>100</td> <td>30,0</td> <td>100</td> <td>14,7</td> <td>6,8</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> </tr> <tr> <td>3.º</td> <td>70,0</td> <td>100</td> <td>30,0</td> <td>100</td> <td>14,7</td> <td>6,8</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> </tr> <tr> <td>4.º</td> <td>60,0</td> <td>100</td> <td>30,0</td> <td>100</td> <td>14,7</td> <td>6,8</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> </tr> <tr> <td>5.º</td> <td>50,0</td> <td>100</td> <td>30,0</td> <td>100</td> <td>14,7</td> <td>6,8</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> </tr> <tr> <td>6.º</td> <td>40,0</td> <td>100</td> <td>30,0</td> <td>100</td> <td>14,7</td> <td>6,8</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> </tr> <tr> <td>7.º</td> <td>30,0</td> <td>100</td> <td>30,0</td> <td>100</td> <td>14,7</td> <td>6,8</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> </tr> <tr> <td>8.º</td> <td>20,0</td> <td>100</td> <td>30,0</td> <td>100</td> <td>14,7</td> <td>6,8</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> </tr> <tr> <td>9.º</td> <td>10,0</td> <td>100</td> <td>30,0</td> <td>100</td> <td>14,7</td> <td>6,8</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> </tr> <tr> <td>10.º</td> <td>0,0</td> <td>100</td> <td>30,0</td> <td>100</td> <td>14,7</td> <td>6,8</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> <td>10,0</td> </tr> </tbody> </table>	Analis. Geométrica	I _r	I _{max}	K _{min}	C _u (mm)	C _l (%)	C _u / C _l	I _p	I _{max}	I _p / I _{max}	I _p / I _{max}	I _p / I _{max}	U ₂	U ₁₀	U ₃₀	U ₆₀	U ₁₀₀	1.º	90,0	100	30,0	100	14,7	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	2.º	80,0	100	30,0	100	14,7	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	3.º	70,0	100	30,0	100	14,7	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	4.º	60,0	100	30,0	100	14,7	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	5.º	50,0	100	30,0	100	14,7	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	6.º	40,0	100	30,0	100	14,7	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	7.º	30,0	100	30,0	100	14,7	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	8.º	20,0	100	30,0	100	14,7	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	9.º	10,0	100	30,0	100	14,7	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10.º	0,0	100	30,0	100	14,7	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	
Analis. Geométrica													I _r	I _{max}	K _{min}	C _u (mm)	C _l (%)	C _u / C _l	I _p	I _{max}	I _p / I _{max}	I _p / I _{max}	I _p / I _{max}																																																																																																																			
	U ₂	U ₁₀	U ₃₀	U ₆₀	U ₁₀₀																																																																																																																																					
1.º	90,0	100	30,0	100	14,7	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0																																																																																																																															
2.º	80,0	100	30,0	100	14,7	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0																																																																																																																															
3.º	70,0	100	30,0	100	14,7	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0																																																																																																																															
4.º	60,0	100	30,0	100	14,7	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0																																																																																																																															
5.º	50,0	100	30,0	100	14,7	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0																																																																																																																															
6.º	40,0	100	30,0	100	14,7	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0																																																																																																																															
7.º	30,0	100	30,0	100	14,7	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0																																																																																																																															
8.º	20,0	100	30,0	100	14,7	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0																																																																																																																															
9.º	10,0	100	30,0	100	14,7	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0																																																																																																																															
10.º	0,0	100	30,0	100	14,7	6,8	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0																																																																																																																															
NOTAS																																																																																																																																										
DESENHOS DE REFERENCIA																																																																																																																																										
<p>LIBERADO PARA EXECUÇÃO DA OBRA</p> <p>ASSINATURA: _____</p> <p>APROVAÇÃO</p> <p>ASSINATURA: _____</p> <p>COMP. TÉCNICA - DEZ/2012 - 2013-0</p>	<p>LIBERADO PARA EXECUÇÃO DA OBRA</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Liberado para execução <input type="checkbox"/> Liberado com restrições <input type="checkbox"/> Não liberado</p> <p>ASSINATURA: _____</p> <p>COMP. TÉCNICA E DE TRAB. E CIENTÍFICA RESPONSABILIDADE DO PROJETISTA</p> <p>RESPONSÁVEL PROJ. _____</p> <p>RESPONSÁVEL EXEC. _____</p> <p>RESPONSÁVEL VER. _____</p>																																																																																																																																									
<p>CROQUI DE LOCALIZAÇÃO S/ Escala</p>																																																																																																																																										

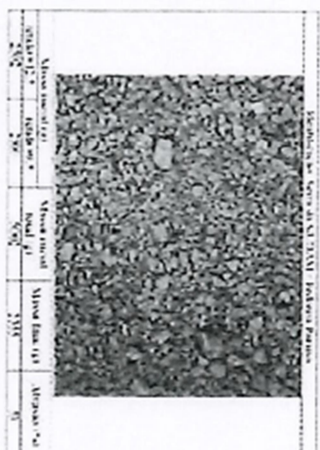
A.12 Modelo de apresentação de estudos para material pétreo

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA	
Classificação Petrográfica:	
Textura da rocha:	
Estrutura da rocha:	
Principais constituintes minerais (Identificação macroscópica aproximada):	
Grau de alteração do maciço:	
Grau de fraturamento do maciço:	
DADOS PARA EXPLORAÇÃO	
Vegetação:	
Cobertura:	
Área a desapropriar:	
Esfimativa do volume:	

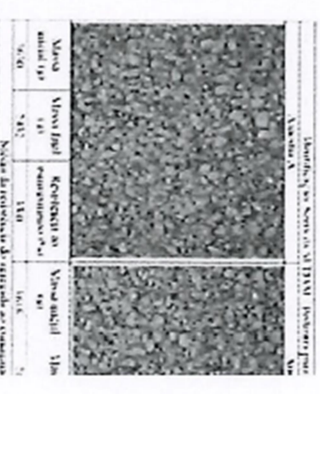
ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Amostra	Massa Seca (g)	Massa Saturada (g)	Massa Submersa (g)	η (%)	ρ (g/cm ³)	ρ_{sat} (g/cm ³)	w (%)
A	234,89	237,66	146,27	3,0	2,47	2,60	1,2
B	206,05	208,02	126,1	2,5	2,55	2,60	1,0
C	190,63	192,03	115,1	2,8	2,55	2,61	1,1
D	190,4	192,15	115,18	2,3	2,55	2,61	0,9
E	111,26	112,12	88,15	3,1	2,47	2,61	1,3

Módulo	Dens. Padrão	Coef. de Variação (%)
Módulo	2,5	2,55
Dens. Padrão	0,1	0,01
Coef. de Variação (%)	1,5,8	0,28



Seção no sentido XY (X: Horizontal, Y: Vertical)



Seção no sentido XY (X: Horizontal, Y: Vertical)

NOTAS

DESENHOS DE REFERENCIA

LIBERADO PARA EXECUÇÃO DA OBRA

Assinatura: _____

APROVAÇÃO

Assinatura: _____

APROVAÇÃO TÉCNICA

LIBERADO PARA OBRAS

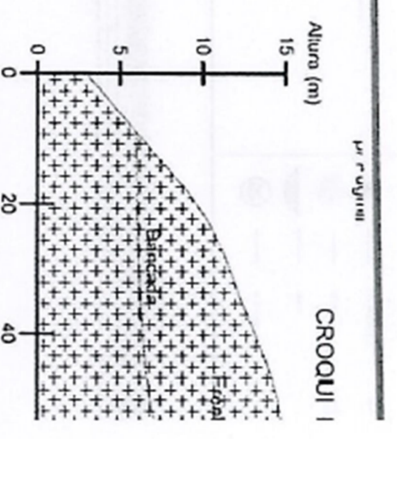
LIBERADO COM CONDIÇÕES

NÃO LIBERADO

Assinatura: _____

LOGO

Assinatura: _____



Altura (m): 0, 5, 10, 15

Distância (m): 0, 20, 40

MODEL

Anexo B (normativo)

Informações mínimas necessárias para os boletins de sondagem

B.1 Sondagem a trado (ST) e poço de inspeção (PI)

a) Cabeçalho

- Logo da Projetista;
- Logo da INFRA S.A.;
- Nome da Ferrovia;
- Título;
- Trecho;
- Subtrecho;
- Lote;
- Estaca (km);
- Posicionamento e afastamento em relação ao eixo;
- Coordenadas (UTM) com Fuso;
- Código da Sondagem;
- Cota da boca do furo;
- Tipologia do estudo (corte, empréstimo, ocorrência e etc.);
- Data de início; e
- Data de conclusão.

b) Colunas

- Profundidades;
- N.A.;
- Perfil Estratigráfico; e
- Classificação do material.

c) Observações

PRO-00002

- Datas das medições do N.A.;
- Profundidade perfurada e motivo da paralisação; e
- Tipo de trado/ferramentas utilizadas.

d) Assinatura

- Responsável Técnico com número do CREA.

B.2 Sondagem a percussão (SP)

a) Cabeçalho

- Logo da Projetista;
- Logo da INFRA S.A.;
- Nome da Ferrovia;
- Título;
- Trecho;
- Subtrecho;
- Lote;
- Estaca (km);
- Posicionamento e afastamento em relação ao eixo;
- Coordenadas (UTM) com Fuso;
- Código da Sondagem;
- Cota da boca do furo;
- Tipologia do estudo (corte, aterro, OAC e etc.);
- Data de início;
- Data de conclusão;
- Tipo e dimensões do amostrador; e
- Diâmetro do revestimento.

b) Colunas

- Profundidades;
- N.A.;
- Perfil Estratigráfico;
- Classificação do material;
- Nº de golpes (primeiros 15 cm);
- Nº de golpes (15 cm a 30 cm);
- Nº de golpes (30 cm a 45 cm);
- Gráfico indicando o Nº de golpes iniciais e os Nº de golpes finais;
- Profundidades revestidas; e
- Método de perfuração empregado (ST, trépano com lavagem, SPT).

c) Observações

- Datas das medições do N.A.;
- Profundidade perfurada e motivo da paralisação; e
- Informações sobre a lavagem (no caso de constatada a impenetrabilidade, informando os tempos de duração de cada ciclo e as profundidades atingidas).

d) Assinatura

- Responsável Técnico, com o número do CREA.

B.3 Sondagem mista (SM) ou rotativa (SR)

a) Cabeçalho

- Logo da Projetista;
- Logo da INFRA S.A.;
- Nome da Ferrovia;
- Título;
- Trecho;
- Subtrecho;
- Lote;
- Estaca (km);

PRO-00002

- Posicionamento e afastamento em relação ao eixo;
- Coordenadas (UTM) com Fuso;
- Código da Sondagem;
- Cota da boca do furo;
- Tipologia do estudo (corte, aterro, OAC etc.);
- Data de início;
- Data de conclusão;
- Inclinação do Furo;
- Tipo e dimensões do barrilete;
- Diâmetro do revestimento; e
- Método de perfuração empregado (ST, trépano com lavagem, SPT, SR).

b) Colunas

- Profundidades;
- N.A.;
- Perfil Estratigráfico;
- Classificação do material;
- N° de golpes iniciais (soma do número de golpes dos primeiros 15 cm com o número de golpes dos 15 cm aos 30 cm), quando pertinente, nos trechos em SP;
- N° de golpes finais (NSPT - soma do número de golpes dos 15 cm aos 30 cm com o número de golpes dos 30 cm aos 45 cm), quando pertinente, nos trechos em SP;
- Gráfico indicando o N° de golpes iniciais e os N° de golpes finais, quando pertinente, nos trechos em SP;
- Profundidade revestida;
- Método de perfuração empregado (ST, trépano com lavagem, SPT, SR);
- Recuperação, quando pertinente, nos trechos em SR;
- RQD, quando pertinente, nos trechos em SR;
- Grau de Alteração, quando pertinente, nos trechos em SR;

- Grau de Coerência, quando pertinente, nos trechos em SR;
- Grau de Fraturamento, quando pertinente, nos trechos em SR;
- Inclinação das descontinuidades, quando pertinente, nos trechos em SR;
- Material de preenchimento, quando pertinente, nos trechos em SR;
- Rugosidade das paredes das descontinuidades, quando pertinente, nos trechos em SR; e
- Presença de oxidação nas paredes das descontinuidades.

c) Observações

- Datas das medições do N.A.;
- Profundidade perfurada e motivo da paralisação; e
- Informações sobre a lavagem (no caso de constatada a impenetrabilidade ao SP, informando os tempos de duração de cada ciclo e as profundidades atingidas).

d) Assinatura

- Responsável Técnico, com o número do CREA.

Bibliografia

- [1] Barton, N.R., Lien, R., Lunde, J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. **Rock Mechanics Felsmechanik Mecanique des Roches**, vol. 6, no. 4, pp. 189–236, 1974.
- [2] Bieniawski, Z. T. Engineering Classification of Jointed Rock Masses. **Siviele Ingenieurswese**, vol. 15, no. 12, pp. 335–343, 1973.
- [3] BRASIL. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. **Estudos Geológicos**. São Paulo, 2005.
- [4] BRASIL. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo. **Estudos Geotécnicos**. São Paulo, 2006.
- [5] BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Projeto de aterros sobre solos moles para obras viárias – Procedimento**. Brasília, 2022.
- [6] Deere, D. U. Technical description of rock cores for engineering purposes. **Rock Mechanics and Engineering Geology**, vol. 1, no. 1, pp. 16–22, 1964.
- [7] Franklin, J. A.; BROCH, E.; WALTON, G. Logging the mechanical character of rock. **Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy**, 1971. 80: A1-A9.
- [8] Hoek, E. & Brown, E.T. Empirical strength criterion for rock masses. **Journal of Geotechnical Engineering Division**, vol.106, no. GT9, pp.1013-1035, 1980.
- [9] Mayne, P. W. The Second James K. Mitchell Lecture: Undisturbed sand strength from seismic cone tests. **Geomechanics and Geoengineering: An International Journal**, Abingdon, UK, vol. 1, no. 4, pp. 239-257, 2006.
- [10] Palmstrom A. The volumetric joint count: A useful and simple measure of the degree of rock mass jointing. **IAEG Congress**, New Delhi, pp. 221-228, 1982.
- [11] Pettifer, P. & Fookes, G. A Revision of the **Graphical Method for Assessing the Excavatability of Rock**. **Quarterly Journal of Engineering Geology**. London, UK, vol. 27, pp. 145-164, 1994.
- [12] Schnaid, F. & Odebrecht, E. **Ensaio de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.
- [13] Skempton, A. W. Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation. **Géotechnique**, London, vol. 36, no. 3, pp. 425-447, 1986.
- [14] Tsiambaos, G. & Saroglou, H. Excavatability assessment of rock masses using the Geological Strength Index (GSI). **Bull Eng Geol Environ**. vol. 69, pp. 13–27, 2010.
- [15] VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S.A. **80-EG-000A-29-0000** - Especificação de Projeto: Estudos Geotecnológicos.