

DNIT

Instrução de Serviço Ferroviário – ISF

ISF-207: ESTUDOS GEOTÉCNICOS

2015

**MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA GERAL
DIRETORIA DE INFRAESTRUTURA FERROVIÁRIA
COORDENAÇÃO-GERAL DE OBRAS FERROVIÁRIAS**

ISF-207: ESTUDOS GEOTÉCNICOS

2015

MINISTRO DOS TRANSPORTES

Antônio Carlos Rodrigues

DIRETOR GERAL DO DNIT

Valter Casimiro Silveira

DIRETORIA DE INFRAESTRUTURA FERROVIÁRIA

Mário Dirani

COORDENAÇÃO GERAL DE OBRAS FERROVIÁRIAS

Marcelo Almeida Pinheiro Chagas

FISCAL DO CONTRATO 127/2008

Zilda Maria do Santos Mello

EQUIPE TÉCNICA

COORDENAÇÃO GERAL

Wellington de Aquino Sarmiento

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Jailson de Oliveira Santos

COLABORADORES

Elmer Barreira Ponte

Gélio Proença Brum Filho

Helder Girão

Henaldo Alessandro Lucien Silva

Makoto Nishimura

Patricia Moraes Mendes

Sílvia Passos Borges

CONSÓRCIO STE/SISCON – Contrato nº 127/2008 DIF/DNIT

Brasil. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)
Diretoria de Infraestrutura Ferroviária (DIF).
Aprovação técnica pelo DNIT - Janeiro de 2012.

QUADRO DE REVISÕES DO DOCUMENTO

SEQUENCIAL	DATA	OBSERVAÇÃO
R01	agosto 2015	Resultado de consulta pública

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

1 OBJETIVO

2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O DIMENSIONAMENTO DA PLATAFORMA FERROVIÁRIA

3 FASES DOS ESTUDOS

4 EXECUÇÃO DOS ESTUDOS

5 APRESENTAÇÃO

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO

As Instruções de Serviços Ferroviários (ISFs) têm por objetivo definir e especificar os serviços constantes nos projetos básicos e executivos de engenharia de infraestrutura ferroviária, bem como orientar sua elaboração e padronizar sua apresentação.

Cabem algumas considerações de caráter geral sobre o processo de elaboração, homologação e manutenção das ISFs.

Como documentos normativos que são, essas instruções devem ser objeto de uma atualização quando (1) se identificar algo em seu conteúdo que deva ser aperfeiçoado, (2) quando ocorrer uma importante inovação tecnológica que exija uma atualização nos procedimentos e nas especificações estabelecidas, ou (3) quando as normas que os fundamentaram sofrerem modificações.

Os documentos normativos geralmente cobrem um universo de aplicação bastante amplo, no âmbito do qual podem ocorrer casos específicos com circunstâncias e características distintas, que exigem uma solução diferente daquela apontada na norma. Esses casos, porém, devem se revestir de um tratamento especial, exigindo uma justificativa sólida para o não cumprimento da norma, bem como a aprovação de quem contratou o serviço.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), através da sua Diretoria de Infraestrutura Ferroviária, Coordenação Geral de Obras Ferroviárias tem a satisfação de apresentar esta instrução que compõe o conjunto das ISFs elaboradas pelo Consórcio STE/SISCON, apresentado a seguir:

Projetos de Engenharia Ferroviária

INSTRUÇÕES DE SERVIÇOS FERROVIÁRIOS

IDENTIFICAÇÃO	OBJETO
ISF-201	Levantamento Aerofotogramétrico e Perfilamento a Laser para Projetos Básicos de Ferrovias
ISF-202	Levantamento Aerofotogramétrico e Perfilamento a Laser para Projetos Executivos de Ferrovias
ISF-203	Estudos Topográficos para Projetos Básicos de Engenharia
ISF-204	Estudos Topográficos para Projetos Executivos de Engenharia
ISF-205	Estudos de Traçado
ISF-206	Estudos Geológicos
ISF-207	Estudos Geotécnicos
ISF-208	Estudos Hidrológicos
ISF-209	Projeto Geométrico
ISF-210	Projeto de Drenagem
ISF-211	Projeto de Terraplenagem
ISF-212	Projeto de Superestrutura da Via Permanente – Lastro e Sublastro
ISF-213	Projeto de Superestrutura da Via Permanente – Trilhos e Dormentes
ISF-214	Projeto de Superestrutura da Via Permanente – Acessórios
ISF-215	Projeto de Superestrutura da Via Permanente – Aparelhos de Mudança de Via
ISF-216	Projeto de Obras de Arte Especiais
ISF-217	Projeto de Sinalização Ferroviária
ISF-218	Projeto de Pátios Ferroviários
ISF-219	Projeto de Passarela para Pedestres
ISF-220	Projeto de Interferências
ISF-221	Projeto de Passagem em Nível
ISF-222	Componente Ambiental dos Projetos de Engenharia Ferroviária
ISF-223	Projeto de Passagem Inferior
ISF-224	Projeto de Desapropriação
ISF-225	Orçamento da Obra
ISF-226	Plano de Execução da Obra
ISF-227	Estudos Operacionais
ISF-228	Projeto de Vedação da Faixa de Domínio
ISF-229	Projeto de Proteção Vegetal de Taludes
ISF-230	Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas

ISF-207: ESTUDOS GEOTÉCNICOS

1 OBJETIVO

Definir e especificar os serviços constantes dos estudos geotécnicos nos projetos de engenharia de infraestrutura ferroviária.

2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O DIMENSIONAMENTO DA PLATAFORMA FERROVIÁRIA

O dimensionamento de uma plataforma ferroviária está diretamente ligado à determinação das cargas máximas que atuam nas camadas de sublastro e subleito da via. Desta forma, é essencial o detalhamento preliminar das cargas máximas atuantes para que seja possível se determinar as tensões e as espessuras das diversas camadas.

Estas informações devem ser detalhadas no corpo do projeto da ferrovia com a definição de todos os parâmetros considerados, as respectivas justificativas técnicas e a apresentação do memorial de cálculo.

Denomina-se via permanente o conjunto de camadas e elementos que possibilitam a sustentação e o rolamento dos trens em circulação, composta basicamente da infraestrutura e da superestrutura. A infraestrutura é constituída pelo subleito que contém uma camada final de material selecionado. A superestrutura é constituída pelos trilhos, fixações, dormentes, lastro e sublastro.

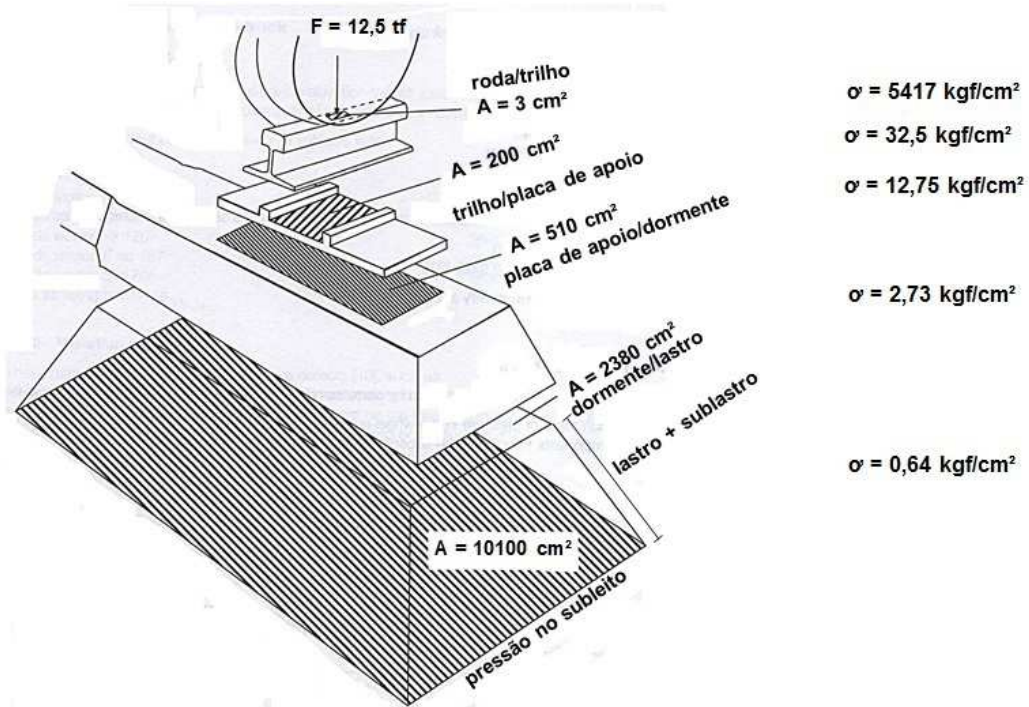
Nos aterros das ferrovias, subleito define uma superfície acabada de terraplenagem, representada por suas últimas camadas comumente denominadas reforço do subleito. Nos cortes das ferrovias, tendo sido praticados rebaixos de camadas naturais ou não, o subleito define a superfície regularizada no formato das camadas de preenchimentos dos rebaixos ou de superfícies não rebaixadas.

Em ambos os casos, o eixo da superfície do subleito é definido pelas cotas das estacas do projeto geométrico da infraestrutura da via, que devem estar compatíveis nas formas, nas capacidades de resistência e deformações para suportarem as cargas transmitidas pela superestrutura da via, através de sua primeira camada de contato denominada sublastro.

2.1 Resistências da Via

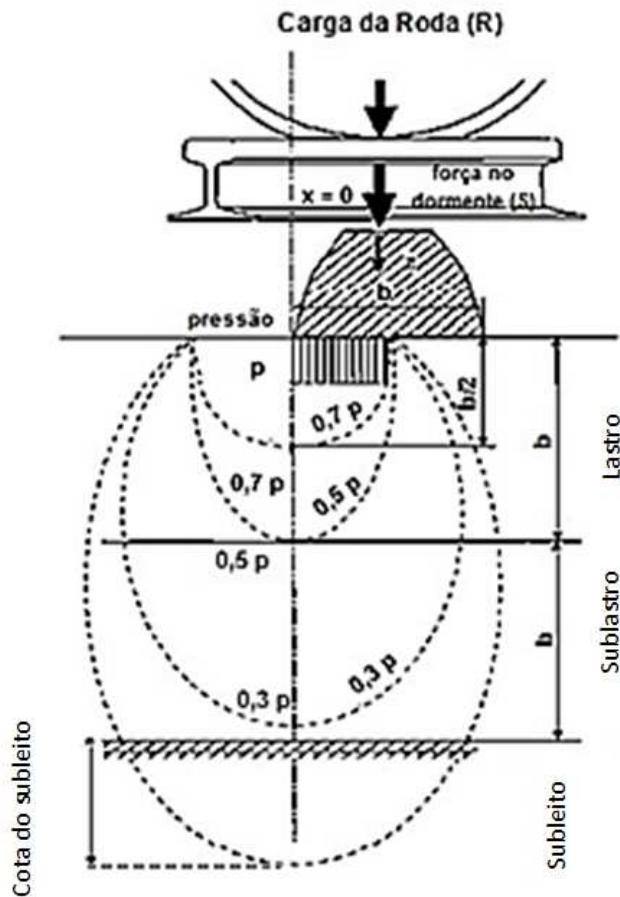
Os esforços atuantes na via são compensados pelas resistências que os componentes da via oferecem. A pressão máxima ocorre no contato roda-trilho e é gradualmente reduzido nas camadas e elementos da via, até o subleito. As Figuras 1 e 2 ilustram a distribuição da carga nos diversos elementos componentes da via.

Figura 1 - Princípio de distribuição de carga



Fonte: RAILWAY MANAGEMENT AND ENGINEERING (2000) Third Edition – V.A. Profillidis

Figura 2 - Distribuição da tensão de carregamento da roda no subleito

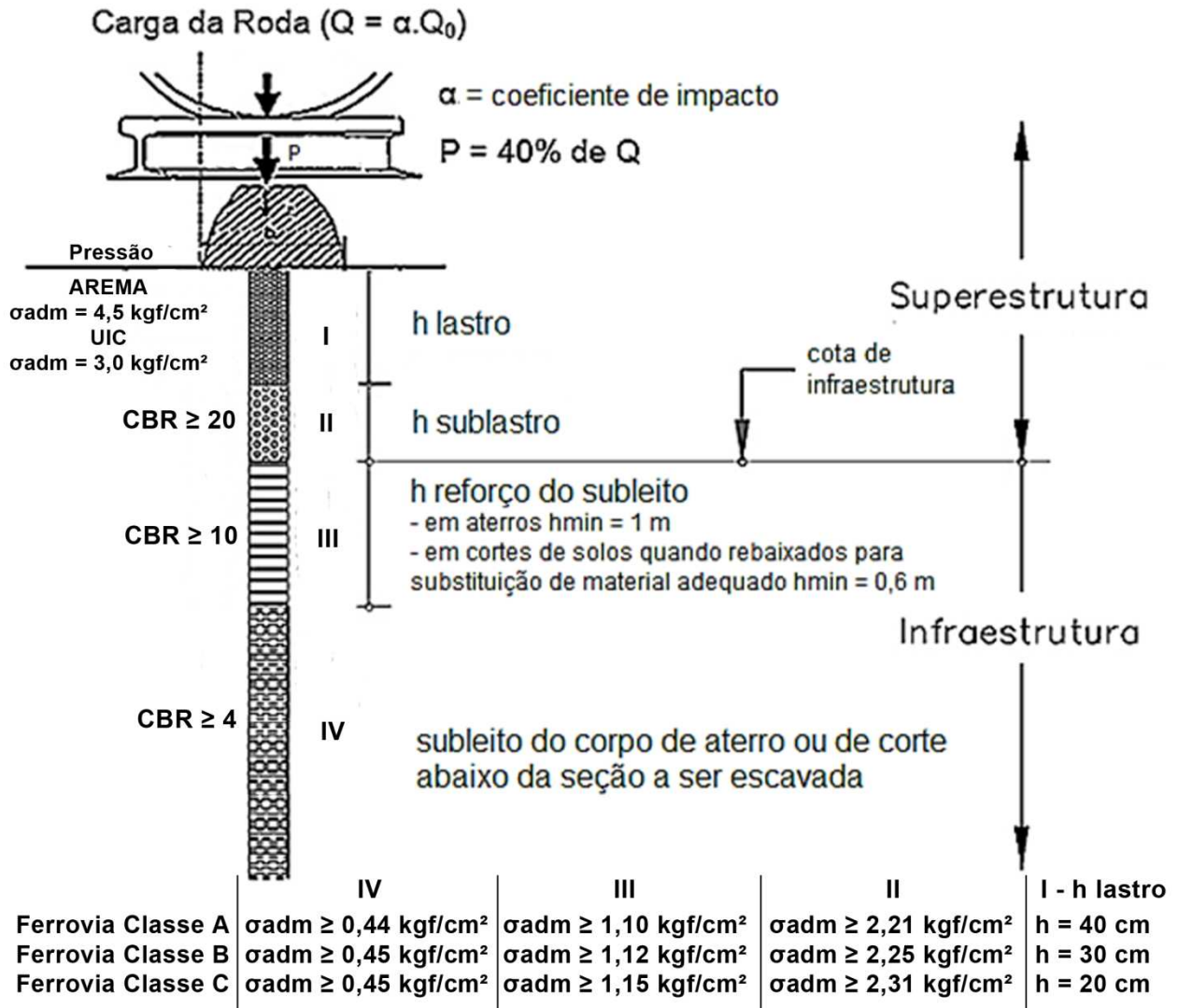


Fonte: TRACK COMPENDIUM (2005) – Bernhard Lichtberger

2.3 Tensões admissíveis e CBRs mínimos

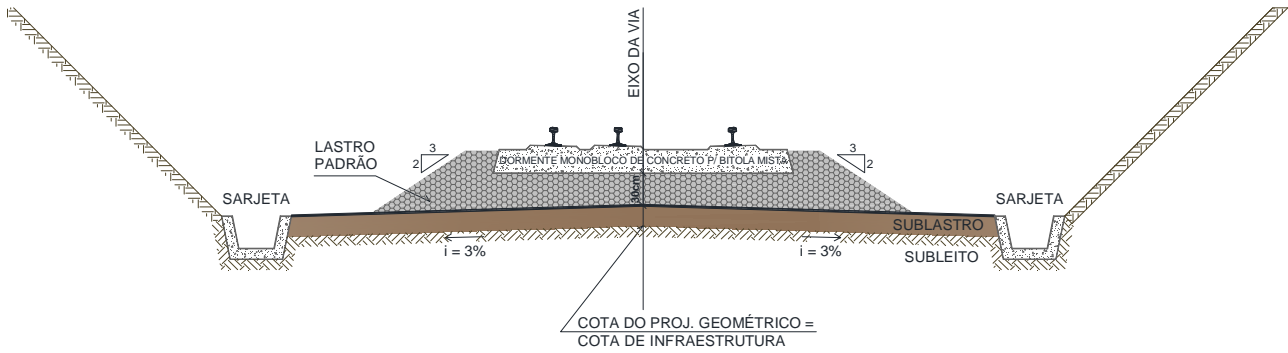
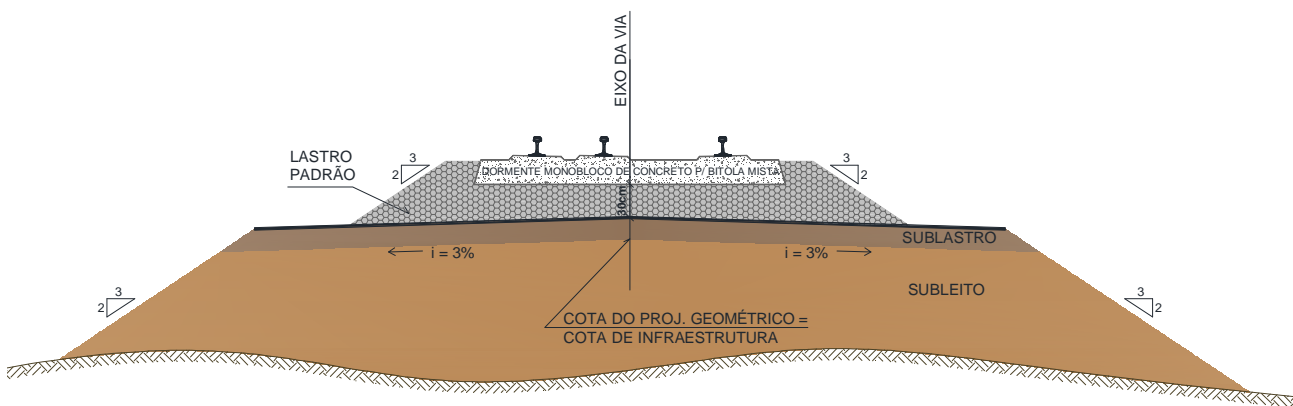
Na figura 3 são apresentadas as tensões admissíveis nas diversas camadas da via e os valores mínimos recomendados dos CBRs dessas camadas.

Figura 3 - Correlação entre tensões admissíveis e CBRs mínimos, nas camadas da via



2.4 Cota da plataforma

O eixo da superfície da camada final do subleito define as cotas da plataforma de infraestrutura que correspondem às cotas do projeto geométrico da ferrovia, conforme se apresenta nas figuras 4 e 5 referentes às seções tipo da ferrovia.

Figura 4 - Seção-tipo de corte em tangente**Figura 5 - Seção-tipo de aterro em tangente**

3 FASES DOS ESTUDOS

Os estudos geotécnicos serão desenvolvidos em duas fases:

- Projeto Básico;
- Projeto Executivo.

4 EXECUÇÃO DOS ESTUDOS

4.1 Fase de Projeto Básico

Os estudos geotécnicos na fase de projeto básico consistirão de:

- Elaboração do Plano de sondagem ou Investigações;
- Estudo dos cortes;
- Estudo das fundações dos aterros;
- Estudos de materiais naturais de construção;
- Estudos de materiais para sublastro;

f) Estudo de materiais pétreos para lastro e agregados.

4.1.1 Elaboração de Plano de Sondagens

A partir do reconhecimento geológico-geotécnico da faixa da diretriz do projeto, deverá ser elaborado o plano de sondagens ou de investigações a ser discutido e previamente aprovado pela fiscalização. Observando que, a fiscalização deve fornecer documento, assinado pelo engenheiro fiscal do DNIT, que comprove a aprovação e verificação dos dados das investigações. A distribuição, espaçamento e número das sondagens/ensaios *in situ* e de laboratório serão orientados em função das características específicas de cada trecho e recomendações a seguir:

4.1.2 Estudos dos Cortes

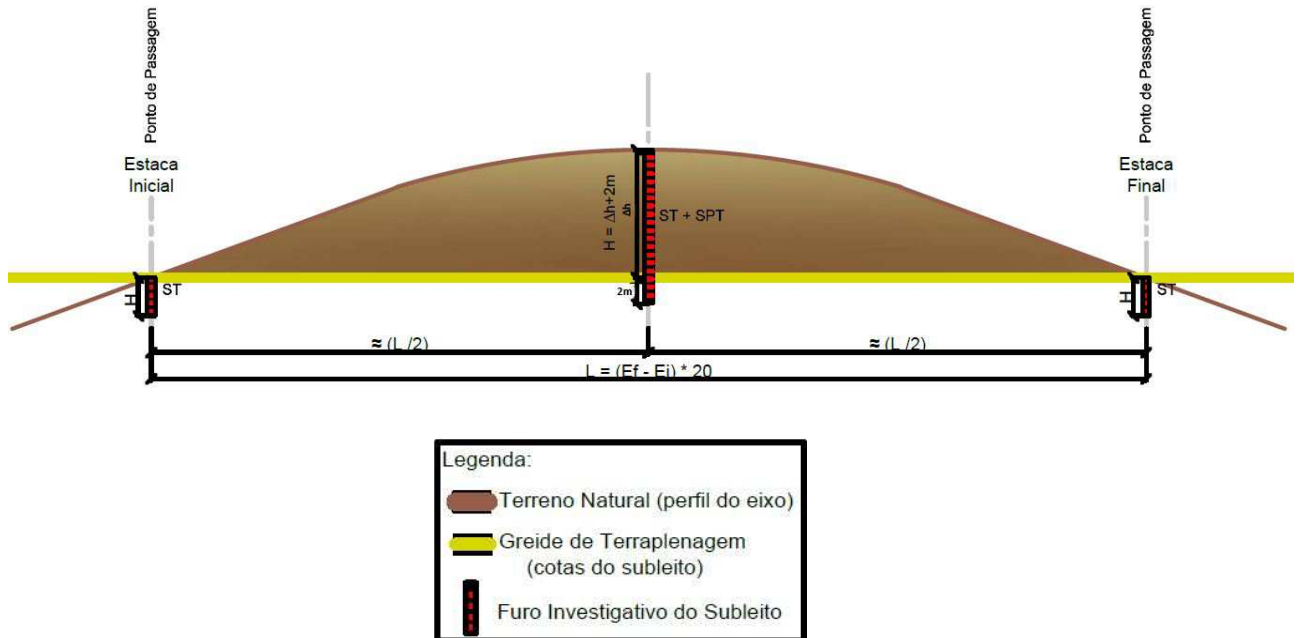
Devido às grandes alturas de cortes comumente ocorridas em projetos ferroviários, os valores de tensões admissíveis são relativamente baixos e de fácil verificação quando dos desmontes dos cortes, ainda mais acentuado pelo alívio das tensões devido à retirada do maciço. Considerando que as sondagens demandam tempo e custo devido suas grandes profundidades, o plano de sondagem deve ser elaborado para o conjunto das investigações do suporte de subleito, da classificação dos materiais dos cortes e do estudo da estabilidade dos taludes.

O plano de sondagens, neste caso, possibilita a racionalização do uso de furos de sondagem para melhor análise do perfil geotécnico das escavações. Para tanto, deve ser feito o uso conjunto ou alternado de sondagens a trado, a percussão (SPT), mista (Rotativa + SPT), sondagem geofísica, para melhores definições das camadas a serem escavadas. A elaboração do plano de sondagens passa pela análise geológica prévia do trecho e por inspeção de campo para coleta de dados geotécnicos e geofísicos.

A partir das alturas máximas previstas para os cortes e suas respectivas extensões e da natureza dos materiais a serem escavados, foram elaborados diversos croquis a seguir dispostos com a finalidade de permitir propostas em um plano de sondagens, em função do perfil longitudinal do projeto conceitual e do projeto básico.

4.1.2.1 Perfil Preliminar para Elaboração do Plano de Sondagem com Extensão de Corte < 500 m

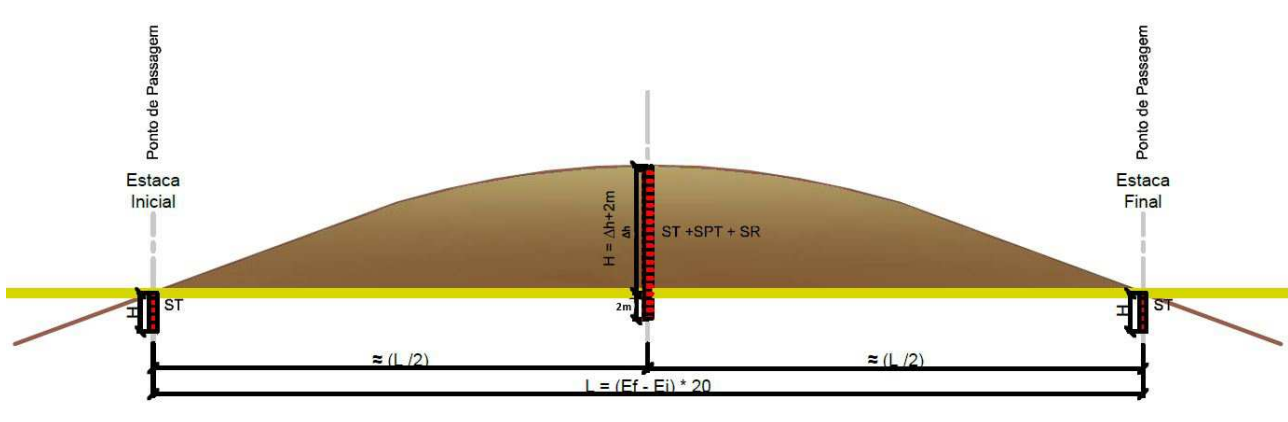
PERFIL PRELIMINAR **TIPO 1** PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DE SONDAGEM PARA CORTES EM SOLOS ARENOSOS E/OU ARGILOSOS
EXTENSÃO DE CORTE < 500 m; ALTURA MÁXIMA DO CORTE DE ATÉ 8 m



- Observação 1:
ST – Sondagem a Trado (até o impenetrável);
SPT – Sondagem a Percussão Standard (até o impenetrável ou $\Delta h + 2m$).
- Observação 2:
H – Profundidade Total de Sondagem ou H – Profundidade do Furo ST + SPT;
 Δh – Cota Vermelha do Corte;
L – Extensão Total do Corte.
- Observação 3:
Ei – Estaca inicial do corte;
Ef – Estaca final do corte.

PERFIL PRELIMINAR TIPO 2 PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DE SONDAGEM PARA CORTES EM SOLOS ARENOSOS E/OU ARGILOSOS

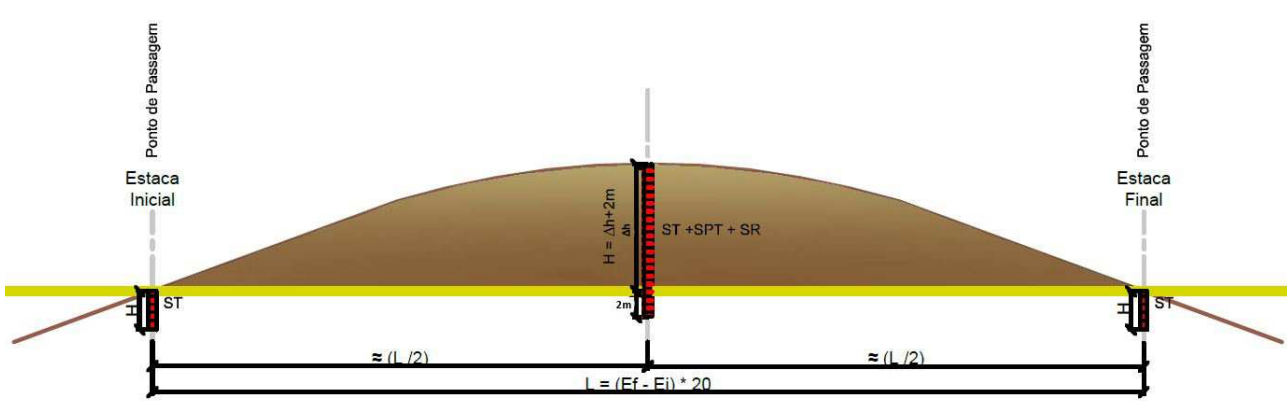
EXTENSÃO DE CORTE < 500 m; ALTURA MÁXIMA DO CORTE ACIMA DE 8 m



Legenda:	
	Terreno Natural (perfil do eixo)
	Greide de Terraplenagem (cotas do subleito)
	Furo Investigativo do Subleito

- Observação 1:
ST – Sondagem a Trado (até o impenetrável);
SPT – Sondagem a Percussão Standard (até o impenetrável ou $\Delta h + 2m$);
SR – Sondagem Rotativa (até $\Delta h + 2m$).
- Observação 2:
H – Profundidade Total de Sondagem ou H – Profundidade do Furo ST + SPT + SR;
 Δh – Cota Vermelha do Corte;
L – Extensão Total do Corte.
- Observação 3:
Ei – Estaca inicial do corte;
Ef – Estaca final do corte.

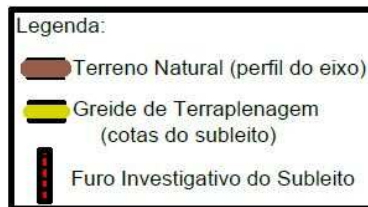
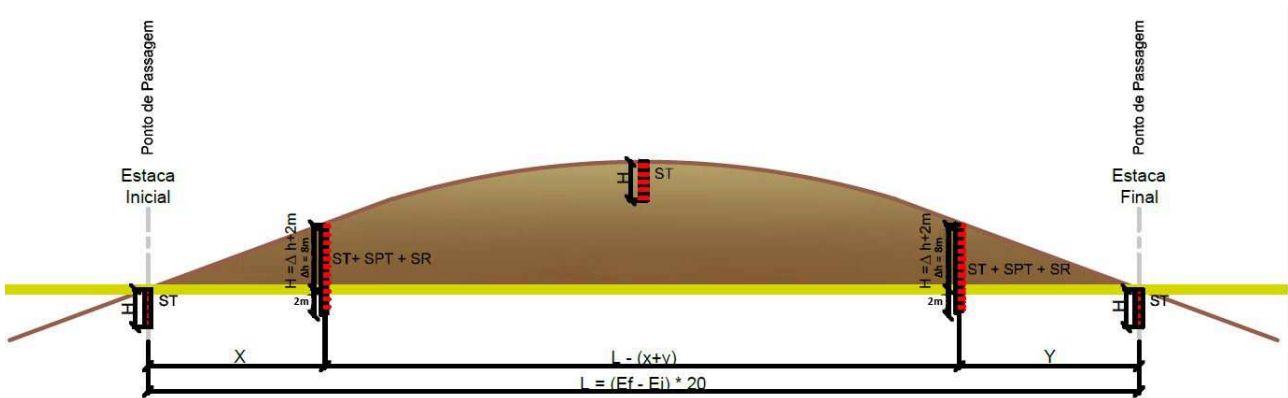
PERFIL PRELIMINAR **TIPO 3** PARA ELABORAÇÃO DO PLANO
DE SONDAGEM PARA CORTES EM SOLOS E/OU ROCHAS
EXTENSÃO DE CORTE < 500 m; ALTURA MÁXIMA DO CORTE DE ATÉ 8 m



Legenda:	
	Terreno Natural (perfil do eixo)
	Greide de Terraplenagem (cotas do subleito)
	Furo Investigativo do Subleito

- Observação 1:
ST – Sondagem a Trado (até o impenetrável);
SPT – Sondagem a Percussão Standard (até o impenetrável ou $\Delta h + 2m$);
SR – Sondagem Rotativa (até $\Delta h + 2m$);
- Observação 2:
H – Profundidade Total de Sondagem ou H – Profundidade dos Furos ST + SPT + SR;
 Δh – Cota Vermelha do Corte;
L – Extensão Total do Corte.
- Observação 3:
Ei – Estaca inicial do corte;
Ef – Estaca final do corte.

PERFIL PRELIMINAR **TIPO 4** PARA ELABORAÇÃO DO PLANO
DE SONDAGEM PARA CORTES EM SOLOS E/OU ROCHAS
EXTENSÃO DE CORTE < 500 m; ALTURA MÁXIMA DO CORTE ACIMA DE 8 m

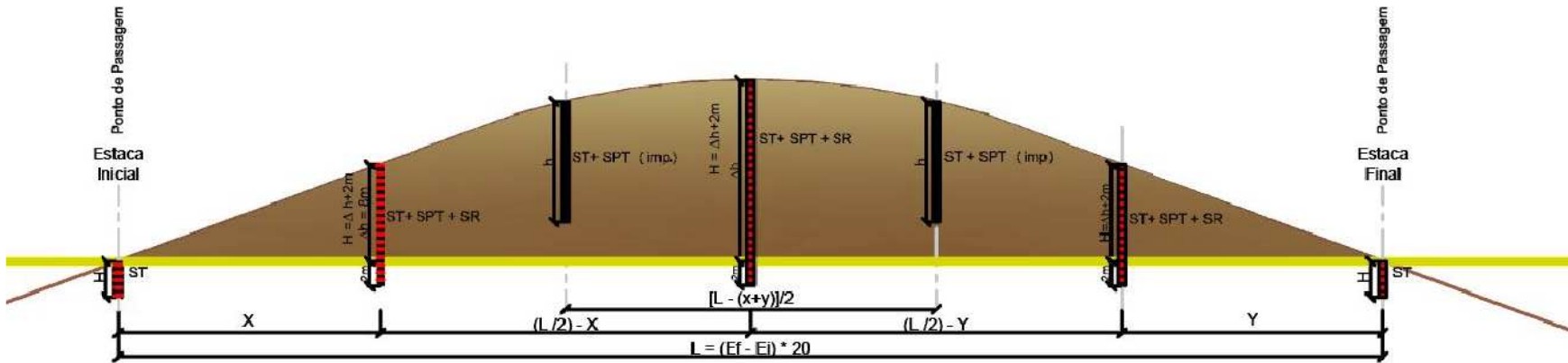


- Observação 1:
ST – Sondagem a Trado (até o impenetrável);
SPT – Sondagem a Percussão Standard (até o impenetrável ou $\Delta h + 2\text{m}$).
SR – Sondagem Rotativa (até $\Delta h + 2\text{m}$);
- Observação 2:
H – Profundidade Total de Sondagem ou H – Profundidade dos Furos ST + SPT + SR
 Δh – Cota Vermelha do Corte;
L – Extensão Total do Corte.
- Observação 3:
 E_i – Estaca inicial do corte;
 E_f – Estaca final do corte.
- Observação 4:
X: Distância do primeiro furo de (ST + SPT + SR), medida da boca inicial do corte até o ponto de cota vermelha (Δh) igual a 8 metros;
Y: Distância do último furo de (ST + SPT + SR), medida da boca final do corte até o ponto de cota vermelha (Δh) igual a 8 metros.

4.1.2.2 Perfil Preliminar para Elaboração do Plano de Sondagem com Extensão de Corte ≈ 500 m a 1.000 m

PERFIL PRELIMINAR TIPO 5 PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DE SONDAGEM PARA CORTES EM SOLOS ARENOSOS E/OU ARGILOSOS

EXTENSÃO DE CORTE ≈ 500 m A 1.000 m;
ALTURA MÁXIMA DO CORTE DE ATÉ 12 m



Legenda:

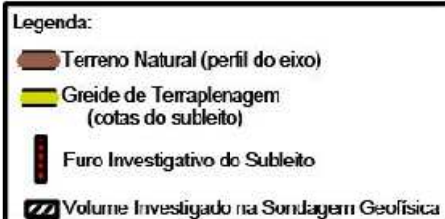
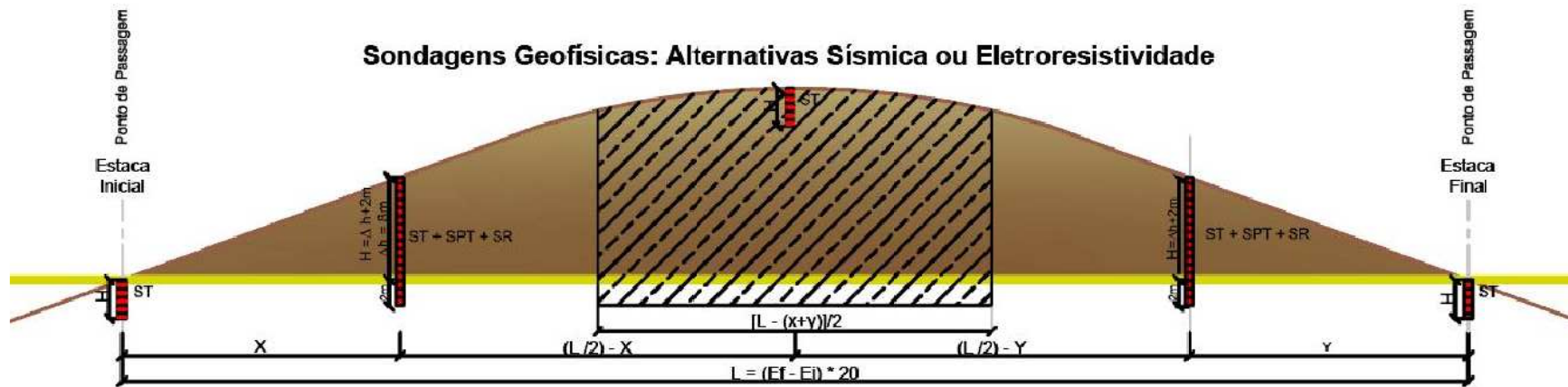
	Terreno Natural (perfil do eixo)
	Greide de Terraplenagem (cotas do subleito)
	Furo Investigativo do Subleito
	Furo Investigativo do Maciço

- Observação 1:
ST – Sondagem a Trado (até o impenetrável);
SPT – Sondagem a Percussão Standard (até o impenetrável ou $\Delta h + 2$ m);
SR – Sondagem Rotativa (até $\Delta h + 2$ m).
- Observação 2:
H – Profundidade Total de Sondagem ou H – Profundidade dos Furos ST + SPT + SR
 Δh – Cota Vermelha do Corte;
L – Extensão Total do Corte.

- Observação 3:
Ei – Estaca inicial do corte;
Ef – Estaca final do corte.
- Observação 4:
X: Distância do primeiro furo de (ST + SPT + SR), medida da boca inicial do corte até o ponto de cota vermelha (Δh) igual a 8 metros;
Y: Distância do último furo de (ST + SPT + SR), medida da boca final do corte até o ponto de cota vermelha (Δh) igual a 8 metros.

PERFIL PRELIMINAR **TIPO 6** PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DE
SONDAGEM PARA CORTES EM SOLOS ARENOSOS E/OU ARGILOSOS

EXTENSÃO DE CORTE \approx 500 m A 1.000 m;
ALTURA MÁXIMA DO CORTE ACIMA DE 12 m



• Observação 1:

ST – Sondagem a Trado (até o impenetrável);
SPT – Sondagem a Percussão Standard (h até o impenetrável ou $\Delta h + 2m$);
SR – Sondagem Rotativa (até $\Delta h + 2m$).

• Observação 2:

H – Profundidade Total de Sondagem ou H – Profundidade dos Furos ST + SPT + SR
 Δh – Cota Vermelha do Corte;
L – Extensão Total do Corte.

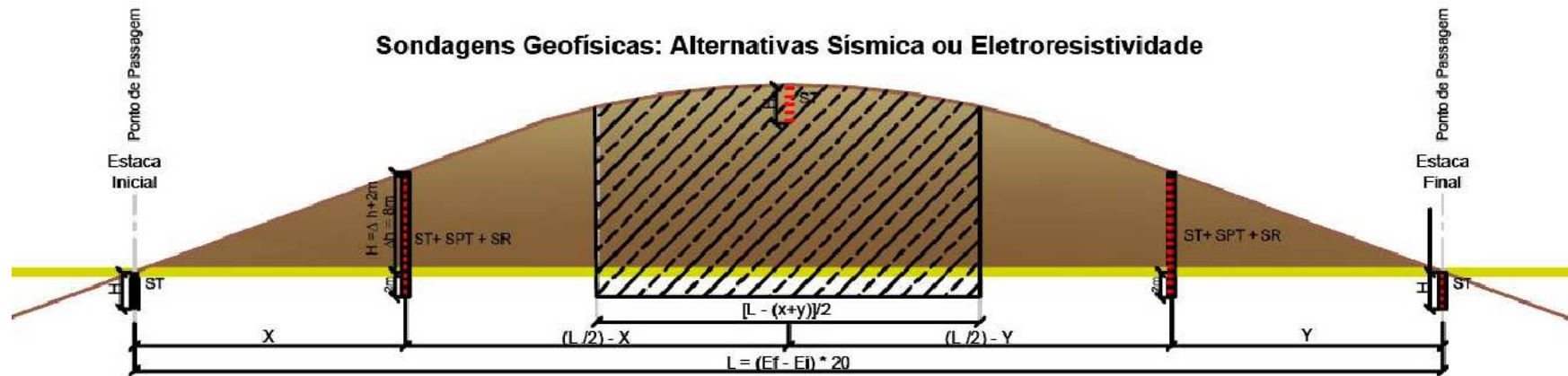
• Observação 3:

E_i – Estaca inicial do corte;
 E_f – Estaca final do corte.

• Observação 4:

X: Distância do primeiro furo de (ST + SPT + SR), medida da boca inicial do corte até o ponto de cota vermelha (Δh) igual a 8 metros;
Y: Distância do último furo de (ST + SPT + SR), medida da boca final do corte até o ponto de cota vermelha (Δh) igual a 8 metros.

PERFIL PRELIMINAR TIPO 7 PARA CORTES EM SOLOS E/OU ROCHAS
EXTENSÃO DE CORTE \approx 500 m A 1.000 m; PARA QUALQUER ALTURA DE CORTE



Legenda:	
	Terreno Natural (perfil do eixo)
	Greide de Terraplenagem (cotas do subleito)
	Furo Investigativo do Subleito
	Volume Investigado na Sondagem Geofísica

- Observação 1:

ST – Sondagem a Trado (até o impenetrável ou h_{max} 2 m);
SR – Sondagem Rotativa ($H - h$);
SPT – Sondagem a Percussão Standard (até o impenetrável ou $\Delta h + 2m$).

- Observação 2:

H – Profundidade Total de Sondagem ou H – Profundidade do Furo ST + SPT + SR;
 Δh – Cota Vermelha do Corte;
 L – Extensão Total do Corte.

- Observação 3:

E_i – Estaca inicial do corte;
 E_f – Estaca final do corte.

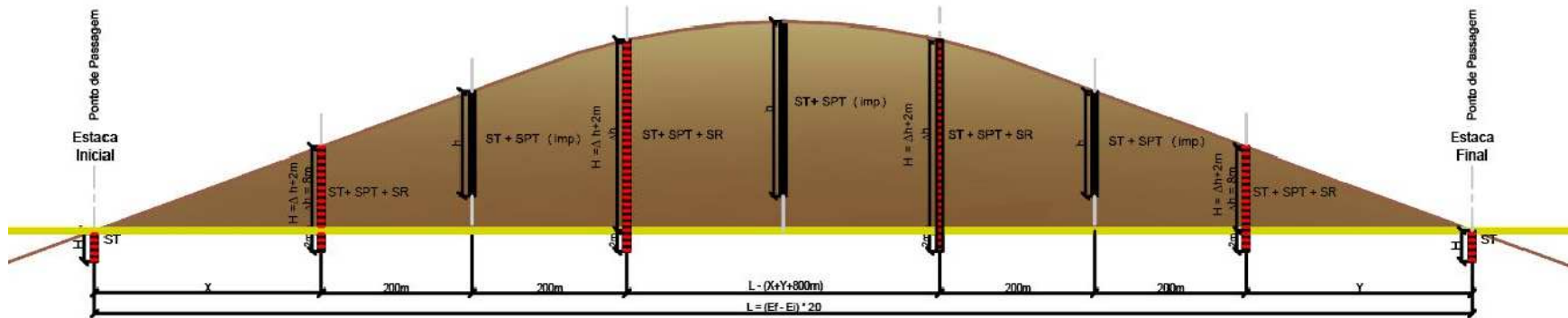
- Observação 4:

X : Distância do primeiro furo de (SPT + SR), medida da boca inicial do corte até o ponto de cota vermelha (Δh) igual a 8 metros;
 Y : Distância do último furo de (SPT + SR), medida da boca final do corte até o ponto de cota vermelha (Δh) igual a 8 metros.

4.1.2.3 Perfil Preliminar para Elaboração do Plano de Sondagem com Extensão de Corte ≈ 1.000 m a 1.500 m

PERFIL PRELIMINAR **TIPO 8** PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DE SONDAGEM PARA CORTES EM SOLOS ARENOSOS E/OU ARGILOSOS

EXTENSÃO DE CORTE ≈ 1.000 m A 1.500 m;
 ALTURA MÁXIMA DO CORTE DE ATÉ 16 m



Legenda:

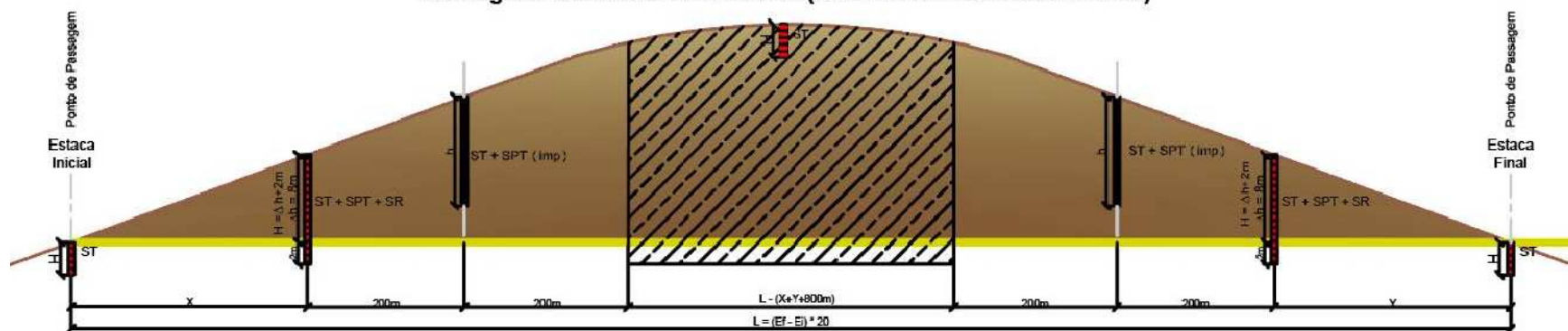
- Terreno Natural (perfil do eixo)
- Greide de Terraplenagem (cotas do subleito)
- Furo Investigativo do Subleito
- Furo Investigativo do Maciço

- Observação 1:
 ST – Sondagem a Trado (até o impenetrável);
 SPT – Sondagem a Percussão Standard (até o impenetrável ou $\Delta h + 2m$);
 SR – Sondagem Rotativa (até $\Delta h + 2m$).
- Observação 2:
 H – Profundidade Total de Sondagem ou H – Profundidade dos Furos ST + SPT + SR
 Δh – Cota Vermelha do Corte;
 L – Extensão Total do Corte.
- Observação 3:
 Ei – Estaca inicial do corte;
 Ef – Estaca final do corte.
- Observação 4:
 X: Distância do primeiro furo de (ST + SPT + SR), medida da boca inicial do corte até o ponto de cota vermelha (Δh) igual a 8 metros;
 Y: Distância do último furo de (ST + SPT + SR), medida da boca final do corte até o ponto de cota vermelha (Δh) igual a 8 metros.

PERFIL PRELIMINAR **TIPO 9** PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DE
SONDAGEM PARA CORTES EM SOLOS ARENOSOS E/OU ARGILOSOS

EXTENSÃO DE CORTE \approx 1.000 m A 1.500 m;
ALTURA MÁXIMA DO CORTE ACIMA DE 16m

Sondagens Geofísicas Alternativas (Sísmica ou Eletroresistividade)



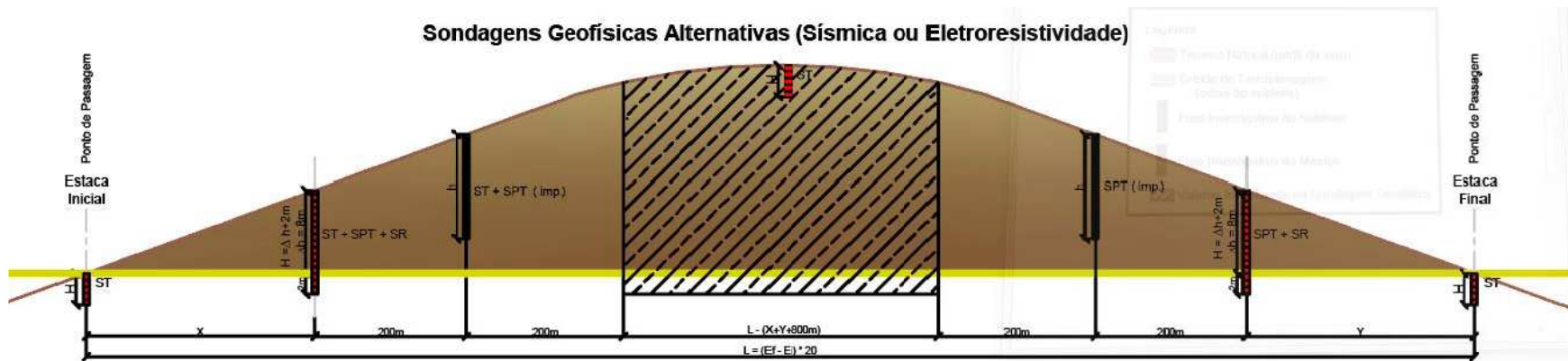
Legenda:

- Terreno Natural (perfil do eixo)
- Greide de Terraplenagem (cotas do subleito)
- Furo Investigativo do Subleito
- Furo Investigativo do Maciço
- Volume Investigado na Sondagem Geofísica

- Observação 1:
ST – Sondagem a Trado (até o impenetrável);
SPT – Sondagem a Percussão Standard (até o impenetrável ou $\Delta h + 2m$);
SR – Sondagem Rotativa (até $\Delta h + 2m$).
- Observação 2:
H – Profundidade Total de Sondagem ou H – Profundidade dos Furos ST + SPT + SR
 Δh – Cota Vermelha do Corte;
L – Extensão Total do Corte.
- Observação 3:
Ei – Estaca inicial do corte;
Ef – Estaca final do corte.
- Observação 4:
X: Distância do primeiro furo de (ST + SPT + SR), medida da boca inicial do corte até o ponto de cota vermelha (Δh) igual a 8 metros;
Y: Distância do último furo de (ST + SPT + SR), medida da boca final do corte até o ponto de cota vermelha (Δh) igual a 8 metros.

PERFIL PRELIMINAR TIPO 10 PARA ELABORAÇÃO DO PLANO
DE SONDAGEM PARA CORTES EM SOLOS E/OU ROCHAS

EXTENSÃO DE CORTE \approx 1.000 m A 1.500 m
PARA QUAISQUER ALTURAS MÁXIMA DE CORTE



Legenda:

- Terreno Natural (perfil do eixo)
- Greide de Terraplenagem (cotas do subleito)
- Furo Investigativo do Subleito
- Furo Investigativo do Maciço
- Volume Investigado na Sondagem Geofísica

• Observação 1:

- ST – Sondagem a Trado (até o impenetrável);
- SPT – Sondagem a Percussão Standard (até o impenetrável ou $\Delta h + 2m$);
- SR – Sondagem Rotativa (até $\Delta h + 2m$).

• Observação 2:

- H – Profundidade Total de Sondagem ou H – Profundidade dos Furos ST + SPT + SR
- Δh – Cota Vermelha do Corte;
- L – Extensão Total do Corte.

• Observação 3:

- Ei – Estaca inicial do corte;
- Ef – Estaca final do corte.

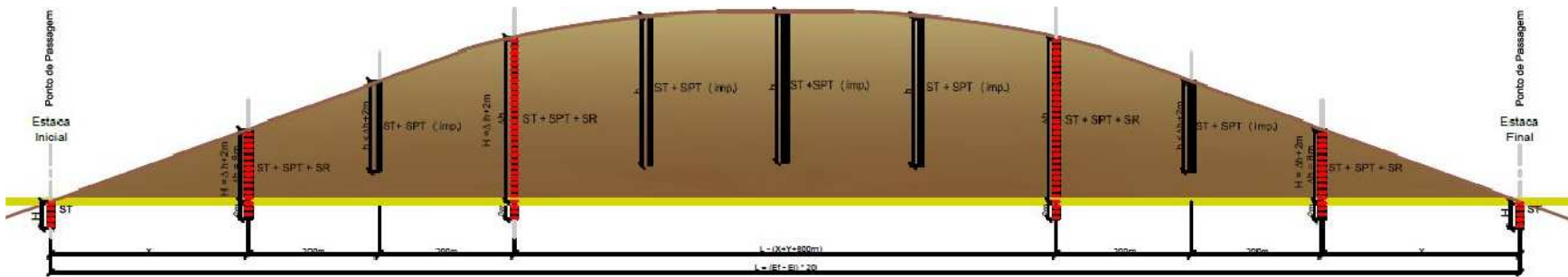
• Observação 4:

- X: Distância do primeiro furo de (ST + SPT + SR), medida da boca inicial do corte até o ponto de cota vermelha (Δh) igual a 8 metros;
- Y: Distância do último furo de (ST + SPT + SR), medida da boca final do corte até o ponto de cota vermelha (Δh) igual a 8 metros.

4.1.2.4 Perfil Preliminar para Elaboração do Plano de Sondagem com Extensão de Corte ≈ 1.500 m a 2.000 m

PERFIL PRELIMINAR **TIPO 11** PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DE SONDAGEM PARA CORTES EM SOLOS ARENOSOS E/OU ARGILOSOS

EXTENSÃO DE CORTE ≈ 1.500 m A 2.000 m;
 ALTURA MÁXIMA DO CORTE DE ATÉ 20 m



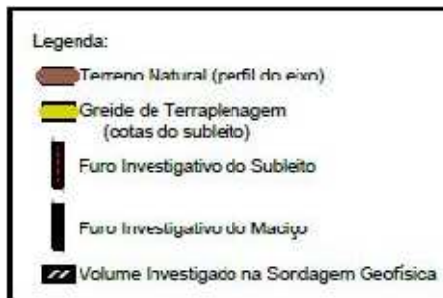
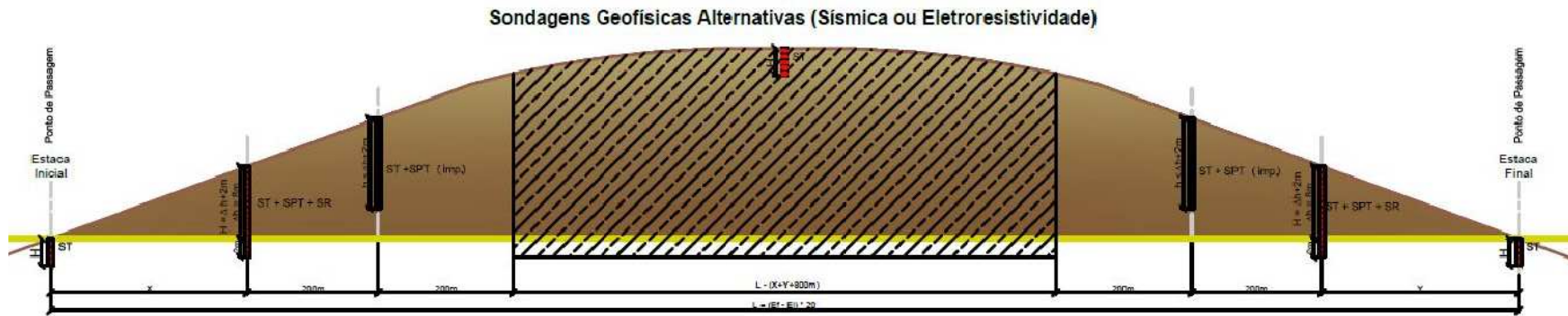
Legenda:

- Terreno Natural (perfil do eixo)
- Greide de Terraplenagem (cotas do subleito)
- Furo Investigativo do Subleito
- Furo Investigativo do Maciço

- Observação 1:
 ST – Sondagem a Trado (até o impenetrável);
 SPT – Sondagem a Percussão Standard (até o impenetrável ou $\Delta h + 2m$);
 SR – Sondagem Rotativa (até $\Delta h + 2m$).
- Observação 2:
 H – Profundidade Total de Sondagem ou H – Profundidade dos Furos ST + SPT + SR
 Δh – Cota Vermelha do Corte;
 L – Extensão Total do Corte.
- Observação 3:
 Ei – Estaca inicial do corte;
 Ef – Estaca final do corte.
- Observação 4:
 X: Distância do primeiro furo de (ST + SPT + SR), medida da boca inicial do corte até o ponto de cota vermelha (Δh) igual a 8 metros;
 Y: Distância do último furo de (ST + SPT + SR), medida da boca final do corte até o ponto de cota vermelha (Δh) igual a 8 metros.

PERFIL PRELIMINAR TIPO 12 PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DE SONDAGEM PARA CORTES EM SOLOS ARENOSOS E/OU ARGILOSOS

EXTENSÃO DE CORTE ≈ 1.500 m A 2.000 m;
ALTURA MÁXIMA DO CORTE ACIMA DE 20m



- Observação 1:

ST – Sondagem a Trado (até o impenetrável);

SPT – Sondagem a Percussão Standard (até o impenetrável ou $\Delta h + 2m$);

SR – Sondagem Rotativa (até $\Delta h + 2m$).

- Observação 2:

H – Profundidade Total de Sondagem ou H – Profundidade dos Furos ST + SPT + SR

Δh – Cota Vermelha do Corte;

L – Extensão Total do Corte.

- Observação 3:

E_i – Estaca inicial do corte;

E_f – Estaca final do corte.

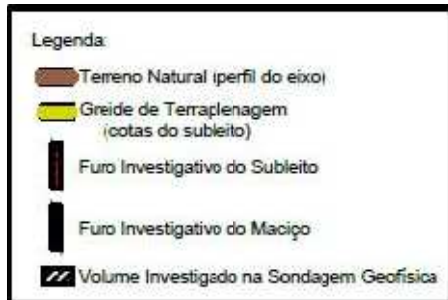
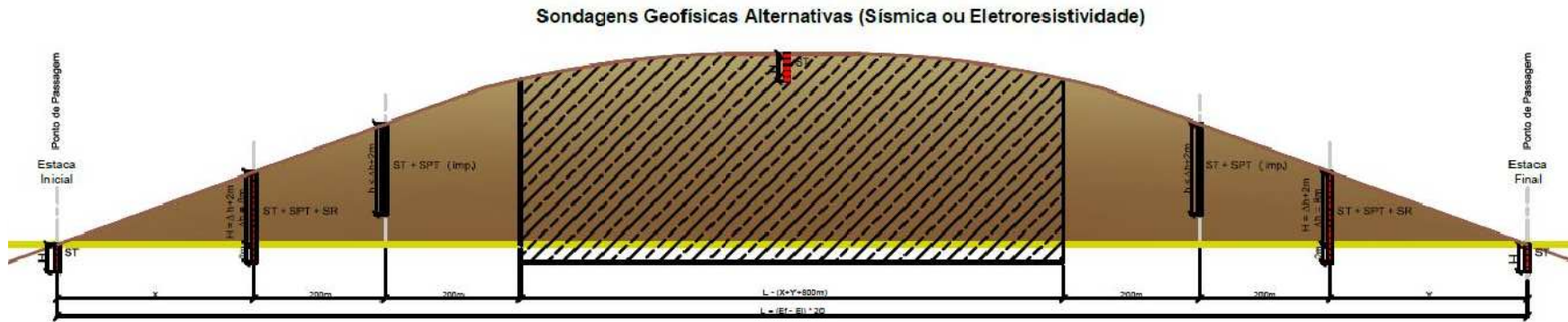
- Observação 4:

X: Distância do primeiro furo de (ST + SPT + SR), medida da boca inicial do corte até o ponto de cota vermelha (Δh) igual a 8 metros;

Y: Distância do último furo de (ST + SPT + SR), medida da boca final do corte até o ponto de cota vermelha (Δh) igual a 8 metros.

PERFIL PRELIMINAR **TIPO 13** PARA ELABORAÇÃO DO PLANO
DE SONDAGEM PARA CORTES EM SOLOS E/OU ROCHAS

EXTENSÃO DE CORTE ≈ 1.500 m A 2.000 m
PARA QUAISQUER ALTURAS MÁXIMA DE CORTE



• Observação 1:

- ST – Sondagem a Trado (até o impenetrável);
- SPT – Sondagem a Percussão Standard (até o impenetrável ou $\Delta h + 2m$);
- SR – Sondagem Rotativa (até $\Delta h + 2m$).

• Observação 2:

- H – Profundidade Total de Sondagem ou H – Profundidade dos Furos ST + SPT + SR
- Δh – Cota Vermelha do Corte;
- L – Extensão Total do Corte.

• Observação 3:

- Ei – Estaca inicial do corte;
- Ef – Estaca final do corte.

• Observação 4:

- X: Distância do primeiro furo de (ST + SPT + SR), medida da boca inicial do corte até o ponto de cota vermelha (Δh) igual a 8 metros;
- Y: Distância do último furo de (ST + SPT + SR), medida da boca final do corte até o ponto de cota vermelha (Δh) igual a 8 metros.

4.1.2.5 Investigações Geotécnicas e Realização de Ensaios de Laboratórios

Deverá ser coletada uma amostra representativa para cada horizonte de material de todo furo de sondagem e caso não ocorra variação poderá ser coletada uma amostra a cada 2,0 m sondados.

Elaboração do boletim de sondagem, no qual deverá constar a estaca, posição do furo, as profundidades de início e fim do horizonte coletado e a classificação expedita do material.

Se no(s) furo(s) central (is), for (em) alcançado (s) material (is) impenetrável (is) ao trado, ou quando esse processo se tornar inoperante, deverá ser executado furo à percussão.

As sondagens rotativas (\emptyset BX) serão programadas quando ocorrer rocha ou material impenetrável à percussão. A sondagem rotativa deverá ser executada em extensão a ser definida pela projetista e/ou fiscalização em função das características geológicas do local ou até se alcançar a profundidade de paralisação do SPT, abaixo do greide, ou até se obter recuperação de 90% em 5 metros consecutivos de rocha.

A investigação de furos a trado pode ser complementada pela abertura de poços(s) de inspeção, que permite(m) além da inspeção visual e tátil, a determinação da densidade in situ e a umidade natural do solo. Estas servem para uma comparação aproximada de volumes de corte e de aterro compactado.

Deverão ser realizados os seguintes ensaios de laboratório:

- Análise granulométrica por peneiramento simples;
- Análise granulométrica por sedimentação e densidade real dos grãos, em amostras representativas dos grupos de solos existentes com características geológico-geotécnicas similares;
- Limite de liquidez;
- Limite de plasticidade;
- Umidade natural;
- Solo - Ensaio de compactação – executado com no mínimo 5 pontos, conforme norma brasileira;
- Ensaios de CBR (ISC) e Expansão, conforme norma brasileira.

4.1.3 Estudos das Fundações de Aterros

Ao longo do eixo do traçado selecionado, nos locais de aterro, e levando em conta o projeto geométrico básico, serão executadas sondagens no terreno situadas em intervalos de no máximo 500m, localizados de forma a se ter no mínimo uma sondagem representativa em cada segmento homogêneo.

Quanto à profundidade de sondagem esta deve atender à cota do impenetrável do método SPT.

As amostras coletadas em cada furo nos diversos horizontes de material serão objetos de ensaios de caracterização (limites físicos e análises granulométricas), compactação (Proctor Normal), CBR, expansão e umidade natural.

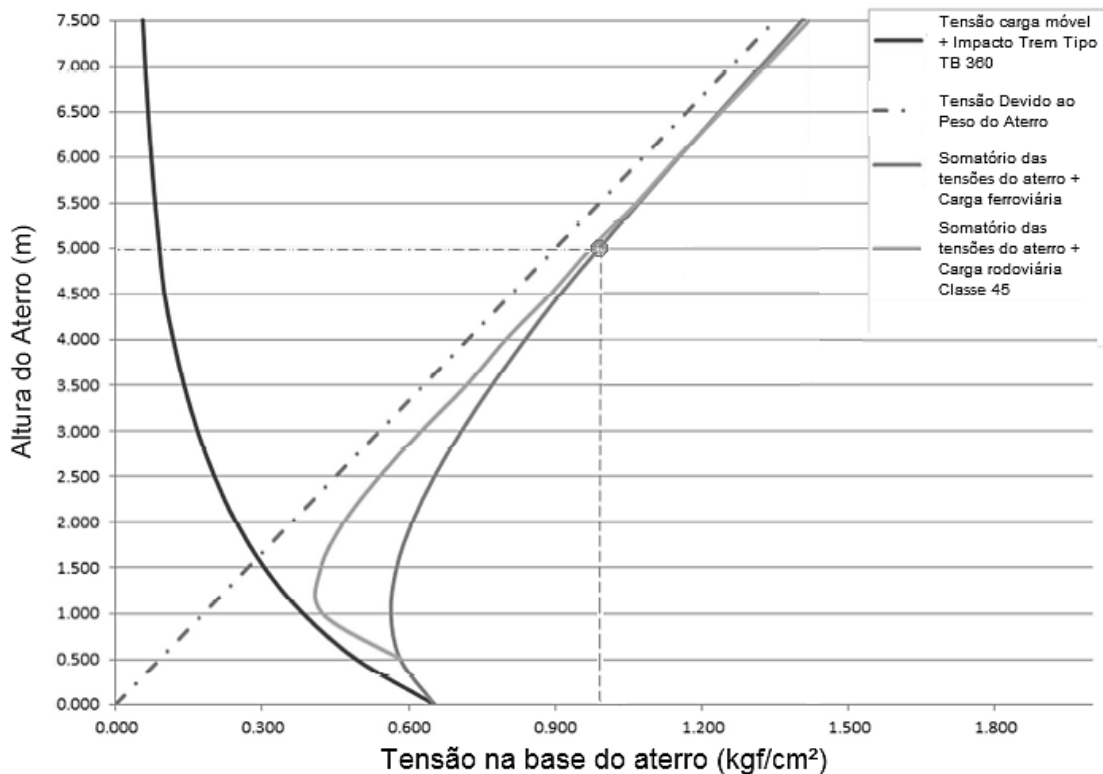
Nas áreas de solos compressíveis, nos locais de implantação, deverão ser determinadas as espessuras médias das camadas moles e os valores das coesões e coeficientes de adensamento obtidos por sondagens e ensaios especiais. Para tal o mínimo requerido deve seguir as determinações contidas na norma DNER PRO 381/98 Projeto de Aterros Sob Solos Moles Para Obras Viárias.

Quanto à determinação do adensamento, este deve ser calculado seguindo as teorias da Mecânica dos Solos. Seu estudo deve ser detalhado no corpo do projeto inclusive com resultados/fichas dos ensaios geotécnicos necessários.

A partir da avaliação das diferentes tensões na base dos aterros provocadas pelas cargas móveis, conforme se observa na **Figura 6** que apresenta as tensões provocadas por cargas móveis das ferrovias e rodovias, podem ser observadas as seguintes considerações práticas na elaboração do plano de sondagens:

- Nos aterros ferroviários a partir de 5 m de altura pode-se desprezar a influência da carga móvel e de seus impactos devido à velocidade;
- Aterros com altura até 5 m e para aqueles situados nas faixas de altura de 5 a 8 m, onde as tensões admissíveis para os solos de suporte estão na ordem de grandeza de 1 kgf/cm², compatíveis com os solos areno-argilosos e argilo-arenosos comumente encontrados, devem ser executadas sondagens a cada 500 m;
- Para os aterros na faixa de altura de (9 a 16) m, onde as tensões admissíveis para os solos de suporte estão na ordem de grandeza até 1,75 kgf/cm², compatíveis com solos decorrentes de rochas decompostas, solos pedregulhosos e arenosos convêm reduzir o espaçamento entre sondagens para 350 m. No caso dos aterros mais altos da faixa convêm investigar o solo de fundação em pelo menos na largura de 25 m centralizada entre os offsets do aterro;

Figura 6 - Comparação das tensões nas bases dos aterros entre cargas ferroviárias (TB-360) e rodoviárias (Classe 45)



- Para os aterros na faixa de altura de (17 a 24) m, onde as tensões admissíveis para os solos de suporte estão na ordem de grandeza até 3 kgf/cm², compatíveis com solos decorrentes de rochas decompostas, solos pedregulhosos e arenosos convêm reduzir o espaçamento entre sondagens para 250 m. No caso dos aterros mais altos da faixa convêm investigar o solo de fundação pelo menos na largura de 35 m, centralizada entre os offsets do aterro;
- Para aterros na faixa de alturas de (25 a 32) m, onde as tensões admissíveis para os solos de suporte estão na ordem de grandeza até 4,50 kgf/cm², compatíveis com solos decorrentes de rochas decompostas, solos pedregulhosos e arenosos deve-se examinar a conveniência de substituição de aterro por viaduto ferroviário, considerando os danos ambientais decorrentes e os custos comparativos entre as soluções.
- No caso de aterro na altura acima de 32 m não é recomendável sua implantação pelos problemas potenciais que os mesmos causariam durante a construção e, com mais certeza, na sua manutenção só devendo ser executadas em situações muito especiais e providas de estudos cuidadosos.
- A implantação de aterros sobre solos hidromórficos merece estudos especializados conforme recomendações citadas no subitem 4.2.5.1.

4.1.4 Estudos das Fundações de Obras de Artes Especiais e Obras de Arte Correntes

Nestes casos deve-se seguir as orientações da ISF-210 Projeto de Drenagem e da ISF-216 Projeto de Obras de Arte Especiais.

4.1.5 Estudo de Ocorrências de Materiais Naturais de Construção

Nesta Fase de Projeto Básico, o estudo das ocorrências compreenderá:

- a) Inspeção expedita no campo;
- b) Sondagens e coleta de amostras;
- c) Ensaios de laboratório.

Nas ocorrências julgadas aproveitáveis pelos estudos geológicos e pela inspeção de campo, serão feitos os seguintes serviços:

- Cinco a dez furos de sondagem na periferia e na parte central da área delimitada, convenientemente localizados até a profundidade necessária ou compatível com os métodos de extração adotados. Em cada furo de sondagem e para cada camada, será coletada uma amostra suficiente para a realização dos ensaios de caracterização, compactação, ISC e expansão. Ressalta-se que o número de furos deverá ser acrescido em casos de solos muito heterogêneos e em áreas muito extensas. Nestes casos, devem ser em número suficiente para bem caracterizar o material em estudo;
- Serão anotadas as cotas de mudança de camadas, adotando-se uma denominação expedita que as caracterize. Assim, o material aparente e imprestável, constituinte da camada superficial, será identificado com o nome genérico de capa;
- Os outros materiais próprios para uso serão identificados pela denominação corrente no lugar, como: saibro, cascalho, seixos e outros;
- Será feito um croqui da amarração dos furos de sondagem, anotando-se as distâncias aproximadas entre os mesmos e a posição da ocorrência, em relação à ferrovia em estudo;
- As ocorrências existentes em exploração comercial serão, também, prospectadas e avaliadas nesta fase;
- Uma ocorrência será considerada satisfatória para a prospecção definitiva, quando, pelo menos parte dos materiais existentes satisfizer as especificações vigentes, ou quando revelar a possibilidade de correção por mistura e, ainda, quando seu volume for superior a 10.000 m³;

Cabe ressaltar que, só serão utilizados materiais provenientes 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.

4.1.6 Estudo de Ocorrências de Material para Sublastro

Estes estudos objetivam a escolha de jazidas para uso no sublastro da ferrovia.

Após a escolha da área, serão lançadas malhas básicas com 160 metros de lado, no máximo.

Em um total de 5 a 12 vértices destas malhas, serão executados furos de sondagens a trado e/ou poços de inspeção e coletadas amostras para realização de ensaios geotécnicos.

As amostras coletadas deverão ser obtidas de cada horizonte e, submetidas aos seguintes ensaios:

- Análise granulométrica sem sedimentação;
- Limite de liquidez;
- Limite de plasticidade;
- Umidade natural;
- Compactação (Proctor Intermediário - PI);
- ISC e expansão.

Caso os resultados atendam à Especificação Técnica relativa ao sublastro e o volume estimado atenda às necessidades, passar-se-á a fase definitiva de investigação e, em caso negativo, abandonar-se-á a área.

4.1.7 Estudo de Ocorrências de Materiais Pétreos para Lastro e Agregado

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

Para efeito de jazimento que objetiva material pétreo para lastro, devem ser atendidas as seguintes condições:

- Estar dentro do lote de Projeto e situado a uma distância máxima de 50 km em relação ao eixo da ferrovia;
- O volume de maciço deverá preferencialmente ser superior a 500.000m³.

O jazimento de material pétreo para agregado deverá situar-se dentro do lote de Projeto, sem a necessidade das condições restantes mencionadas acima.

Na necessidade de caracterizar o material da pedreira potencial, é retirada uma amostra representativa do jazimento, obtida da extração em afloramentos, para a qual são previstos os ensaios:

- Análise petrográfica (ABNT NBR 7389);
- Abrasão Los Angeles (ABNT NM 51:2001);
- Resistência ao choque (Norma ABNT NBR 8938 CANCELADA);
- Massa específica, massa específica aparente e absorção (ABNT NBR 6458:1988);
- Massa unitária (ABNT NBR NM 45:2006) ;
- Massa específica, absorção e porosidade (ABNT NBR 5564:2011)*;
- Durabilidade (ASTM-C-88)** ;
- Resistência mínima à compressão simples (ABNT NBR 5564:2011)*;
- Reatividade Potencial (função do resultado da análise petrográfica) (ASTM-C-289)**.

NOTA: * Objetivando lastro;

** Objetivando agregado.

4.1.8 Estudo de Materiais Granulares Naturais para Agregado, Filtros e Colchões Drenantes

Nos prováveis areais e cascalheiras, visando a sua exploração, é necessário determinar:

- A espessura e qualidade do estéril (classificação visual e tátil e indicações de consistência) para previsão dos equipamentos e processos construtivos de sua remoção;
- O nível do lençol freático;
- A espessura e qualidade do depósito;
- As necessidades de peneiramento e/ou lavagens em função das análises granulométricas.

Quando a ocorrência se fizer acima do nível d'água, a prospecção e amostragem serão feitas por meio de poços de inspeção. Quando abaixo do nível d'água, empregar-se-á sondagens a percussão. Cabe ressaltar que para perfis de terreno em que a investigação apenas seja possível com o emprego de sondagens rotativas e/ou sondagens mistas, estas deverão ser utilizadas.

Serão lançadas sobre o jazimento, malhas básicas quadrangulares, estimadas com 160 metros de lado, no máximo. Para efeito de cubagem, serão feitas sondagens nos vértices destas malhas e coletadas amostras do depósito representativas de cada horizonte de solo existente.

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

4.1.8.1 Ensaios para Agregado

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

- Apreciação petrográfica para agregados (NBR-7389);
- Reatividade potencial (função do resultado da análise petrográfica).

Cada malha básica estimada com 160m de lado, terá um reticulado de cerca de 40 x 40m. Nos vértices deste reticulado serão feitas sondagens e coletadas amostras depois de misturadas, formarão a amostra representativa da malha, para a qual estão previstos os seguintes ensaios:

- Composição granulométrica (ABNT NBR NM 248: 2003);
- Teor de argila em torrões (ABNT NBR-7218:2010);
- Teor de material pulverulento (ABNT NBR NM 46:2003);
- Teor de matéria orgânica (ABNT NBR NM 49:2001)*;
- Massa específica, massa específica aparente e absorção (ABNT NBR-6458:1988)
Massa unitária (ABNT NBR NM 45:2006);
- Durabilidade (ASTM-C-88).

NOTA: * Objetivando agregado miúdo.

4.1.8.2 Ensaios para Filtros e Colchões Drenantes

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

- Composição granulométrica (ABNT NBR NM 248:2003) - Teor de argila em torrões (ABNT NBR-7218:2010)*;
- Teor de material pulverulento (ABNT NBR NM 46:2003) - Teor de matéria orgânica (ABNT NBR-7220:2000)*.

NOTA: * Objetivando areia.

No caso de depósitos granulometricamente heterogêneos, deverá haver amostras representativas de cada área característica.

4.2 Fase de Projeto Executivo

O estudo geotécnico na fase de projeto executivo constará das atividades discriminadas a seguir.

4.2.1 Elaboração de Plano de Sondagem ou Investigações

A partir do reconhecimento geológico-geotécnico da faixa do projeto, deverá ser elaborado um novo plano de sondagens ou de investigações, complementar ao plano

realizado na fase de projeto básico, que também deve ser discutido e previamente aprovado pela fiscalização. Observando que, a fiscalização deve fornecer documento, assinado pelo engenheiro fiscal do DNIT, que comprove a aprovação e verificação dos dados das investigações.

Este novo plano será definido em função dos resultados obtidos na sondagem da fase do projeto básico, com as considerações e justificativas pertinentes.

Os materiais a serem movimentados na fase de terraplenagem, bem como os materiais constituintes do subleito deverão ser caracterizados geotecnicamente, através da realização de investigações, de tipos e quantidades suficientes a serem definidas no plano de sondagens/investigações e de realização de ensaios de laboratório.

A distribuição, espaçamento e número das sondagens/ensaios *in situ* e de laboratório serão orientados em função das características específicas de cada trecho.

4.2.2 Estudo do Subleito e Cortes

Realização de ensaios e de sondagens ao longo dos segmentos de corte, incluindo horizontes subjacentes ao greide de terraplenagem para orientar a elaboração dos projetos de terraplenagem, sublastro e drenagem profunda, complementando e adequando as informações obtidas na fase de projeto básico.

4.2.3 Estudo de Empréstimo para o Corpo de Aterro

A escolha no campo das áreas de empréstimos será feita em função das indicações do projeto de terraplenagem. Sempre que possível e economicamente indicado, tais empréstimos resultarão do alargamento e/ou suavização dos taludes dos cortes projetados.

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

Os furos são locados de acordo com uma malha básica, de 30 m de lado.

Os furos 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 deverão ser coletadas amostras deformadas dos horizontes de materiais diversos ou horizontes de 2 metros para o mesmo material.

As amostras colhidas serão submetidas a ensaios de granulometria sem sedimentação, limite de liquidez, limite de plasticidade e umidade natural para cada camada de material em cada furo de malha de 30 m e em furos alternados, inclusive compactação (proctor normal), ISC, expansão e densidade *in situ*.

Deverão ser apresentadas plantas das ocorrências de materiais, delimitando-se as áreas dos materiais aproveitáveis, bem como os perfis dos solos correspondentes.

O número mínimo de amostras a se pesquisar numa ocorrência será de nove, após a rejeição dos valores espúrios, com desvios muito acima do desvio padrão. Observar que dependendo da área a ser estudada o este número mínimo de amostras deve ser acrescido, de forma a bem caracterizar os materiais provenientes da área delimitada.

Como parâmetros mínimos para uso como materiais de corpo de aterros, as amostras deverão apresentar $ISC > 5$ e expansão $\leq 2\%$.

Como parâmetros mínimos para uso como materiais de camadas finais de aterro, relativas aos últimos 60 cm, as amostras deverão apresentar $ISC \geq 8$ e expansão $< 2\%$.

Como em ferrovias trabalha-se com aterros muito elevados, deverá ser feita análise de estabilidade de taludes para aterros superiores a 3,0 metros, no caso de serem executados com solos argilosos. Já para solos com plasticidade baixa, a análise de estabilidade deverá ser feita para aterros iguais e superiores a 1,5 metros. Cabe ressaltar ainda que, deve ser apresentado memorial de cálculo de tal análise no corpo do projeto.

No caso de cortes elevados, deve ser demonstrado através de análise de estabilidade que a inclinação adotada para corte é a correta e que não ocorrerá possíveis rupturas de talude.

Para aterros com alturas maiores ou iguais a 5 metros, deverão ser realizados:

- Para cada material e condição de compactação (por exemplo, umidade ótima $\pm 2\%$) devem ser executados ensaios especiais, objetivando identificar variações de parâmetros de resistência e recalques do maciço. Ou seja, deve se garantir que os recalques deste aterro não sejam consideráveis. Observar que esta análise deve ser feita seguindo os métodos próprios da mecânica dos solos e deve ser apresentada de forma detalhada no corpo do projeto.
- Deve ser esquematizado o zoneamento dos materiais do aterro, apresentando suas características geotécnicas (umidade in natura, teor de umidade ótimo, umidade de compactação, densidade in natura, densidade de compactação, grau de compactação).

A investigação de furos a trado pode ser complementada pela abertura de poço(s) de inspeção visual tátil, a determinação da densidade *in situ* e a umidade natural do solo. Estas servem para uma comparação aproximada de volumes de corte e de aterro compactados.

4.2.4 Estudo de Ocorrência de Materiais para Construção

No estudo de ocorrência de materiais para construção, distinguem-se:

- a) “Nas ocorrências de materiais granulares, julgadas viáveis pelos estudos preliminares, em cada nó da malha de 30 m de lado serão executados furos de sondagem com

coleta de amostras para realização de ensaios de granulometria por peneiramento simples, limite de liquidez, limite de plasticidade, de equivalente de areia, e em furos alternados, ensaios de compactação na energia mais adequada ao material, ISC, expansão e densidade in situ.

Para a avaliação dos volumes utilizáveis, só poderá ser considerada a área efetivamente sondada dentro dos limites definidos pelos furos de sondagens da malha da jazida, após eliminação de áreas exploradas ou de materiais inservíveis.

Deverão ser apresentados os boletins de todas as sondagens executadas onde, deverá constar a estaca, posição de cada furo, as cotas do início e fim de cada horizonte, a respectiva classificação expedita do material e verificação ou não de NA (Nível d'Água). Em todas as sondagens realizadas deverão ser coletadas amostras deformadas dos horizontes de materiais diversos ou horizontes de 2 metros, para o mesmo material.

Deverão ser apresentados os croquis das ocorrências de materiais, delimitando-se as malhas dos furos com os respectivos números, áreas dos materiais aproveitáveis, bem como os perfis dos solos correspondentes, constando às espessuras de capa e de material aproveitável.

Deverão constar ainda as informações tais como número da ocorrência, nome do proprietário, endereço, distância ao eixo da ferrovia, condições de acesso e exploração, vegetação existente e etc. Deverá ser apresentado o quadro estatístico dos resultados dos ensaios e as curvas granulométricas do material e da faixa da equação para a qual se enquadra, representando os valores de $X_{m\acute{a}x}$. e $X_{m\acute{i}n}$.

As características apresentadas pelo material para sublastro devem atender da Especificação Técnica relativa à sublastro.

b) Definida(s) a(s) pedreira(s) mais conveniente(s) para exploração serão realizadas investigações através de sondagens rotativas (\varnothing BX), a trado e/ou poço de inspeção, sendo estas duas últimas indicadas para definirem a capa de estéril. São estimados furos de rotativa, convenientemente locados, cujas profundidades serão tais que determinarão as condições de volume e exploração comercial.

As amostras de rocha de locais representativos para definirem a pedreira, serão provenientes de testemunhos das sondagens e de extrações em afloramentos. Os ensaios previstos são aqueles mencionados anteriormente para o Projeto Básico.

O relatório de apresentação dos resultados das investigações geotecnologias deverá vir acompanhado dos seguintes documentos relativos à pedreira:

- Cadastro de proprietários e benfeitorias existentes visando à desapropriação da área;
- Área a desapropriar;
- Desenhos indicando os acessos ao local e quilometragem;
- Volume de decapagem;

- Disponibilidade de energia elétrica, indicando potência disponível e voltagem;
- Em caso de exploração comercial: documentação que garanta o volume a ser utilizado, garantia de fornecimento e garantia do preço de fornecimento.

As características que o material para lastro deve apresentar constam de Especificação Técnica de Brita para Lastro.

Ocorrendo a possibilidade de não serem encontrados jazimentos de material pétreo para lastro que apresentem Los Angeles < - 30% poderão ser pesquisados jazimentos que apresentem Los Angeles de no máximo 40%.

- c) Só serão aceitas ocorrências de areia em exploração comercial, caso seja comprovada a não existência de ocorrências semelhantes não exploradas comercialmente na região;
- d) No caso das areias de rio, as sondagens para a coleta das amostras serão retiradas nos locais da exploração da ocorrência;
- e) No caso de materiais lateríticos serão realizados ensaios para determinação da relação sílica-sesquióxido.

4.2.5 Estudo de Fundação dos Aterros

Realização de ensaios e de sondagens ao longo dos segmentos dos aterros para orientar a elaboração dos projetos de engenharia, complementando e adequando as informações obtidas na fase de projeto básico.

4.2.5.1 Aterros Sobre Terrenos Moles e Compressíveis

Deve ser obtida:

- a) Definição da disposição espacial dos diversos extratos intervenientes na estabilidade do terrapleno e/ou capazes de induzir em recalques ao corpo estradal;
- 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. Tal análise deve ser apresentada detalhadamente no corpo do projeto e os ensaios relativos a tais estudos devem vir certificados.

A presença de nível d'água elevado aconselha sondagens à percussão nas investigações.

Deverão 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 a realizar deve ser menor no início, visando à verificação da heterogeneidade da ocorrência. Em função da maior ou menor heterogeneidade será aumentado o número das sondagens, reduzindo-se o espaçamento entre estas. Sugere-se um espaçamento entre sondagens de 50 a 100m.

Estas sondagens a percussão ($\varnothing 2 \frac{1}{2}$ ") deverão, além de atravessar toda camada de solo compreensível, alcançar solo residual com resistência mínima compatível as tensões geradas. Considerando que não seja possível a remoção e substituição do solo mole e/ou compressível, devido a elevadas profundidades de ocorrência ou a custo elevado de areia devido a altas distancias de transporte, deverá ser estudada a possibilidade de reforço da camada conjuntamente a adensamento por etapas de construção. Este estudo deve garantir que após executada, a ferrovia não sofra recalques. Observar ainda que, segundo a norma DNER PRO 381/98 (Projeto de Aterros sobre Solos Moles para Obras Viárias) a espessura máxima de remoção e substituição é de 3,0 metros; não se admitindo remoções parciais.

Devem ser realizadas investigações transversais ao eixo de forma a se delimitar a largura da camada mole/compressível visando à boa quantificação dos volumes de solos a serem tratados e/ou removidos.

Quando a solução de remoção total da camada mole não for viável, deve ser estabelecida a retirada de amostras para ensaios (SHELBY) além de ensaios de cisalhamento *in situ*. Serão então realizadas sondagens a percussão ($\varnothing 4$ ").

Para cada extrato compreensível, que constitui o depósito sedimentar, deverão ser realizados os seguintes ensaios:

- No campo:
 - Vane Test (a cada metro de profundidade, pelo menos em duas sondagens) - para determinação da resistência a cisalhamento *in situ*;
- No laboratório, em amostras "SHELBY"
 - Massa específica aparente;
 - Granulometria com sedimentação;
 - Limite de liquidez;
 - Limite de Plasticidade;
 - Densidade real dos grãos;
 - Adensamento;
 - Triaxial rápido consolidado não drenado com medida de pressão neutra.

4.2.5.2 Aterros Sobre Terrenos Íngremes

Deve ser obtido:

- a) Identificação espacial dos diversos extratos intervenientes na estabilidade global do conjunto encosta + terraplano;
- b) Definição do regime hídrico subsuperficial da encosta;

- c) Delimitação de zonas críticas onde a encosta natural apresenta indícios de instabilidade;
- d) Determinação da resistência ao cisalhamento dos diversos extratos acima mencionados.

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

Se necessário devem ser estabelecidas seções geológicas transversais.

Devem ser retiradas amostras indeformadas de camadas representativas e das que se apresentem mais críticas no tocante à estabilidade do conjunto aterro-encosta. Nestas amostras indeformadas, deverão ser realizados ensaios de cisalhamento direto rápido pré-adensado para caracterizar a resistência ao cisalhamento, além dos de caracterização completa.

4.2.6 Estudo dos Locais das Fundações das Obras de Arte Especiais

Seguir as diretrizes estabelecidas na ISF 216 (Projeto de Obras de Arte Especiais) para projetos ferroviários constante do documento denominado: Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Ferroviários.

No caso de presença de solos compreensíveis nos encontros, quando a remoção total da camada mole não se apresentar viável, deve ser estabelecida uma programação de ensaio "Vane Test" e de retirada de amostras para ensaios especiais de laboratório (Adensamento, Triaxial rápido consolidado não drenado com medida de pressão neutra, Massa específica aparente; Granulometria com sedimentação; Densidade real dos grãos, Limites de Atterberg). E, estudada a execução de reforço ou outra solução que garanta à adequabilidade da fundação a carga aplicada.

Deve ser aplicada metodologia análoga a de Aterros sobre Solos Moles e Compreensíveis, item 4.2.5.1.

4.2.7 Obras de Arte Correntes

Seguir as diretrizes estabelecidas na ISF 210 (Projeto de Drenagem) para projetos ferroviários constante do documento denominado: Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Ferroviários.

4.2.8 Estudo de Estabilidade dos Taludes

O trecho em projeto, considerando a estabilidade de taludes, deverá ser dividido em subtrechos homogêneos e em cada um deles deverá ser investigado, por amostragem, o comportamento dos taludes dos cortes de altura superior a 5 m. O mesmo cuidado deverá ser aplicado nos estudos dos locais de empréstimos e bota-foras.

As investigações deverão ser dirigidas para os seguintes objetivos:

- a) Determinação de índices físicos e resistência ao cisalhamento dos diversos materiais envolvidos;
- b) Feições lito-estruturais intervenientes na estabilidade de taludes a projetar.

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

Deverão ser realizados poços de inspeção na(s) linha(s) de “off-set(s)”, em número e posições suficientes para caracterizar a área em estudo.

Nestes poços deverão ser coletadas amostras deformadas em horizontes de materiais diferentes ou horizontes de 2 m do mesmo material. A coleta das amostras indeformadas deverá ser orientada em função do mapeamento geológico e de resultados de caracterização.

As amostras deformadas serão submetidas aos ensaios:

- Análise granulométrica por peneiramento simples;
- Análise granulométrica por sedimentação e densidade real dos grãos, em amostras representativas dos grupos de solos existentes com características geológico-geotécnicas similares;
- Limite de liquidez;
- Limite de plasticidade;
- Umidade natural;
- Solo - Ensaio de compactação – executado com no mínimo 5 pontos, conforme norma brasileira;
- Ensaio de CBR (ISC) e Expansão, conforme norma brasileira.

As amostras indeformadas serão submetidas aos ensaios:

- Massa específica aparente;
- Granulometria com sedimentação;
- Limite de liquidez;
- Limite de plasticidade;
- Densidade real dos grãos;
- Cisalhamento direto rápido pré-adensado na umidade natural e após saturação.

5 APRESENTAÇÃO

5.1 Fase de Projeto Básico

Relatório Síntese (em formato A4)

Relatório descritivo e justificativo, com explanação sobre as análises e estudos desenvolvidos, mapeamentos executados, investigações realizadas, resultados obtidos etc. que irá compor o Volume I Relatório do Projeto Básico e Documentos Básicos para Concorrência.

Memória Justificativa (em formato A4)

Relatório contendo descrição completa dos estudos elaborados, metodologias empregadas, critérios adotados, hipóteses formuladas, mapeamentos executados, investigações realizadas, resultados obtidos, memórias de cálculo, tabelas, ábacos, diagramas, gráficos, citações de bibliografia pertinentes, fotos, desenhos e esquemas que ilustrem pormenorizadamente todas as considerações e proposições efetuadas com base nos estudos desenvolvidos.

Mapeamento geológico - geotécnico de toda ferrovia, com representação das sondagens executadas, desenhado em plantas extraídas da matriz do Projeto Geométrico (formato A-1), na escala 1:500.

Perfil geológico - geotécnico preliminar de toda a ferrovia, com representação das sondagens executadas, desenhado em formato A-1, nas mesmas escalas (H/V) do Projeto Geométrico Básico.

Plantas e seções geológico - geotécnicas preliminares das ocorrências de materiais de construção, com representação das sondagens executadas, desenhadas no formato A-1 , nas escalas a serem definidas para cada situação .

Boletins de campo, perfis individuais de sondagem, resultados de ensaios, quadro resumo de ensaios etc.

Este relatório irá compor o Volume 3 – Memória Justificativa do Projeto Básico.

5.2 Fase de Projeto Executivo

Relatório Síntese (em formato A4)

Relatório descritivo e justificativo, com explanação sobre as análises e estudos desenvolvidos, mapeamentos executados, investigações realizadas, resultados obtidos etc. que irá compor o Volume I Relatório do Projeto e Documentos para Concorrência.

Memória Justificativa (em formato A4)

Relatório contendo descrição completa dos estudos elaborados, metodologias empregadas, critérios adotados, hipóteses formuladas, mapeamentos executados,

investigações realizadas, resultados obtidos, memórias de cálculo, tabelas, ábacos, diagramas, gráficos, citações de bibliografia pertinentes, fotos, desenhos e esquemas que ilustrem pormenorizadamente todas as considerações e proposições efetuadas com base nos estudos desenvolvidos.

Mapeamento geológico - geotécnico de toda ferrovia, com representação das sondagens executadas, desenhado em plantas extraídas da matriz do Projeto Geométrico (formato A-1), na escala 1:500.

Perfil geológico - geotécnico preliminar de toda a ferrovia, com representação das sondagens executadas, desenhado em formato A-1, nas mesmas escalas (H/V) do Projeto Geométrico Básico.

Plantas e seções geológico - geotécnicas preliminares das ocorrências de materiais de construção, com representação das sondagens executadas, desenhadas no formato A-1 , nas escalas a serem definidas para cada situação .

Boletins de campo, perfis individuais de sondagem, resultados de ensaios, quadro resumo de ensaios etc.

Este relatório irá compor o Volume 3A – Estudos Geotécnicos do Volume 3 - Memória Justificativa.

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	7
1 OBJETIVO	9
2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O DIMENSIONAMENTO DA PLATAFORMA FERROVIÁRIA	9
2.1 Resistências da Via	9
2.3 Tensões admissíveis e CBRs mínimos	11
2.4 Cota da plataforma	11
3 FASES DOS ESTUDOS	12
4 EXECUÇÃO DOS ESTUDOS	12
4.1 Fase de Projeto Básico	12
4.1.1 Elaboração de Plano de Sondagens	13
4.1.2 Estudos dos Cortes	13
4.1.2.1 Perfil Preliminar para Elaboração do Plano de Sondagem com Extensão de Corte < 500 m	14
4.1.2.2 Perfil Preliminar para Elaboração do Plano de Sondagem com Extensão de Corte ≈ 500 m a 1.000 m.....	18
4.1.2.3 Perfil Preliminar para Elaboração do Plano de Sondagem com Extensão de Corte ≈ 1.000 m a 1.500 m.....	21
4.1.2.4 Perfil Preliminar para Elaboração do Plano de Sondagem com Extensão de Corte ≈ 1.500 m a 2.000 m.....	24
4.1.2.5 Investigações Geotécnicas e Realização de Ensaios de Laboratórios.....	27
4.1.3 Estudos das Fundações de Aterros.....	27
4.1.4 Estudos das Fundações de Obras de Artes Especiais e Obras de Arte Correntes	30
4.1.5 Estudo de Ocorrências de Materiais Naturais de Construção	30
4.1.6 Estudo de Ocorrências de Material para Sublastro	31
4.1.7 Estudo de Ocorrências de Materiais Pétreos para Lastro e Agregado	31
4.1.8 Estudo de Materiais Granulares Naturais para Agregado, Filtros e Colchões Drenantes	32
4.1.8.1 Ensaios para Agregado	33
4.1.8.2 Ensaios para Filtros e Colchões Drenantes.....	33
4.2 Fase de Projeto Executivo.....	33
4.2.1 Elaboração de Plano de Sondagem ou Investigações	33

4.2.2	Estudo do Subleito e Cortes	34
4.2.3	Estudo de Empréstimo para o Corpo de Aterro.....	34
4.2.4	Estudo de Ocorrência de Materiais para Construção	35
4.2.5	Estudo de Fundação dos Aterros	37
4.2.5.1	Aterros Sobre Terrenos Moles e Compressíveis	37
4.2.5.2	Aterros Sobre Terrenos Íngremes	38
4.2.6	Estudo dos Locais das Fundações das Obras de Arte Especiais.....	39
4.2.7	Obras de Arte Correntes.....	39
4.2.8	Estudo de Estabilidade dos Taludes	39
5	APRESENTAÇÃO.....	41
5.1	Fase de Projeto Básico	41
5.2	Fase de Projeto Executivo.....	41
	ÍNDICE.....	43