

DIRETRIZES PARA INVESTIGAÇÕES DE CAMPO EM PROJETOS DE TÚNEIS

ITA - Working Group 2
Research

Nº ISBN : ISBN 978-2-9701436-0-4

ITA REPORT Nº 15 / DECEMBER 2021

BRAZILIAN
TUNNELLING
COMMITTEE

CBT
COMITÉ
BRASILEIRO
DE TÚNEIS



ASSOCIATION
INTERNATIONALE DES TUNNELS
ET DE L'ESPACE SOUTERRAIN

ITA
AITES
INTERNATIONAL TUNNELLING
AND UNDERGROUND SPACE
ASSOCIATION

“ Se você não sabe o que você deve estar procurando em uma investigação de campo, é provável que não venha a encontrar muita coisa de valor. O que se procura deve ser sugerido pelo seu entorno ambiental natural, e por a natureza do problema construtivo a ser resolvido. Assim, um programa detalhado de investigação não pode ser decidido em um dia e ser confiável, e o engenheiro que, em longo prazo é responsável pela solução do problema de engenharia, não deve esperar para pedir uma investigação no local e, em seguida, julgar o assunto até que um relatório seja colocado em cima de sua mesa ».

R. Glossop, 8th Rankine Lecture

DIRETRIZES PARA INVESTIGAÇÕES DE CAMPO EM PROJETOS DE TÚNEIS

ITA - Working Group 2 Research

Este presente estudo de investigações de campo para projetos de obras subterrâneas teve o seu início com um pedido feito durante a reunião do Conselho Executivo, realizada em Kyoto, Japão, em novembro de 2001, liderada pelo professor André Assis, ex-presidente da Associação Internacional de Túneis (ITA).

Considerando que não é possível pré-definir detalhadamente as condições do maciço antes de um túnel ser construído, os riscos geológicos existem em qualquer projeto. O objetivo das investigações de campo é fornecer a informação adequada e confiável nas fases iniciais do projeto, a fim de melhorar o conhecimento do maciço, avaliar diversas soluções de engenharia e escolher métodos de construção que lidem melhor com os riscos potenciais identificados.

As investigações de campo devem ser conduzidas no âmbito da estratégia global da gestão de riscos do projeto (ver «Diretrizes para a Gestão do Risco em Túneis», WG2, 2004) e deve seguir o princípio ALARP (tão mínimos quanto

razoavelmente praticável - tradução de as low as reasonably practicable) visando redução de riscos - ou seja, riscos geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos.

O nível de risco aceitável, tal como definido pelo princípio ALARP, pode ser especificado em diferentes maneiras, dependendo da fase de projeto, sendo que a estratégia de investigação de campo deverá levar isso em consideração. O esforço exigido durante as investigações de campo (no âmbito das investigações e dos custos relacionados) irá variar de acordo com o desenvolvimento do projeto, e terá que se concentrar em melhorar progressivamente o nível de conhecimento. O esforço necessário em qualquer fase dependerá da complexidade do empreendimento e terá impacto direto sobre sua mitigação de risco e custo.

Este documento apresenta a estratégia para as investigações de campo com base nas melhores práticas internacionais, com o objetivo de elevar o ganho em termos de aquisição de conhecimento em determinada fase de projeto,

evitando abordagens equivocadas comuns em termos de esforço de investigação e responsabilidade.

Espera-se que este documento seja um guia útil para futuros projetos de túneis.

Como Animador e Vice-Animador do Grupo de Trabalho 2 (WG2) da ITA, agradecimentos às importantes contribuições das seguintes pessoas: Eric Leca como o ex-Animador e atual tutor do WG2 que anteriormente conduziu este estudo; David Chapman, Elena Chiriotti, Giorgio Höfer-Ollinger e Emmanuel Humbert que redigiram o texto; todos os membros do WG2 que contribuíram para recolher as histórias de casos relevantes e para finalizar o documento, os revisores do WG2 Ron Tluczek, Conrad Felice e William Hansmire, e os revisores da ITA, Harvey Parker, Amanda Elioff, e Robert Galler.

Chungsik Yoo, Animador do Grupo de Trabalho 2 (WG2)

Elena Chiriotti, Vice-Animadora do Grupo de Trabalho 2 (WG2)

DOCUMENTO TRADUZIDO POR :

DRA. DANIELA GARROUX G. DE OLIVEIRA, COM REVISÃO DE ANDRÉ PACHECO DE ASSIS, PHD E ELOI ANGELO PALMA FILHO, M. ENG.

PUBLICADO EM PARCERIA COM O COMITÊ BRASILEIRO DE TÚNEIS - CBT

BRAZILIAN
TUNNELLING
COMMITTEE

CBT
COMITÊ
BRASILEIRO
DE TÚNEIS



1. INTRODUÇÃO	5
1.1 Conteúdo.....	5
2. PRINCIPAIS FINALIDADES PARA REALIZAÇÃO DE INVESTIGAÇÕES DE CAMPO.....	6
2.1 Finalidade das Investigações de Campo.....	6
2.2 Fatores de Influência em Investigações de Campo.....	6
2.3 Partes interessadas	7
2.4 Atribuições e Responsabilidades.....	7
3. DIRETRIZES PARA INVESTIGAÇÃO DE CAMPO EM VÁRIAS FASES DE PROJETO.....	9
3.1 Geral	9
3.2 Componentes das Investigações de Campo.....	9
3.3 Investigação em fases de projetos	9
3.3.1 Investigações para estudos de viabilidade.....	10
3.3.2 Investigações para projeto preliminar.....	11
3.3.3 Investigações para projeto detalhado	11
3.3.4 Investigações durante a fase construtiva	12
3.3.5 Outras utilizações dos resultados obtidos em investigações de campo	12
4. DOCUMENTAÇÃO DE INVESTIGAÇÕES DE CAMPO E RELEVÂNCIA CONTRATUAL .	14
4.1 Introdução	14
4.2 Relatórios de Investigação de Campo.....	14
5. CONCLUSÕES / REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
ANEXO 1 - Elementos de investigação de campo.....	17
ANEXO 2 - Estudos de Caso.....	18
ANEXO 3 - Custo de Investigações de Campo.....	29
ANEXO 4 - Documentação de Investigações de Campo.....	31

1 >> INTRODUÇÃO

Devido ao fato de que a geologia de engenharia tridimensional em projetos de túneis subterrâneos não pode ser totalmente definida antes da construção, há mais incógnitas e, portanto, riscos nestes projetos quando comparados aos demais projetos de infraestruturas que envolvem estruturas como pontes e edifícios.

A necessidade de um bom conhecimento de geologia e de engenharia geológica é essencial para um empreendimento subterrâneo, e deve prever investigações desde o início. A geologia afeta cada decisão importante a ser tomada na concepção e construção de um túnel, determinando o seu custo, e até mesmo o desempenho do produto final.

Uma investigação de campo cautelosa é essencial para um projeto de túnel bem sucedido. Um programa completo não só irá incluir a aquisição e confronto de todas as informações e dados, mas a avaliação criteriosa de parâmetros de projeto a ser utilizado para avaliar a sua viabilidade, decidir sobre um alinhamento adequado e ideal, projetando as contenções do maciço e/ou de seu suporte ou revestimento, e avaliar o método e programa de construção resultante. Mais importante, ele deve fornecer uma linha de base para a licitação e prever possíveis dificuldades construtivas, de modo a garantir um desempenho seguro e econômico, e avaliar os impactos da construção do túnel sobre o meio ambiente, a população limítrofe e estruturas adjacentes.

1.1 CONTEÚDO

O objetivo deste relatório é compartilhar e divulgar as abordagens existentes sobre investigações de campo em projetos de túneis, a fim de melhorar as práticas internacionais por meio de revisões e avaliações da informação geotécnica necessária para o projeto, considerando as questões ambientais e construtivas. Este relatório fornece um guia geral para procedimentos de investigação local, que podem ser adaptados para atender às necessidades específicas de cada projeto, podendo incluir riscos técnicos, normas locais, aspectos contratuais etc.

Considerando que as condições *in situ* podem não ser totalmente conhecidas até que estas sejam observadas diretamente ao longo do túnel, o programa de investigação de campo deve ser gradual visando corresponder aos objetivos das fases de projeto subsequentes, de modo que cada fase revele mais dados sobre incertezas ou questionamentos específicos. Esta diretriz aborda as várias fases que são necessárias para investigações de campo do projeto, desde etapas antes do início da construção até a atualização sistemática do modelo geológico-geotécnico e hidrogeológico durante a construção.

O âmbito da investigação de campo não deve se limitar aos aspectos geotécnicos, mas também deve considerar o ambiente no entorno do túnel proposto, identificando quaisquer riscos potenciais associados.

Este relatório irá discutir os benefícios da divisão em etapas da investigação local, ao comparar as condições conhecidas versus incertezas e o valor da informação adicional versus implicações de custo. Este documento define uma estratégia geral sobre como se obter as informações de campo necessárias para auxiliar tanto o cliente, o engenheiro, assim como o empreiteiro cumprirem as metas do projeto. Como cada empreendimento subterrâneo terá necessidades individuais, bem como diferentes riscos e perfis geotécnicos, estas orientações gerais terão de ser desenvolvidas e adaptadas para atender aos requisitos específicos de cada empreendimento.

Os detalhes práticos e técnicos da realização de uma investigação de campo (por exemplo, os métodos de perfuração, métodos de amostragem, métodos disponíveis para a realização de testes *in situ* e laboratoriais, a interpretação dos dados e sua caracterização, classificação e análise dos inúmeros parâmetros obtidos a partir da investigação de campo) não serão abrangidos por este documento e o leitor é aconselhado a se referir a normas e livros técnicos especializados.

2 >> PRINCIPAIS FINALIDADES PARA REALIZAÇÃO DE INVESTIGAÇÕES DE CAMPO

2.1 FINALIDADE DAS INVESTIGAÇÕES DE CAMPO

As investigações de campo devem ser vistas como parte integrante do processo de gerenciamento de risco em um projeto de túnel. Sem dados ou informações suficientes a partir das investigações de campo, os riscos inerentes à construção e operação do túnel ou quaisquer obras subterrâneas podem ser inaceitavelmente elevados. As investigações de campo devem, portanto, serem consideradas a base sobre a qual os riscos associados ao projeto serão identificados.

Em cada etapa da investigação de campo de certo empreendimento, os dados coletados e interpretados formarão a base para alcançar os seguintes objetivos:

- Avaliação dos méritos técnicos e econômicos das alternativas de projeto;
- Escolha da alternativa e do alinhamento mais adequados;
- Preparação de um projeto adequado e econômico para o túnel(s) e estrutura subterrânea(s);
- Seleção de métodos construtivos adequados com riscos inerentes baixos;
- Identificar as dificuldades ou riscos que possam vir a surgir durante a construção e avaliar medidas de mitigação potenciais;
- Avaliar o impacto sobre o meio ambiente, a população litorânea e estruturas existentes;
- Avaliar a reutilização ou bota-fora de materiais de escavação;
- Prever a produtividade, cronograma e custo;
- Prever uma documentação geológico-geotécnica que sirva de referência para a licitação.

Todas as investigações de campo devem ser iniciadas com o levantamento de todos os dados existentes no que diz respeito a história do local da obra, a geologia prevista, as estruturas existentes e suas fundações, serviços públicos na área, históricos de investigações geológico-geotécnicas etc.

A informação a ser obtida deve incluir geologia, geomorfologia, dados sísmicos, hidrogeologia, dados geotécnicos de laboratório e resultados

dos testes in situ realizados anteriormente. Esta informação deve estabelecer em três dimensões a estrutura geológica, a sucessão e caráter dos estratos presentes, as condições das águas subterrâneas e a presença de quaisquer perigos específicos. O conjunto de dados a serem coletados será determinado pelos requisitos específicos de construção e de desempenho do túnel ou estrutura subterrânea proposto.

Uma investigação de campo eficaz é melhor alcançada pela realização do trabalho em várias etapas. Cada etapa tem o objetivo de preencher lacunas no conhecimento existente do local ou para confirmar ou corrigir as previsões anteriores. Um programa inflexível não deverá ser seguido. A filosofia de planejamento e execução da investigação de campo deve ser:

- a) Para decidir que informações procurar - este programa será derivado de uma crítica das necessidades geotécnicas do projeto com uma compreensão da geologia geral, caráter e uso prévio da área, em comparação com o conhecimento detalhado adquirido até à data;
- b) Para a concepção das investigações de campo, visando fornecer informações adicionais utilizando os métodos mais adequados e ao mesmo tempo trazendo atenção para as variações ou anomalias que possam ocorrer e que possam exigir mudanças na investigação planejada.

E por último, mas não menos importante, a confiabilidade e robustez dos dados devem ser continuamente revistos quanto forem obtidas novas informações, de modo que o esforço de investigação seja maximizado pela adaptação do programa às condições encontradas. O conhecimento detalhado adquirido em cada fase deve ser utilizado para atualizar o modelo do terreno, reduzindo o nível de incerteza, assim como no planejando de novas investigações.

2.2 FATORES DE INFLUÊNCIA EM INVESTIGAÇÕES DE CAMPO

Os seguintes fatores são identificados por influenciar a extensão, confiabilidade e desenvolvimento de investigações de campo:

• Geologia, hidrogeologia e geomorfologia

Quanto mais complexas as condições do terreno encontradas, maior o esforço adicional necessário a fim de alcançar um nível adequado de confiança na confiabilidade dos dados. Isto pode ser prejudicado em zonas inacessíveis, onde investigações in situ possam ser difíceis de serem realizadas e as técnicas de investigações indiretas, como sensoramento remoto e/ou investigações geofísicas, devam ser priorizadas.

• Características do projeto

O escopo e foco de uma investigação no local serão definidos pelas restrições e geometria do projeto (ou seja, profundidade e arranjo das obras subterrâneas e obras acessórias relacionadas, tais como passagens transversais, saída e/ou poços de ventilação, acessos, galerias etc.), bem como a sua localização (ou seja, regiões montanhosas ou urbanas, a complexidade de construção de acessos, emboques e poços, etc.).

• Função do empreendimento

Cada empreendimento terá necessidades individuais, bem como riscos e perfil geotécnico únicos que irão determinar os requisitos específicos, por exemplo, depósito de resíduos nucleares, exploração mineira, túneis urbanos etc.

• Fase de projeto / Fase de investigação

O esforço para ser alocado em investigações de campo devem ser condizentes com a fase de projeto. O conhecimento detalhado adquirida em cada fase das investigações de campo deve ser utilizado para atualizar o modelo do terreno, a fim de planejar o escopo de novas investigações necessárias para reduzir o nível de incerteza residual na próxima etapa do projeto.

• Método construtivo

Uma vez que o método construtivo seja definido, investigações de campo e/ou ensaios de laboratório possam ser requeridos visando a obtenção de parâmetros de projeto para escavação mecanizada versus escavação convencional.

• Considerações ambientais

Fatores ambientais podem desencadear o tipo e a extensão das investigações específicas e necessárias para caracterizar o ambiente natural (por exemplo, qualidade das águas

2 >> PRINCIPAIS FINALIDADES PARA REALIZAÇÃO DE INVESTIGAÇÕES DE CAMPO

subterrâneas, os fatores de poluição) e/ou o ambiente urbano (por exemplo, ruído, qualidade do ar, edifícios existentes, zonas de alagamento).

Depois de considerar todos os fatores de influência mencionados acima, em cada fase específica de um projeto, será possível definir o escopo ideal da investigação de campo requerida. O nível de investigação de campo necessária para alcançar objetivos específicos podem variar consideravelmente. Até mesmo os estudos preliminares podem exigir um investimento inicial não negligenciável quando os riscos do projeto e perfil geotécnico são complexos e podem afetar a viabilidade do trabalho subterrâneo. Dependendo do tamanho e da complexidade do projeto, galerias e poços exploratórios podem ser escavados para alcançar um nível suficiente de informações.

É da responsabilidade do Proprietário da obra aprovar o escopo da investigação de campo, assim como o cronograma e os custos associados. No entanto, muitas vezes ocorrem fatores eventuais, o que pode influenciar a determinação do Proprietário, que terá um impacto sobre o sequenciamento e eficácia ideais das investigações. Por um lado, isso pode ser parte do papel e da responsabilidade do proprietário. No entanto, por outro lado, o Proprietário deve ser plenamente informado e sensibilizado para:

- O impacto que a sua decisão(s) pode ter sobre a robustez dos conhecimentos adquiridos;
- O risco relacionado a investigações insuficientes;
- As incertezas residuais que estarão presentes;
- O nível de risco que seu projeto será exposto.

2.3 Partes interessadas

Durante o processo de desenvolvimento de um projeto de túnel, as seguintes partes interessadas estão envolvidas:

- **O cliente** (proprietário);
- **O engenheiro** na posição de projetista por parte do cliente;
- **O empreiteiro**, e seu projetista dependendo dos aspectos contratuais;

• Terceiros, incluindo:

- ◆ Proprietários/Gerentes de utilidades, estruturas subterrâneas públicas e estruturas superficiais públicas que podem ser influenciados pela construção do túnel;
- ◆ Proprietários de terrenos ou edificações lindeiras que possam ser influenciados pela construção do túnel;
- ◆ População lindeira que vivem e/ou trabalham dentro da zona de influência do alinhamento do túnel;
- ◆ Aqueles que possam se beneficiar ou ser colocadas em desvantagem durante e após a construção do túnel.

2.4 Atribuições e Responsabilidades

O Proprietário, o Empreiteiro e Projetistas têm diferentes níveis de responsabilidade no que diz respeito ao desenvolvimento de um projeto, e todos têm de cumprir com suas obrigações e contribuir - em diferentes graus - para o controle do custo do projeto e cronograma, e para a preservação do meio ambiente.

As tarefas e responsabilidades das diferentes partes envolvidas com as investigações no local durante o desenvolvimento de um projeto de túnel será dependente do modelo contratual escolhido para o projeto. No entanto, recomenda-se que o proprietário detenha a responsabilidade final para as condições do terreno, independentemente da estrutura contratual adotada para o projeto.

Como afirmado no «Relatório Geológico-Geotécnico de Base para Construções – Diretrizes Sugeridas» (“Geotechnical Baseline Report for Construction - Suggested Guidelines”) da ASCE, 2007:

“Na contratação tradicional, o proprietário e seu engenheiro de projeto irão abordar o escopo completo da investigação geotécnica, incluindo a exploração das condições do maciço ao longo do alinhamento do projeto. Sob o método DB (projeto e construção), o proprietário pode tentar transferir a responsabilidade deste esforço para a equipe DB, seja para atingir eficiências de programação, transferir riscos de subsuperfície, ou por outros motivos.

Recomenda-se que o mesmo nível de exploração seja realizado antes da aquisição DB, como seria realizado sob o método tradicional.

Para «economizar» na quantidade de informações de subsuperfície fornecida antes das propostas DB, se aumenta o risco de que o projetista terá informações insuficientes para fundamentar um projeto confiável.”

Estas são declarações relevantes que geralmente são compartilhadas entre a comunidade técnica e deve chamar a atenção para os seguintes aspectos:

- O Proprietário mantém a responsabilidade final pela exatidão das informações sobre as condições do maciço;
- O Proprietário tem a responsabilidade final na aprovação da extensão das investigações a serem implementadas em cada fase do projeto, que podem estar em conflito com o que seria ideal se tivesse sido requerido pelo Projetista. Sua decisão tem influência direta sobre se os custos adicionais antecipados durante investigações de campo, a fim de minimizar as incertezas, ou se os custos do efeito produzido por tais incertezas sobre o projeto serão potencialmente abrangidos como uma soma provisória de risco;
- Geralmente, é muito mais rentável realizar as investigações de campo apropriadas no momento certo do projeto, ao invés de tentar fazer provisões para as investigações e riscos numa fase posterior deste;

Na verdade, no primeiro caso, a maioria das incertezas ligadas às condições do maciço são resolvidas antes da construção, o que auxilia na elaboração de um projeto econômico e seleção dos métodos construtivos adequados com riscos inerentes baixos. A informação adequada sobre as condições do maciço contribui para o desenvolvimento de uma relação proativa e positiva entre todas as partes envolvidas no projeto, assim como o controle do cronograma e custos envolvidos.

Neste último caso, maiores incertezas residuais podem levar a abordagens conservadoras no projeto, maiores provisões para riscos ou maior exposição ao risco de pleitos contratuais.

2 >> PRINCIPAIS FINALIDADES PARA REALIZAÇÃO DE INVESTIGAÇÕES DE CAMPO

- O Proprietário deve alocar tempo suficiente, financiamento e recursos para o Projetista desenvolver e coordenar o programa de investigações, interpretar os resultados das investigações, avaliar as incertezas residuais e desenvolver um projeto adequado;
- Os trabalhos de investigação de campo devem permanecer sob a responsabilidade do Proprietário, e devem, preferencialmente, serem excluídos do contrato do Projetista. Recomenda-se que sejam realizados por uma licitação dedicada exclusivamente para a sua execução. Isto permite evitar os seguintes efeitos negativos que poderiam ser relacionados com os custos das investigações de campo, inclusos em um contrato de serviço de engenharia de montante fixo:
 - ◆ Os licitantes para o cargo de Projetista podem propor uma investigação reduzida para se manterem competitivos; como consequência, a extensão e a qualidade das investigações poderiam ser insuficientes;
 - ◆ A responsabilidade pelos dados coletados pode ser transferida para o Projetista, enquanto deveria permanecer com o Proprietário, que é responsável por aprovar e consentir o escopo, o programa e os custos de investigações de campo.

Qualquer economia aparente em termos de custo e/ou envolvimento técnico pelo Proprietário poderia resultar em um projeto excessivamente conservador (ou mesmo muito otimista), riscos residuais maiores e/ou riscos geológico-geotécnicos não identificados.

- O risco relacionado com as incertezas do terreno deve ser devidamente gerido, e podendo ser compartilhado entre as partes, em especial entre o Proprietário e o Empreiteiro. A prática frequente encontrada entre os Proprietários em nível mundial é a de tentar transferir o risco geotécnico total ao Empreiteiro, especialmente em contratos DB, não facilitando a gestão adequada dos riscos, sem dispensar o

Proprietário das suas responsabilidades finais. Esta transferência de risco geotécnico, especialmente quando acompanhada por um esforço reduzido inicial de investigações do maciço, pode ser eventualmente paga pelo Proprietário, por razões de um projeto conceitual conservador e/ou de um aumento de possíveis pleitos contratuais, revisões de projetos e atrasos de cronograma.

Consequentemente, as melhores práticas devem levar em conta o seguinte:

- ◆ A estratégia utilizada para investigações de campo deve, na medida do possível, ser independente do quadro contratual;
- ◆ Informações levam tempo para serem obtidas e mudanças de projeto devido à disponibilidade tardia de dados geológicos e geotécnicos terá um impacto mais negativo se ocorrerem nas últimas fases de projeto;
- ◆ Um esforço conjunto deve ser feito para reunir o máximo de informações durante a fase de projeto preliminar, com o objetivo de completar a maioria das investigações antes do início da fase de projeto detalhado;
- ◆ Como a confiabilidade dos dados e o conhecimento das condições de maciço dependem da quantidade de investigações e qualidade de sua interpretação, considera-se prudente estabelecer um quadro de riscos contratuais compartilhados adequados (Item 4).

3 >> DIRETRIZES PARA INVESTIGAÇÃO DE CAMPO EM VÁRIAS FASES DE PROJETO

3.1 GERAL

A finalidade e a extensão de qualquer investigação de campo dependem do status do projeto e da fase de investigação associada.

No que diz respeito a obras subterrâneas, a duração de uma campanha de investigação de campo do momento em que é concebida, contratada, executada e interpretada é, em cada fase de projeto, da ordem de meses a anos. Investigações simples tipicamente têm duração de 3 a 6 meses, mas investigações mais extensas podem se estender a um ano ou mais, dependendo da complexidade e variabilidade das condições de maciço ao longo do túnel e estruturas subterrâneas associadas. Em casos extremos, a investigação pode se estender por vários anos, se galerias e poços exploratórios sejam recomendados. Assim, não só o escopo e a extensão das investigações de campo precisam ser avaliados, mas também a sua duração dentro do cronograma geral de cada empreendimento.

As seguintes seções descrevem os componentes típicos, as várias fases de investigações de campo e suas finalidades.

3.2 COMPONENTES DAS INVESTIGAÇÕES DE CAMPO

Os componentes típicos das investigações de campo são os seguintes:

- **Trabalho prévio de escritório**, ou seja, pesquisa bibliográfica e coleta de informações já existentes, tais como:
 - ◆ Mapas regionais (topográfico, geológico, geofísico, riscos hidrogeológicos, naturais, sismicidade etc.);
 - ◆ Fotografias aéreas, imagens de satélite;
 - ◆ Literatura técnica, estudos e relatórios existentes sobre as condições do maciço;
 - ◆ Dados relativos aos projetos vizinhos e/ou similares;
 - ◆ Uso do meio físico e fatores ambientais;
 - ◆ Dados sísmicos, climáticos, pluviométricos e hidrológicos.

• Mapeamento e reconhecimento de campo:

- ◆ Mapeamento geomorfológico;
- ◆ Mapeamento geológico de campo, mapeamento geotécnico de afloramentos e amostragens;
- ◆ Mapeamento hidrogeológico, levantamento de gestão da água, amostragem.

• Investigações de campo:

- ◆ Investigações diretas: poços de teste, sondagens e amostragens, ensaios in situ (ou seja, ensaios de tensões in situ, ensaios de Lugeon ou permeabilidade etc.);
- ◆ Investigações indiretas: métodos geofísicos, levantamentos aéreos;
- ◆ Levantamentos: topográficos, condições das construções e fundações lindeiras, cadastro interferências, ambiental, poços de captação de água;
- ◆ Monitoramento: geotécnico, hidrogeológico, acompanhamento de deslocamentos da superfície e de estruturas subterrâneas.

• Ensaios de laboratório:

- ◆ Ensaios de identificação e de classificação (incluindo testes mineralógicos e petrografia, se necessário);
- ◆ Ensaios geomecânicos de laboratório, em rocha e solo, para definição das propriedades de resistência e deformabilidade, comportamento dependente do tempo, dureza, abrasividade etc.;
- ◆ Hidroquímica.

• Túneis ou poços exploratórios, que podem incluir ensaios de campo para injeções, instalação de tirantes etc.

Mais informações sobre os detalhes técnicos e procedimentos dos métodos de ensaios podem ser obtidos a partir de normas técnicas e referências existentes.

Exemplos de informações e dados típicos que podem ser obtidos dos componentes acima mencionados são indicados no Anexo 1.

3.3 INVESTIGAÇÃO EM FASES DE PROJETOS

O fluxograma na Figura 1 mostra como se interligam ou se correlacionam as várias fases de uma investigação de campo com as fases de projeto de um túnel. Três fases de projeto são consideradas antes da construção:

- **Estudos de viabilidade** (incluindo de pré-viabilidade, viabilidade técnica e conceitual, quando aplicável);
- **Projeto preliminar/básico** (incluindo quaisquer projetos para pedidos de licenciamento ou aprovações, quando aplicável), sendo referido no texto como projeto preliminar;
- **Projeto detalhado/final**, referido no texto como projeto detalhado.

Além disso, investigações de campo específicas podem ser realizadas durante a fase de construção. Mais detalhes sobre cada uma destas investigações é discutida nas seguintes subseções.

O fluxograma também ilustra o escopo do trabalho a ser realizado em cada fase de investigação de campo, a saber:

- **Estudos de viabilidade:** para coletar dados suficientes para confirmar a viabilidade do projeto;
- **Projeto preliminar:** para determinar quantitativamente as características do terreno, de modo que as soluções técnicas possam ser desenvolvidas a ponto que seja possível estabelecer custos e cronograma de forma confiável;
- **Projeto detalhado:** reduzir a incerteza residual e os riscos inerentes a um nível tão baixo quanto razoavelmente possível.

Considerando que o escopo e a extensão das investigações de campo dependem do nível de incerteza e da complexidade das condições de maciço, o fluxograma acomoda uma estrutura básica que pode ser adaptado de acordo com cada tipo de empreendimento.

A confiabilidade e a robustez do modelo do terreno têm que corresponder com os objetivos em cada fase de projeto, conforme o Item 2.1. Isso pode exigir um processo iterativo de

3 >> DIRETRIZES PARA INVESTIGAÇÃO DE CAMPO EM VÁRIAS FASES DE PROJETO

obtenção de dados, avaliação, reavaliação e redefinição das investigações dentro da mesma fase de projeto.

Em projetos complexos, onde galerias e poços exploratórios são solicitados, os resultados de tais investigações estarão disponíveis

progressivamente durante as fases de projeto preliminar e detalhado, exigindo fases adicionais de revisão de projeto. Embora esses dados sejam obtidos para a duração da fase de projeto, o trabalho exploratório deve estar completa antes da conclusão do projeto detalhado. Em geral, quanto mais cedo a exploração é feita,

maior o potencial de economia, implicando em um projeto mais barato e melhor.

Pode ser feita referência ao Anexo 2, onde vários casos históricos são listados.

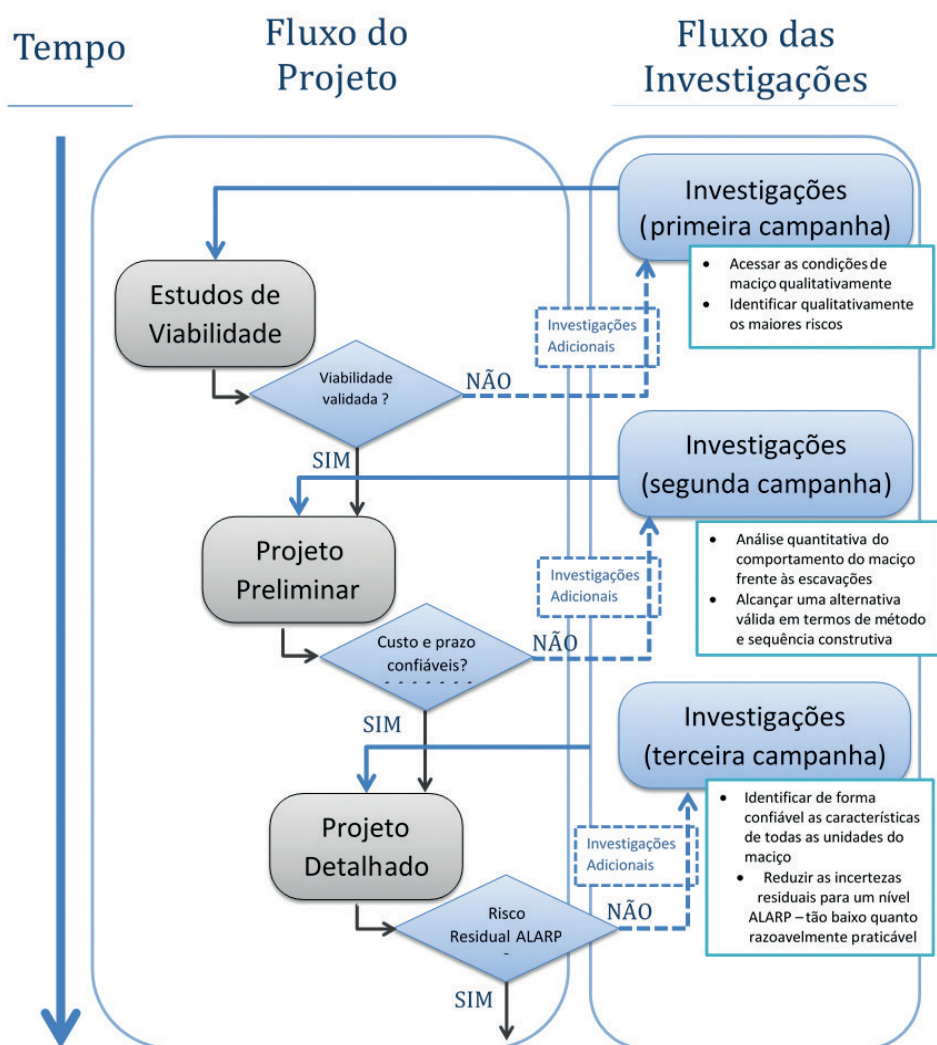


Figura 1 – Estratégia de divisão de fases recomendada e o escopo de investigações de campo, em relação às fases de projeto de um túnel.

3 >> DIRETRIZES PARA INVESTIGAÇÃO DE CAMPO EM VÁRIAS FASES DE PROJETO

3.3.1. Investigações para estudos de viabilidade

Estudos iniciais deverão ser realizados visando atingir os seguintes objetivos:

- Avaliar a adequação geral da localização da obra subterrânea;
- Obter a melhor interpretação das condições de maciço com base em dados existentes;
- Avaliar os méritos técnicos e econômicos de alinhamentos alternativos e suas respectivas condições de maciço;
- Fazer estimativas em nível conceitual de custo e cronograma;
- Identificar os principais riscos e/ou falhas fatais e propor um Registro de Riscos;
- Avaliar as condições de maciço e os riscos do projeto, se houver, o que poderia determinar sua viabilidade.

3.3.2 Investigações para projeto preliminar

As investigações de projeto preliminar devem ser realizadas para atingir os seguintes objetivos:

- Desenvolver um modelo 3D de condições geológicas que caracterizem quantitativamente o terreno e o regime hidrogeológico, a um nível que permita:
 - ◆ Escolha do alinhamento mais adequado;
 - ◆ Preparação de um projeto adequado e econômico, juntamente com a estimativa preliminar de custos;
 - ◆ Seleção de métodos de construção adequados com risco inerente considerando o princípio ALARP, incluindo a previsão do comportamento do maciço frente às escavações, determinando as diferentes classes de contenção

temporária e sua distribuição ao longo do traçado do túnel, juntamente com uma gama de variação possível, assim como o projeto das obras acessórias e emboques;

- Definir a extensão da zona de influência e para estimar o impacto que isso pode ter sobre as estruturas lindeiras ou superfície;
- Identificar quantitativamente os riscos, avaliando o seu impacto sobre o custo e possíveis atrasos no cronograma, decidindo sobre medidas de redução do risco;
- Fornecer uma gama razoável de custo provável e duração da obra;
- Avaliar o nível de incerteza residual de modo que a necessidade de investigação adicional do maciço possa ser identificada;
- Fornecer informações para a EIA (Estudo de Impacto Ambiental), considerando os requisitos legais.

FASE DE PROJETO	RESULTADOS ESPERADOS	MEIOS DE INVESTIGAÇÃO
Estudos de Viabilidade	Mapas geológicos e hidrogeológicos. Mapa de suscetibilidade, quando for o caso. Seção geológica longitudinal. Seção geotécnica e geomecânica longitudinal, com a identificação qualitativa das classes de comportamento do maciço e na identificação dos principais riscos (com avaliação qualitativa). Preparação de Registro de Riscos.	Mapas regionais topográficos, geológicos, hidrogeológicos / águas subterrâneas, risco sísmico. Informações de levantamentos de campo e/ou projetos semelhantes adjacentes. Geofísica pode fornecer informações úteis. Investigações em locais limitados para confirmar as condições geológicas ou extremamente críticas (por exemplo, falhas, cavidades cársticas, presença de aquíferos, se necessário).

3.3.3 Investigações para projeto detalhado

As investigações de projeto detalhado devem ser realizadas para atingir os seguintes objetivos:

- Reduzir a incerteza residual a um nível ALARP;
- Planejar e executar as investigações de campo e de laboratório para confirmar as propriedades geotécnicas e hidrogeológicas das várias unidades do terreno;
- Para desenvolver um modelo geotécnico e hidrológico tridimensional de confiança para que o método(s) construtivo(s) possa ser validado e justificado por cálculo, detalhado em termos de especificações;
- Obter o conjunto completo de parâmetros de projeto (incluindo a sua gama potencial de variação), a fim de finalizar o dimensionamento de todos os elementos do projeto;
- Obter uma avaliação final e precisa do custo e duração;
- Atualizar o registro de riscos, reavaliar o nível de risco residual, e confirmar as medidas de mitigação, a fim de reduzir os riscos não aceitáveis para um nível ALARP;

FASE DE PROJETO	RESULTADOS ESPERADOS	MEIOS DE INVESTIGAÇÃO
Projeto Preliminar	Seção geológica longitudinal (1:5.000 a 1:2.000). Seção longitudinal geotécnica e geomecânica (1:5000 a 1:2000), com caracterização quantitativa do comportamento das classes de maciço e identificação dos riscos. Seções transversais geológico-geotécnicas na área de emboques (1:500 a 1:200). Seções geológico-geotécnicas ao longo dos acessos e poços de ventilação. Caracterização preliminar do regime hidrogeológico. Atualização do Registro de Risco.	Geofísica e sondagens nos emboques e poços. Sondagens ao longo do alinhamento. Monitoramento de drenagens e de águas subterrâneas. Ensaios de laboratório. Mapeamento de superfície e em afloramentos. Medições de tensão in situ e ensaios de permeabilidade, quando apropriado. Galerias e poços exploratórios, se necessário.

3 >> DIRETRIZES PARA INVESTIGAÇÃO DE CAMPO EM VÁRIAS FASES DE PROJETO

- Identificar as necessidades de obtenção de informações geológicas, hidrogeológicas e geotécnicas adicionais, durante a fase de construção, incluindo os ensaios em escala completa de campo necessários, se houver.

3.3.4 Investigações durante a fase construtiva

Nesta fase, as investigações devem ser realizadas para os seguintes fins:

- Validar o modelo geotécnico e hidrogeológico tridimensionalmente, usando mapeamento e investigações à frente da face do túnel (por exemplo, perfuração de sondagens, geofísica), dados de desempenho da tuneladora etc.;
- Monitorar o comportamento do maciço, das soluções de contenções e do comportamento das águas subterrâneas;
- Atualizar sistematicamente o modelo 3D do maciço, a fim de prever seu comportamento e das águas subterrâneas na seção subsequente a ser escavada, e para verificar ou ajustar os métodos de projeto e construção;
- Analisar o material escavado e avaliar a sua reutilização potencial, ou eliminar o seu uso, tendo em conta as limitações ambientais;
- Registrar a condição de estruturas / construções que possam ser afetadas pelas escavações, e para controlar os deslocamentos do maciço.

3.3.5 Outras utilizações dos resultados obtidos em investigações de campo

Os resultados de todas as fases da investigação devem ser armazenados, centralizados e mantidos durante a construção e, em alguns casos, durante a operação da infraestrutura. Durante a construção, os dados devem ser analisados para verificar os pressupostos do projeto e para ajudar questões contratuais, se necessário. Numa fase posterior, os dados podem ser utilizados

FASE DE PROJETO	RESULTADOS ESPERADOS	MEIOS DE INVESTIGAÇÃO
Projeto Detalhado	Seção geológica longitudinal (1/2000 a 1/1000).	Sondagens adicionais, tanto em emboques e ao longo do alinhamento.
	Seção geotécnica e geomecânica longitudinal detalhada (1/2000 a 1/1000), com a caracterização quantitativa do comportamento do maciço e classes de contenção, dos perigos identificados, distribuição das seções de contenção e controles durante a construção.	Ensaios de laboratório e in situ.
	Seções geológico-geotécnicas transversais nos emboques, poços e ao longo do túnel (1/200 a 1/100).	Em casos / locais específicos, geofísica pode fornecer informações úteis.
	Definição de conjunto detalhado de parâmetros de projeto e sua variabilidade.	Escavação de seções experimentais ao longo do alinhamento do túnel, se necessário.
	Caracterização detalhada do regime hidrogeológico.	Continuar o programa de controle de drenagens e águas subterrâneas.
	Atualização do Registro de Risco.	
	Especificações para investigações durante a construção.	

quando modificações ou atualizações estão para ser implementadas ou quando problemas venham a surgir durante manutenção ou operação. Estes dados seriam continuamente atualizados com dados de monitoramento de instrumentação geotécnica e ambiental.

Recomenda-se que um modelo baseado em GIS seja estabelecido para organizar e armazenar os dados do empreendimento em um sistema georeferenciado. Isto é especialmente importante para empreendimentos complexos, onde uma quantidade significativa de informação é gerada e os dados validados têm que estar rapidamente disponíveis e compartilhados entre as diferentes partes interessadas. É aconselhável que o Proprietário inicialize e mantenha este sistema em todo o ciclo de vida do empreendimento.

3.4 COMPROMETIMENTO OBRIGATÓRIO NAS INVESTIGAÇÕES DE CAMPO

Projetos de túneis demandam uma investigação abrangente, que requer tempo e despesas consideráveis. Portanto, investigações de campo adequadas desempenham um papel

fundamental na implementação de uma estratégia global de gestão de riscos do projeto (ver «Diretrizes de Gestão de Riscos em Túneis», ITA WG2, 2004). Além disso, a indústria de seguros exige que o projeto a ser segurado seja coberto por investigações abrangentes e aperfeiçoadas (ITIG, 2012).

Consequentemente, o proprietário tem que estar ciente de que a investigação deve ser planejada com base na informação necessária e não com base no custo, demandando cronogramas e orçamentos suficientes. Economias nas fases de investigação podem aparentemente economizar tempo no cronograma de concepção e/ou em sua proposta, mas geralmente não permitiria alcançar o projeto melhor e mais econômico, visando delimitar uma quota adequada de risco na definição das condições contratuais entre o Proprietário e o Contratante, assim como a melhora do controle do custo e cronograma durante a construção do empreendimento.

Como já mencionado, investigações no local devem ser executadas em várias fases, e concebida como um processo iterativo com metas específicas em cada fase.

3 >> DIRETRIZES PARA INVESTIGAÇÃO DE CAMPO EM VÁRIAS FASES DE PROJETO

No início do projeto, em geral, a proporção dos conhecimentos adquiridos com o esforço dispendido é alta. Estudos de mapeamento de campo e de escritório são relativamente baratos e além disso fornecem muitas informações. O «conhecimento vs a curva do custo», mostrado esquematicamente na Figura 2, é, por conseguinte, mais acentuada nesta fase. Consequentemente, esta fase é de suma importância e deve ser prevista no início dos estudos.

Durante as fases de investigação preliminar e detalhada (por exemplo, com a perfuração de sondagens, ensaios de campo e laboratoriais, etc.), ainda há uma grande quantidade de informações essenciais obtidas para o projeto do túnel e sua gestão de riscos. Embora o custo para obter esta informação seja mais elevado do que na fase anterior, há uma contribuição significativa para o melhoramento da confiabilidade do conhecimento das condições do maciço. Esta fase é, portanto, essencial para o desenvolvimento do projeto. O custo correspondente varia geralmente entre alguns por cento do custo da construção. Histórias de casos de investigações de

campo para projetos de túneis no Reino Unido indicam que o custo para esta fase da investigação é geralmente inferior a 3% do custo da construção e pode excepcionalmente ir tão baixo quanto 0,5%, geralmente dependendo do custo global do projeto.

No entanto, deve-se ter em mente que quanto maiores os riscos de um projeto e mais complexas as condições do maciço, mais investimento terá de ser gasto para obter dados mais confiáveis. Investir menos de 1% em investigações de campo na fase de concepção preliminar é geralmente considerado arriscado.

No caso de um projeto de grande porte, um orçamento para as investigações de campo de cerca de 3% (aumentando potencialmente até 8-10%, dependendo da complexidade e profundidade da obra subterrânea, a necessidade de galerias e poços exploratórios, ou o uso - tais como os resíduos nucleares ou perigosos) do custo de construção do projeto deve ser considerada como normal.

A Comissão Nacional dos EUA sobre Tecnologia em Túneis (USNC/TT), em 1984, recomendou que «os gastos com exploração geotécnica do local devem ser aumentados para uma média de 3% do custo estimado do empreendimento para obter melhores resultados globais». Além disso, no caso de túneis urbanos, recomenda ainda que «a frequência de sondagens exploratórias deve ser aumentada para um espaçamento de 0,45 metros lineares de sondagens por metros do eixo ao longo do alinhamento do túnel, para melhores resultados globais».

Os dados coletados no Anexo 3 fornecem algumas referências que corroboram os percentuais acima mencionados.

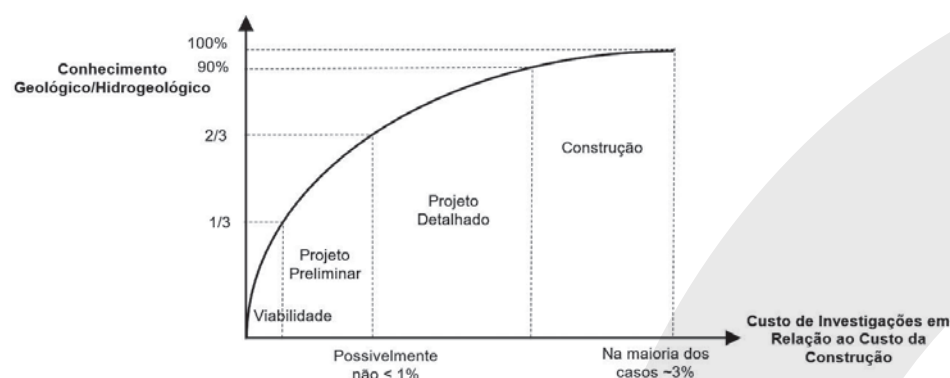


Figura 2 – Esquema de curva esquemática de conhecimento vs. custo.

4 >> DOCUMENTAÇÃO DE INVESTIGAÇÕES DE CAMPO E RELEVÂNCIA CONTRATUAL

Conforme solicitado pelas Diretrizes ITIG (2012), «as condições de referência do maciço deverão ser emitidas aos concorrentes da licitação como informação completa e formativa em que se baseará propostas e o Cliente deverá assumir a responsabilidade pela informação, assim emitida [...]. Condições de referência do maciço [...] farão parte do contrato e deverá servir de base para comparação com as condições do maciço encontradas em relação àquelas assumidas e deixadas para a fase de concorrência pelo contratante. As condições de referência do maciço devem fornecer a base contra a qual as condições encontradas possam ser avaliadas e comparadas. As condições de referência do maciço deverão também identificar riscos apropriados para as condições da obra e maciço, estabelecidos a partir das investigações, permitindo os riscos associados serem avaliados e considerados no momento da licitação, consistentes com os requisitos de documentação de contrato».

Assim sendo, os resultados das investigações de campo devem também serem utilizados para permitir que o Empreiteiro elabore sua oferta, assim como para a definição de condições contratuais. As seções a seguir ilustram os princípios em que os resultados de investigação são utilizados de um ponto de vista contratual na prática internacional.

4.1 INTRODUÇÃO

Os dados obtidos factuais e interpretados durante as várias fases de investigação de campo terão diferentes graus de significância quando utilizados na documentação do contrato. Portanto, ao considerar as necessidades de investigações de campo, não só deverão ser considerados o conteúdo técnico sobre o qual está embasado o projeto e construção do túnel, mas também a forma como essa informação será utilizada nos contratos e no processo de aquisição, em particular sobre a forma de como o risco geotécnico é tratado.

A experiência passada adquirida com grandes projetos de construção, especialmente projetos de túneis, destacou alguns princípios fundamentais:

- A integridade e a confiabilidade de todos os

tipos de informações factuais (dados) têm de ser mantidas durante todo o ciclo de vida do projeto;

- As informações obtidas e interpretadas a partir de levantamento bibliográfico, ou interpretações feitas a partir dos dados reais obtidos durante as investigações de campo em cada fase de projeto, devem ser distinguidas dos dados reais;
- Qualquer que seja o método de licitação ou a forma de contrato, o risco geotécnico é melhor gerenciado quando o conhecimento do maciço for adequadamente desenvolvido antes de contratar os serviços de construção (se adotadas formas de contratação tipo DB, contratos de montante fixo ou preço fixo de projeto e execução), e quando um modelo das condições do maciço é introduzido e considerado no contrato.

Um modelo das condições do maciço acordado fornece uma base sólida para a negociação no caso de características distintas, sendo isso formalizado em diferentes países de várias formas (Relatório Geotécnico de Base na abordagem anglo-saxão; Plano de Gestão de Riscos na abordagem francesa; etc.).

4.2 RELATÓRIOS DE INVESTIGAÇÃO DE CAMPO

A análise desta prática em nível mundial indica que quatro tipos de relatórios são geralmente produzidos, cada um com sua própria função específica. Estes são nomeadamente os relatórios que fornecem:

- Dados factuais ou crus (por exemplo, Relatório Factual ou Relatório de Dados Geotécnicos, na abordagem anglo-saxão; Especificações de Dados Factuais, na abordagem francesa);
- Informações interpretadas em termos de comportamento geotécnico (por exemplo, Relatório Interpretativo Geotécnico ou Memorando Geotécnico para Projeto, na abordagem anglo-saxão; Memória de Concepção, na abordagem francesa);
- A referência contratual para o modelo geológico, hidrogeológico e geotécnico (Relatório Geotécnico de Base, na abordagem anglo-saxão; Memória de Síntese, na abordagem francesa; etc.);

- Dados coletados durante a construção (Relatório Geotécnico Pós-Construção, na abordagem anglo-saxão; Dossiê Geotécnico de Execução, na abordagem francesa; etc.).

É necessário que os dois primeiros documentos sejam preenchidos e/ou atualizados em cada fase de projeto. A relevância de cada relatório dependerá do quadro contratual adotado para o projeto. Isso irá variar de país a país e exemplos são apresentados no Anexo 4.

Dado Factual

Este relatório deve conter apenas informações factuais, dados e considerações objetivas que foram levantadas durante as diferentes fases de projeto. Este relatório não inclui interpretações de engenharia. Os dados contidos neste relatório estão subjacentes aos demais relatórios. Este relatório muitas vezes se torna um documento contratual. Ressalta-se que os dados factuais ou crus incluem perfis de sondagens e classificações de solo e rocha que são elaboradas por profissionais experientes.

O relatório de dados factuais inclui:

- A lista e os documentos de todos os mapas geológicos utilizados;
- A descrição do programa de investigação de campo (datas, localização, metodologia, descrição dos procedimentos empregados etc.);
- Informações de águas subterrâneas;
- Os perfis de todas as sondagens, trincheiras, e outras investigações no local;
- Os resultados de todas as investigações de campo e ensaios laboratoriais (em muitos casos, os dados podem ser provenientes de resultados de ensaios laboratoriais processados, seguindo procedimentos padrões; o valor calculado final do ensaio é considerado uma informação factual);
- A experiência descrita de quaisquer galerias, poços e trincheiras exploratórios, se existentes;
- As referências da bibliografia utilizada e as fontes de informação que fornecem dados

4 >> DOCUMENTAÇÃO DE INVESTIGAÇÕES DE CAMPO E RELEVÂNCIA CONTRATUAL

relevantes (dados de obras semelhantes, literatura geológica regional, o histórico de uso do solo etc.);

- Plantas e seções que indicam o resumo das informações de sondagens e estrutura geológica.

Dados Interpretados

Estes relatórios incluem considerações subjetivas e comentários da equipe geotécnica, de acordo com sua compreensão, avaliação crítica e interpretação dos dados factuais. Este relatório apresenta a interpretação de engenharia e de geotecnia dos dados e define os parâmetros que caracterizam o comportamento geotécnico/geomecânico do maciço e respectiva variabilidade. Este relatório pode ser parte do pacote de licitação, porém não tem caráter de documento contratual.

O relatório aborda questões relacionadas com a interpretação, destacando possíveis impactos sobre as instalações lindeiras e problemas potenciais, bem como os riscos para as várias alternativas e métodos construtivos; assim como indica a necessidade de investigações adicionais e ressalvas antes ou durante a construção.

O relatório interpretativo também poderá incluir a análise do projeto, como a avaliação da interação do maciço onde sua caracterização é considerada visando prever seu comportamento, sua resposta e suas solicitações para contenção.

Dados de base contratual

Documentos contratuais específicos devem ser produzidos para a contratação do projeto. Os documentos geotécnicos são geralmente apresentados sob a forma de linhas de base sobre a qual uma licitação seria elaborada, com respectivo acordo de divisão de riscos. Como tal, a abordagem anglo-saxão do relatório de base é um documento contratual, pretendendo ser o mais objetivo possível.

O relatório afirma (ou assume) a previsão

das condições do maciço que possam ser encontradas durante a construção subterrânea, na qual os licitantes podem confiar. O risco associado às condições consistentes, mais ou menos adversas do que as linhas de base, são alocados ao Contratado, e aquelas essencialmente mais adversas do que as linhas de base, são atribuídas ao proprietário.

Estabelece o contexto do conhecimento geológico, hidrogeológico e geotécnico relevante para o empreendimento, define as condições geotécnicas esperadas e destaca todas as incertezas identificadas. Na medida do possível, as declarações iniciais são melhor descritas usando termos quantitativos. Descrições qualitativas, se necessárias, devem ser claramente definidas.

Dados coletados durante a construção

O Relatório Geotécnico Pós-Construção (ou similar) visa formar um registro final de toda a informação geológico-geotécnica obtida durante o andamento do projeto. Irá constituir, também, um documento vivo, em que todos os resultados futuros de monitoramento serão continuamente incluídos e quaisquer modificações no projeto serão registradas. O relatório deverá ainda incluir o seguinte:

- Registros da geologia e das condições do terreno conforme observados;
- Resultados da monitorização durante e pós-escavação (ou seja, níveis de águas subterrâneas, medições de deslocamentos, pesquisa, etc.);
- Registros de todas as investigações realizadas durante a construção, incluindo perfurações de sondagens e seu monitoramento de desempenho;
- Registro da experiência na construção, incidentes e expedientes;
- Conjunto completo de relatórios de investigação local, plantas, seções e outros registros e documentações, mantidos para fins de referência;
- Registros da estrutura as-built (como construído), incluindo perfurações de sondagens e escavações temporárias,

assim como alterações posteriores executadas no curso de reparações ou manutenções.

5 >> CONCLUSÕES / REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5.1 CONCLUSÕES

O bom conhecimento geológico e a geologia de engenharia são de suma importância para a execução bem sucedida de um projeto de túnel. A informação exigida pode ser obtida a partir de um programa de investigações de campo bem executado, que inclui a obtenção e a classificação de todas as informações e dados, bem como a avaliação dos parâmetros de projeto.

As investigações de campo fornecem informações importantes necessárias para a redução dos riscos associados à construção de túneis, constituindo uma componente essencial da engenharia moderna de túneis. Como tal, a investigação de campo deve ser vista como uma componente-chave da estratégia global de gestão de riscos do empreendimento, tendo em vista reduzir riscos geológicos, geotécnicos e hidrogeológicos.

Este documento foi preparado pelo Grupo de Trabalho 2 (WG2) da ITA, e visa consolidar informações atualizadas sobre aspectos-chave de princípios de investigações de campo e práticas que possam ajudar as partes interessadas em sua abordagem em projetos de túneis. O documento, que se baseia nas melhores práticas internacionais, pode ser usado como um guia geral para a estratégia de investigações de campo, que podem ser adotadas para responder às necessidades específicas de cada obra subterrânea.

O Grupo de Trabalho 2 gostaria de receber comentários dos usuários, assim como a contribuição desta abordagem para atender as necessidades Nações Associadas, adicionalmente facilitando a disseminação dos procedimentos de investigações de campo e prática geral em nível internacional.

5.2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Códigos, orientações e recomendações

ITA WG2, 2004, Guidelines for Tunnelling Risk Management

ITIG, 2012, A Code of Practice for Risk Management of Tunnel Works, 2nd edition

AFTES Recommendation, (2012), Characterisation of geological, hydrogeological and geotechnical uncertainties and risks, GT32R2A1

ASCE (2007), Geotechnical Baseline Reports for Underground Construction, the Technical Committee on Geotechnical Reports of the Underground Technology Research Council.

Austrian Society of Geomechanics, (2010), Guideline for the Geotechnical Design of Underground Structures with Conventional Excavation, Salzburg.

British Standards Institution, Code of Practice for Site Investigations, BS5930:1999. BSI, London.

Eurocode 7 – Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing

FHWA, Federal Highway Administration (2002), Evaluation of Soil and Rock Properties, FHWA-IF-02-034

Geotechnical investigation and testing, ISO/TC 182/SC 1

ICE, Institution of Civil Engineers, (2001), Managing Geotechnical Risk, Clayton C.R.I., London.

ÖNORM B 2203-1, (2008), Underground works - works contract. Part 1: Cyclic driving (conventional tunnelling), Österreichisches Normungsinstitut.

Artigos técnicos e livros

Glossop R (1968), The rise of geotechnology and its influence on engineering practice, 8th Rankine Lecture, Geotechnique 18, pp105 – 150.

Komatsuda, S. Doshitsu Chosa no Kiso Chishiki (1989), Basic Knowledge of Site Investigation, Kajima Institute Publishing Co., Ltd

Doshitsu Chosa no Hoho to Kaisetsu (2004), Guide for Geotechnical Site Investigation Methods, 2004. Japanese Geotechnical Society

Clayton, C.R.I., Mathews, M.C. and Simons, N.E. (1995), Site investigation, Second Ed., Published by Blackwell Science, Oxford.

Simons, N, Menzies, B. and Matthews M. A (2002), Short course in Geotechnical Site Investigation, Published by Thomas Telford Ltd., London.

Parker, H.W. (1996), Tunnel Engineering Handbook, § 4 - Geotechnical Investigations

West, G, Carter, P.G., Dumbleton, M.J. and Lake, L.M. (1981), Rock Mechanics Review, Site Investigation for Tunnels, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 18, pp. 345 to 367 (1981)

>> ANEXO 1 - ELEMENTOS DE INVESTIGAÇÃO DE CAMPO

O que se segue é uma lista de elementos importantes associados a um projeto de túnel, e quais investigações de campo devem ser focadas:

1. Topografia, status do uso do solo e condições de acessibilidade;

2. Localização e condições das estruturas de superfície existentes, tais como edifícios e estruturas subterrâneas, como porões, fundações, interferências públicas, dutos etc.;

3. Uso da água, aspectos legais e requisitos de gestão da água;

4. Acessibilidade ao local de investigação;

5. Geomorfologia

- Ocorrência de rochas brandas e depósitos remanescentes glaciais em vales;
- Eskorregamentos e deslocamentos de taludes gravitacionais profundos;
- Queda de blocos rochosos, corridas de lama, avalanches, enchentes etc.

6. Geologia de campo

- Modelo geológico - um modelo tridimensional dos estratos, dobras, falhas, características das descontinuidades (condições do maciço);
- Condições de tensões in-situ;
- Dados geológicos relevantes para métodos de projeto e construção.

7. Zonas de falha e características relacionadas

8. Sismologia

- Regime neotectônico
- Falhas ativas
- Vulcanismo

9. Hidrogeologia

- Aquíferos, aquíferos e aquíferos (extensão, geometria e propriedades);
- Níveis de águas subterrâneas e as mudanças sazonais relacionadas;
- Descarga de água subterrânea e fluxo

direcional;

- Rede de drenagem: nascentes e afluentes principais;
- Balanço hídrico;
- Propriedades físico-químicas da água;
- Ocorrência de zonas cársticas e dolinas.

10. Contaminação

- Natural, como ocorrência de gases tóxicos;
- Antropogênica.

11. Atividade geotermal

12. Radioatividade

13. Características geotécnicas e geomecânicas

14. Dados meteorológicos e climáticos

15. Material de escavação

- Reuso (por exemplo, litologia, distribuição granulométrica etc.);
- Resíduos (conteúdo de amianto etc.)

16. No caso de túneis submersos ou sob o mar, o seguinte deverá também ser investigado:

- Profundidade da água;
- Condições de maré, incluindo condições das correntes e de ondas atuais;
- Navegação e condições de tráfego marítimo.

>> ANEXO 2 - ESTUDOS DE CASO / KUHTAI

01 KUHTAI HYDROELECTRIC POWER PLANT, AUSTRIA

• PROJECT IDENTIFICATION

Location

Kühtai, Tyrol, Austria, Europe

Construction period

Scheduled: 2014 - 2017

Owner

TIWAG – Tiroler Wasserkraft AG
Eduard-Wallnöfer Platz 2
A- 6020 Innsbruck

Designer(s)

Technical Design: TIWAG
Geological Layout: Geoconsult ZT GmbH

Contractor(s)

Still not defined
Investigation gallery: ALPINE Bau GmbH

• GENERAL PROJECT DESCRIPTION

TIWAG – Tiroler Wasserkraft AG plans to extend the Sellrain-Silz HEPP that has been in operation since 1981.

This extending contains the construction of an additional reservoir with further water supply lines from the central and eastern Ötztal valley and the upper Stubaital valley and will result in a considerable improvement of the present energy production in the project area. Central features of the power plant are:

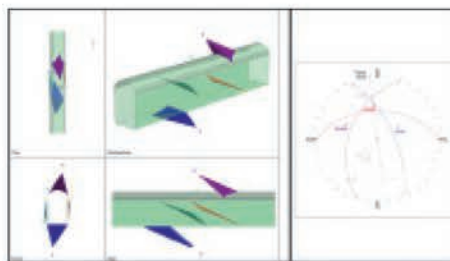
- reservoir in the upper Längental valley with an available storage capacity of about 31.1 million m and a dam height of about 113 m (rockfill dam with a clay core),
- the power plant Kühtai 2 with an output of 140 MW, connecting plant reservoir with the existing Finstertal valley reservoir
- and the 25.5 km water supply line from the upper Stubaital valley to the plant reservoir.

The addition of the Kühtai 2 power plant to the existing Kühtai pumped storage hydro power station is to be achieved by constructing a headrace tunnel between the Kühtai and Finstertal Valley reservoirs.

The turbine building is located entirely in a cavern at a depth of around 175 m in the right-hand side of the valley where the future abutment of the dam will be situated.

The additional water catchment area extends from Fernaubach brook in the upper Stubaital valley to Fischbach brook and Winnebach brook in the central Ötztal valley. The impoundments are situated at approx. 2,090 to 2,410 m above sea level.

• TUNNEL CHARACTERISTICS



Total Tunnel Length

25,5 km (headrace drive),
~ 15 km (all other tunnels like access tunnel, penstock and caverns)

Boring diameter

see below

Overburden(min-max)

30 – 1.063 m

Characterization scheme

NATM

Excavation type

NATM, TBM (see below)

Contract model

B2203-1, B2203-2

Headrace

25.5 km, Ø 4.2 m, 30 to 1063 m, TBM

Penstock

1.225 m, Ø 4.8-5.8 m, NATM (possibly TBM)

Penstock

375 m, Ø 6.1-6.7 m, NATM

Cavern of Power Plant

83.000 m³, NATM

Drainage gallery

700 m, Ø 5.5-6.0 m, NATM

Investigation gallery

735 m, NATM

Cavern

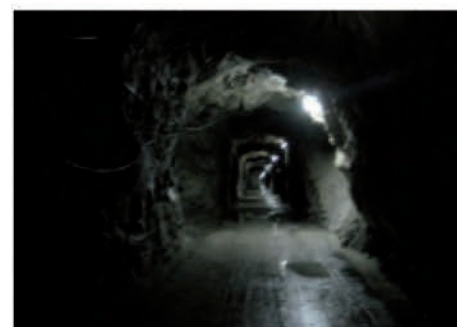
(Length-Whith-Height) 64 x 31.5 x 50 m

• ENVIRONMENTAL AND GEOLOGICAL CONDITIONS

The project area between Kühtai and the upper Stubaital valley is located in the north-western Stubai Alps and is predominantly high alpine in character. The area under investigation is almost exclusively above 2,000 m above sea level, the highest peaks in this area reaching over 3,000 m, parts of this area are glaciated.

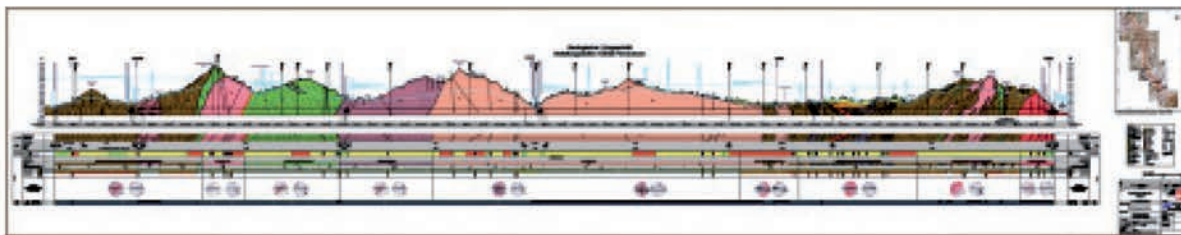
In geological terms, the project area lies in the Ötztal-Stubai Crystalline Complex. Orthogneisses and paragneisses predominate in the region of the planned structures, as well as migmatites, amphibolites and mica schists. The Ötztal valley complex is bounded to the East by the Brenner Line and extends northward to the Inntal valley. It forms the border of the Engadine Window in the West and is intersected by faults and fracture zones in the South. In the South, the Ötztal-Stubai Crystalline Complex extends without interruption to the Periadriatic Lineament.

Morphologically, this alpine region is characterised by glacial erosion. The pronounced cirques indicate the previous extent of the glaciers. Massive rock glaciers and moraines also testify to the earlier glaciation. Almost all tributary valleys and cirques have deposits resulting from glaciation recession.



>> ANEXO 2 - ESTUDOS DE CASO / KUHTAI

• GEOLOGICAL PROFILE



Geological longitudinal section of the 25.5 km headrace gallery.

• SITE INVESTIGATION TARGETS

Geological Setting

- Bedding
- Quarternary soils covering the hard rock mass
- Permafrost related structures like rock glaciers

Ground Types / Characteristics

- Types of gneiss, migmatites, amphibolites
- Joint spacing

Structural Geology

- Orientation of joints
- Folding
- Fault zones and orientation

Fault Characteristics

- Geometry
- Filling

Alteration / Weathering

Hydrogeology

Geothermal Situation

In-situ Stress

- At the cavern location

Gravitational Mass Movements

- Deep landslide in a near-to-slope situation of the headrace gallery.
- Possible landslide in an abutment situation of the proposed dam (which figured out as stable rock mass with the investigations).

• MEASURES

Desk Study

- Feasibility study
- Studies from existing constructions (former HEPP's)
- Studies of regional geological literature
- Orthophotos
- Laserscan Images

Mapping

- Site visits of the headrace galleries of the existing HEPP
- 1:10.000 geological mapping all over the surface (ca. 110 km²)
- 1:5.000 geological mapping at reservoir site
- 1:2.000 geological mapping at water impoundments and dam site
- 1:10.000 hydrogeological mapping all over the surface
- 1:5.000 laserscan image
- geohazard process mapping

Drillings

- 26 core drillings from surface
- 11 core drillings from exploratory tunnel (at cavern site)

Geophysical Methods

- 21 seismic profiles
- 5 geoelectric profiles
- geophysical borehole tests in all drillings (acoustic / optical borehole image)

Field Tests

- Trial pits
- Lugeon tests in boreholes
- Lefranc tests in boreholes
- Pump tests in boreholes
- SPT tests in boreholes in soils
- Boreholes have been developed as monitoring wells (standpipes)
- One borehole has been developed as inclinometer
- At cavern site (from exploratory tunnel):
 - Radial press (two tests) in 2 m diameter caverns
 - Dilatometer tests in boreholes
 - Hydro fracturing test in borehole
 - Lugeon tests in boreholes
- Hydrogeological field measurements (discharge, temperature, electrical conductivity)

Laboratory Tests

- Soil tests (186 samples): Grain distribution
- Rock tests (74 samples): Modal analysis (thin sections)
- Water analysis (ion balance, stable isotopes, Tritium)

Exploratory Tunnel

- 1 exploratory gallery ~ 735 m at cavern site (realized in 2010/2011)

Monitoring

- Hydrogeological monitoring at springs, gauges and monitoring wells
- Inclinometer
- Geotechnical monitoring in exploratory gallery

>> ANEXO 2 - ESTUDOS DE CASO / GOTTHARD

02 GOTTHARD BASE TUNNEL, SWITZERLAND

• PROJECT IDENTIFICATION

Location

Switzerland

Construction period

1993 - 2016

Owner

AlpTransit Gotthard Ltd (until 2016)
Swiss Federal Railway (operator)

Designer(s)

Lombardi Engineers Ltd.
Amberg Engineering Ltd.
Pöyry Ltd.

Gaehler & Partner Ltd.

Rothpletz Lienhard Ltd.

Gruner Ltd.

CES

Contractor(s)

Murer / Strabag Implan / Frutiger / Bilfinger
Berger/Pizzarotti Implan/Hochtief/Alpine/
Impregilo

Engineer's

See Designers

• GENERAL PROJECT DESCRIPTION

The Swiss New Rail Link through the Alps (NRLA) is creating a fast and efficient railway link. Its core piece is the 57.1 km long Gotthard Base Tunnel, the longest railway tunnel of the world when it will start the commercial operation in 2016. The new railway link crosses the Alps with minimal gradients and wide curves at only 550 metres above sea level creating the first flat railway through the Alps.

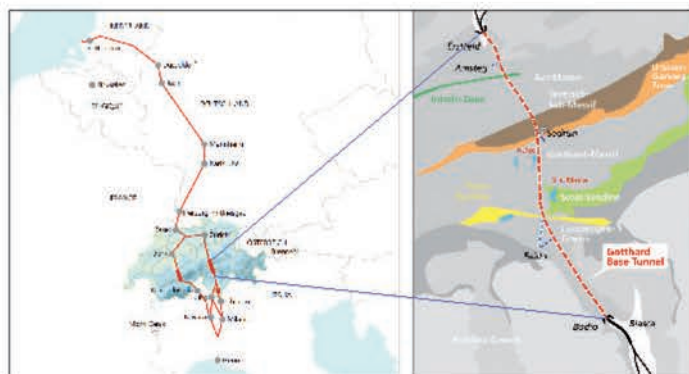
The flat railway allows efficient rail transport of goods as well as shorter journey times in national and international passenger traffic. The new routes cut passenger travelling times substantially. The new Gotthard route is a high-speed rail link. Passenger trains can traverse it at maximum speeds of up to 250 kilometres per hour. Nevertheless the main purpose of the new railway infrastructure is to shift a major part of the heavy transalpine goods traffic through Switzerland from the road to the rail.

The Gotthard axis of the NRLA is Switzerland's largest-ever construction project. With construction of the new Gotthard rail link, the country is implementing one of Europe's largest environmental protection projects.

The Gotthard Base Tunnel consists of two 57-kilometres-long single-track tubes. These are connected together every 312.5 metres by cross passages. Including all cross-passages, access tunnels and shafts, the total length of the tunnel system is around 152 km. It joins the north portal at Erstfeld to the south portal at Bodio. With a rock overburden of more than 2300 metres, the Gotthard Base Tunnel is also the world's deepest railway tunnel constructed to date.

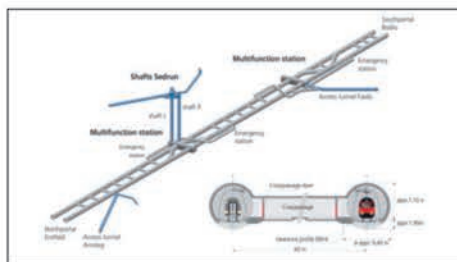
Two multifunction stations at Faido and Sedrun divide the two tubes into three approximately equally long sections. The multifunction stations each contain emergency stop stations and two track crossovers. In case of an incident such as a fire in the train or a fault in the Gotthard Base Tunnel, whenever possible the affected train travels out of the tunnel into the open air. If this is not possible, the driver stops the train at an emergency stop.

For construction purposes, the Gotthard Base Tunnel was subdivided into five main sections. Access adits provided access to the underground construction sites for workers, materials and machines. To save time and costs, construction work proceeded on the various sections simultaneously. For construction of the Sedrun section, access from the surface was through a 1-kilometre-long horizontal access tunnel and two 800-metres-deep vertical shafts. From there, the two tubes were blast-driven to the north and south. Because the deep overburden in bad ground conditions (squeezing rock) high stresses threatened to deform the tunnel on a distance of 1. Kilometres. Special supporting means were necessary in this zone. The engineers developed an innovative new concept with flexible steel rings (TH-profiles), which partly closed under the rock pressure. The rock pressure could finally be to a technically manageable degree reduced by allowing large deformations.



>> ANEXO 2 - ESTUDOS DE CASO / GOTTHARD

• TUNNEL CHARACTERISTICS



Total Tunnel Length

Nominal length 57.1 km
System length 151.8 km

Boring diameter

8.8 / 9.4 / 9.5 / 11

Overburden(min-max)

100 – 2'350 m

Characterization scheme

2 single track tubes, connected with cross links every 312.5
2 multifunction stations
3 access galleries
2 vertical shafts (800 m)
1 bypass gallery
1 inclined ventilation shaft

Excavation type

TBM	98.1 km
Conventional	53.7 km

Contract model

Unit price contracts for civil work based on design bid build approach

The Gotthard Base Tunnel crosses the Alps in mainly hard crystalline rock masses, with a high uniaxial strength and a brittle failure mode. Weak ground conditions with a ductile failure mode were expected on less than 10 per cents of the total tunnel length.

The main ground related hazards were:

- rock fall, caused by the joint systems
- rock burst, mainly in zones of high overburden
- convergences or high rock pressure
- face instabilities
- combined scenarios.

Nearly two thirds of the total length of the 151.8 kilometres long tunnel system were excavated with TBM's.

One third of the total length was excavated by application of conventional tunnelling methods.

Logistics for was the main challenge for the contractors.

Depending on the general construction schedule railway (inner lining in parallel to the excavation) or conveyer belt systems (inner lining followed the excavation) were used for the transportation of the muck.

One of the biggest stories of success was the use of the spoil for the production of concrete aggregates of the rock support and the final lining. 100% of the concrete gravel for the tunnel construction has been produced from excavated rock material with origin from the TBM-drives and the conventional drives. No quality failure related to the concrete aggregates occurred on the entire inner lining.

The environmental requirements were generally fulfilled on a high level, also in the eyes of the public and the environmental organisations.

The Swiss Federal Office of Transport required in the project specific standards a lifetime of 100 years for the civil work. No major rehabilitation work with significant operational limitations is allowed during this time.

The solution to achieve this high requirements was a double lined tunnel with the provisional rock support as outer lining (first lining) and the permanent, in the minimum 30 cm thick, inner concrete lining (second lining).

Younger sedimentary rocks are wedged in between the three main tectonic units. Some these rock masses are massively fractured, especially in the Tavetsch intermediate massif. In this rock mass types the phenomenon of squeezing was observed on a distance of 1 km.

The main ground related hazards were:

- rock fall, caused by the joint systems
- rock burst, mainly in zones of high overburden
- convergences or high rock pressure
- combined scenarios

The tender design assumed that more than 90% of the excavation could be done in good ground conditions without any bigger difficulties.

High rock or ground water temperatures and high initial ground water pressures caused by the high overburden had to be taken into account.

A maximum ground temperature of around 50°C was expected (highest temperature measured 46°C)

• ENVIRONMENTAL AND GEOLOGICAL CONDITIONS

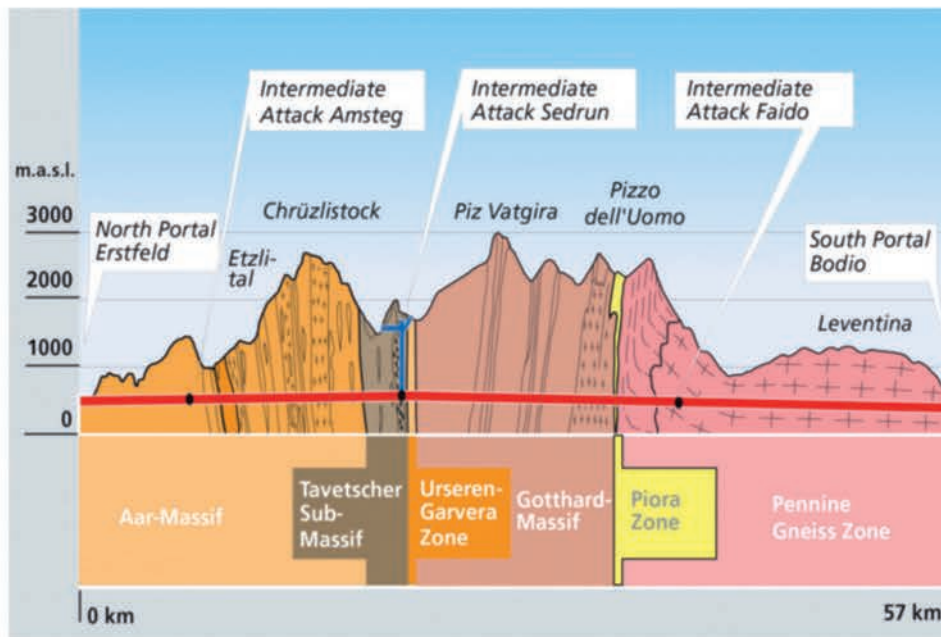
The Gotthard Base Tunnel crosses the following main tectonic units from north to south:

- the Aar massif
- the Gotthard massif
- and the pennine Gneiss Zone

The Aar massif and the Gotthard massif are the backbone of the Swiss Alps. Both massifs consist mainly of gneisses and granites. These rocktypes showed generally a brittle failure mode. Under special circumstances squeezing was observed in the crystalline rock masses.

>> ANEXO 2 - ESTUDOS DE CASO / GOTTHARD

• GEOLOGICAL PROFILE



Geological longitudinal section of the 25.5 km headrace gallery.

• SITE INVESTIGATION TARGETS

Geological Setting

- Tectonic situation



Ground Types / Characteristics

- Highly diverse rock mass types had to be traversed during the construction of the Gotthard Base Tunnel.
- They range from the tough Gotthard granites, through the highly-stressed pennine gneisses of the Leventina, to soft rocks of the Tavetsch intermediate massif.

Structural Geology

See geological profile

Fault Characteristics

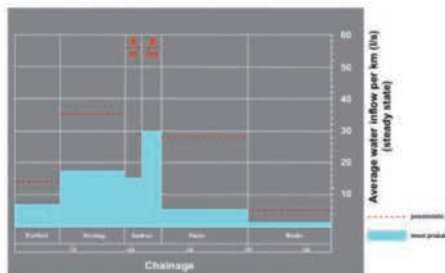
- Kakeritic faults
- Ductile shear zones (mylonites)
- Brittle fault zones

Alteration / Weathering

- No special effects

Hydrogeology

- Forecast of probable water inflows with high pressure and high temperature (steady state)



• PROJECT STAGE(S)

Construction period 1993 - 2016

Prefeasibility Study

1. / 1993

Feasibility Study

2. / 1995

Variant Study

3. / 1989

Authoritie's Permissions Project

1. / 1995 - 1999 for 4 of 5 main lots

2. / 1995 - 2006 for 1 lot

Tender Design for Owner

1. / 1997 - 1999

Tender Design for CC

2. / -

Post Contract respectively Construction Design

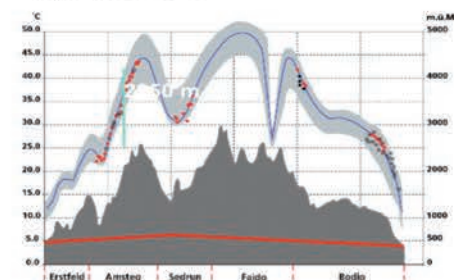
3. / 2001 - 2014

Other

4. / none

Geothermal Situation

- Forecast of ground temperatures with numerical model



In-situ Stress

- in direct correlation to the overburden
- horizontal stresses similar normally in the same magnitude as the vertical stresses

Gravitative Mass Movements

- no

© figures from AlpTransit Gotthard
text AlpTransit Gotthard and Heinz Ehrbar

>> ANEXO 2 - ESTUDOS DE CASO / GOTTHARD

• MEASURES

Desk Study

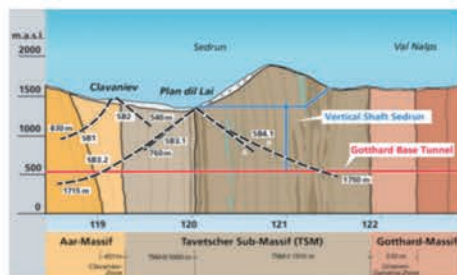
- yes

Mapping

- yes

Drillings

- yes, long inclined core drillings in the Tavetsch Intermediate Massif



- extended core drillings in the Piora Zone (see below)
- systematic exploratory drillings (percussion drillings) during the excavation in the conventional drive and the TBM-drives, mainly in both tubes
- core drillings in special cases (squeezing rock zones and during the excavation close to the Nalps concrete arch dam)

Geophysical Methods

- yes, in few special cases with only limited information for the excavation due to the inhomogeneous ground conditions

Field Tests

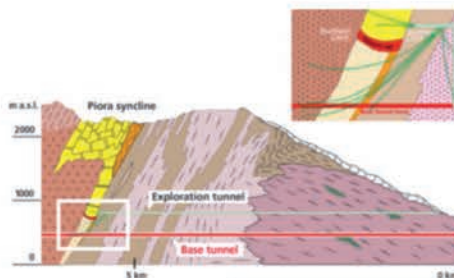
- bore hole tests
- various in situ tests in order to classify the muck for its reuse

Laboratory Tests

- yes, mainly triaxial tests, abrasivity tests
- various in situ tests in order to classify the muck for its reuse

Exploratory Tunnel

- yes, Piora exploratory system, tunnel of 5.3 km length



Monitoring

- yes, 3 D deformations (in all drives)
- extensometers in special cases
- monitoring of surface deformations during 15 years throughout the whole year (also winter time!) in order to detect dangerous deformation trends to the nearby concrete arch dams

© figures from AlpTransit Gotthard
text AlpTransit Gotthard and Heinz Ehrbar

>> ANEXO 2 - ESTUDOS DE CASO / CITYRINGEN

03 CITYRINGEN, DENMARK

• PROJECT IDENTIFICATION

Location

Copenhagen, Denmark

Construction period

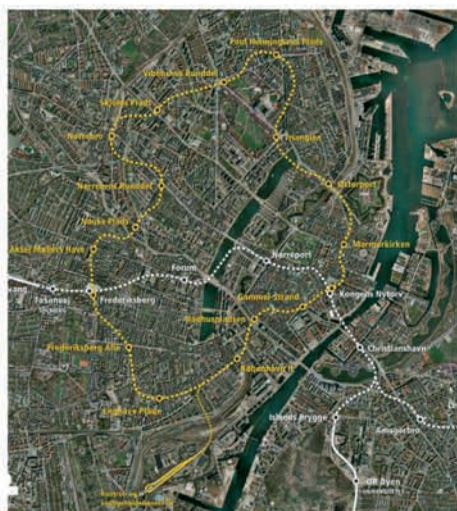
2011 – 2018

Owner

Metroselskabet I/S

Contractor(s)

Copenhagen Metro Team I/S



• GENERAL PROJECT DESCRIPTION

The Cityringen project is a new fully underground metro system with 17 stations, 2 crossovers and three construction and ventilation shaft structures interconnected by 2 single track tunnels of 16.5 km in length.

The geology in the Cityringen project area is characterised overall by a typically 1-5m thick fill layer. This is underlain by typically 10-25m thick quaternary layers. These deposits are highly variable and comprise a recognised sequence sand/gravel and clay till layers. At a number of locations extensive meltwater sands and gravels are deposited directly on the limestone, in particularly in the northern part of the alignment, whereas in the south-western part of the alignment the quaternary layers mainly consist of clay till.

The quaternary layers are underlain by Copenhagen limestone. The limestone is uniformly bedded, with extensive flint beds and bioturbated zones. The upper 0-4 metres of the limestone is locally glacially disturbed and heavily fractured.

• TUNNEL CHARACTERISTICS

Total Tunnel Length

33 km

Boring diameter

5.8 m

Overburden(min-max)

35 m

Excavation type

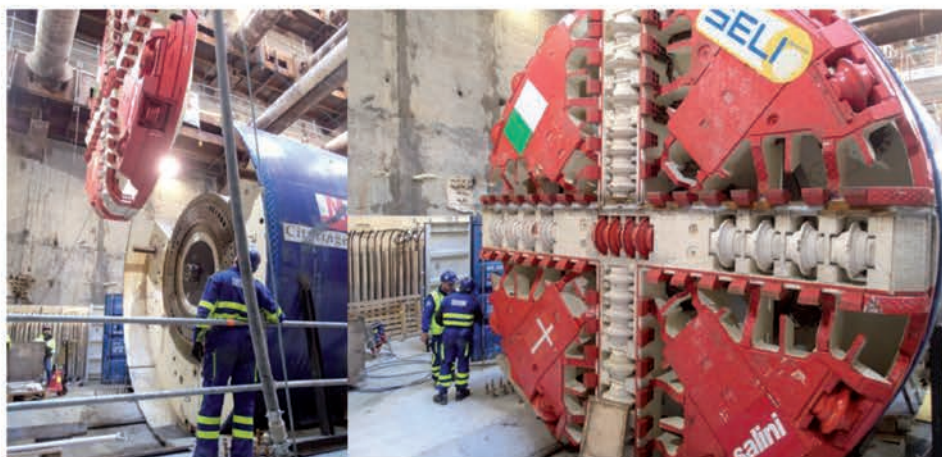
Earth Pressure Balance TBM

• ENVIRONMENTAL AND GEOLOGICAL CONDITIONS

Geologically the project area is featuring 2-5m of fill layers. This is underlain by 10-25m of quaternary layers, mainly consisting of glacial till and meltwater sand and gravel. The meltwater deposits are highly variable, consisting of fine-grained sand and coarser-grained sand and gravel, often with larger boulders. The coarse sediments usually occur in the lower part of the meltwater units and may possess very high permeabilities.

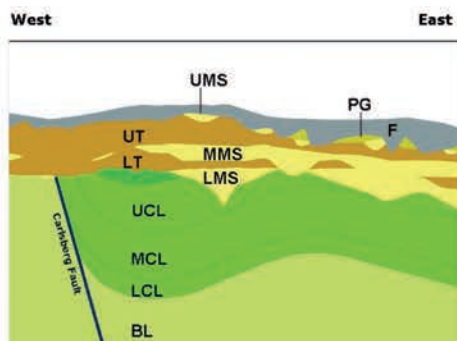
The quaternary layers are underlain by Copenhagen Limestone from the Danian period. The limestone is fractured to a varying degree, however, it is mostly severely fractured in the uppermost few meters. The induration and fissuring in the limestone is generally highly variable.

The eastern part of the Cityringen alignment passes the inner city of Copenhagen where many buildings are old and sensitive to variations in groundwater levels. For this reason the municipality of Copenhagen has in this area prohibited any groundwater lowering outside the construction zones unless appropriate measures are taken to keep the groundwater level within natural limits. The western part of the alignment passes through a catchment for domestic water supply at Frederiksberg where a key issue is protection of the groundwater resource in terms of quantity and quality, with chemical parameters of interest being salinity/chloride, nickel and sulphate. Numerous contaminated sites - typically originating from former dry-cleaning shops, petrol-filling stations and mechanical workshops - are located close to the planned construction sites.



>> ANEXO 2 - ESTUDOS DE CASO / CITYRINGEN

• GEOLOGICAL PROFILE



Geology is comprised fill (F) and post-glacial deposits (PG), glacial till (UT - Upper till, LT - Lower till), meltwater sand/gravel (UMS - Upper, MMS - Middle, LMS - Lower) and limestone (UCL - Upper, MCL - Middle, LCL - Lower, BL - Bryozoan)

• PROJECT STAGE(S)

Prefeasibility Study

Feasibility Study

Variant Study

Authoritie's Permissions Project

Tender Design for Owner

Tender Design for CC

Post Contract respectively Construction Design

Other

• SITE INVESTIGATION TARGETS

Geological Setting

•

Ground Types / Characteristics

- Geology in site investigation boreholes, with the aim of establishing a full geological model along the alignment

Structural Geology

•

Fault Characteristics

•

Alteration / Weathering

•

Hydrogeology

- Identification of depth to flow zones/ waterbearing zones. Estimation of total transmissivity. Groundwater quality

Geothermal Situation

•

In-situ Stress

•

Gravitational Mass Movements

•

• MEASURES

Desk Study

- Collection of existing non-project data, e.g. earlier boreholes and pumping tests

Mapping

•

Drillings

- Project investigations before tender:
- 130 geotechnical boreholes (shell&auger in quaternary layers, core drilling in limestone) at stations, shafts and along the alignment.
- 80 hydrogeological boreholes (DTH drilling throughout the entire drilling depth) at stations and shafts, with several screens, for use in pumping tests and continuous groundwater monitoring.

Site investigation method	Approximate number
Borehole	500
Geophysical log, including flow log	250
Short duration pumping test	600
Long duration pumping test	33
Groundwater chemical sampling	350
Seismic survey	13 km
Groundwater level monitoring	250 wells

- In total 500 borings
- Average spacing 40 m
- 13 km seismic survey
- Total length of site investigation borings 17 km
- Cost of site investigations are 2,5% of construction cost



Location of borings along alignment.

Geophysical Methods

- Geophysical logging in selected deep boreholes, including gamma, density, porosity and flow logs. In some boreholes OATV logs have been undertaken

Field Tests

•

Laboratory Tests

•

Exploratory Tunnel

- N.A.

Monitoring

- N.A.

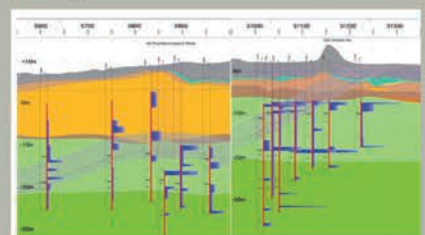
M

Boreholes at station location



M

Examples of flow zone distributions



>> ANEXO 2 - ESTUDOS DE CASO / PORCE

04 PORCE III HYDROPOWER PROJECT, COLOMBIA

• PROJECT IDENTIFICATION

Location



Amalfi, Department of Antioquia, Colombia.

Construction period

2006 – 2012

Owner

Medellin Public Utilities Company (EPM)

Designer(s)

Ingetec, Bogotá, Colombia

Contractor(s)

CCC Porce III Consortium:

Construções Camargo Correa

Concreto S.A.

Coninsa – Ramon Hache S.A.

Engineer(s)

Ingetec, Bogotá, Colombia

• GENERAL PROJECT DESCRIPTION

Porce III Hydropower Project features a 151 m high, CFRD dam, which impounds 3,756 km² catchment area of the Porce River and tributaries into a 170 hm³ reservoir; a 730 m long open channel spillway with a discharge capacity of 11,350 m³/sec, controlled by four radial gates; a headrace conveyance system, composed of a 12,452 m long upper tunnel, a 159 m long vertical shaft and a 274 m long lower tunnel; an underground power station houses four vertical-shaft Francis turbines coupled to four synchronous three-phase generators, yielding a total 660 MW, or 4,254 GWh/year.

• TUNNEL CHARACTERISTICS

Total Tunnel Length

12,726 m (upper and lower headrace)

Boring diameter

8.5 m

Overburden(min-max)

30 - 550 m

Characterization scheme

Geotechnical characterization was performed using Barton's Q System, Bienawski's RMR System and

Excavation type

Drill-and-blast

Contract model

Design + Construction

• ENVIRONMENTAL AND GEOLOGICAL CONDITIONS

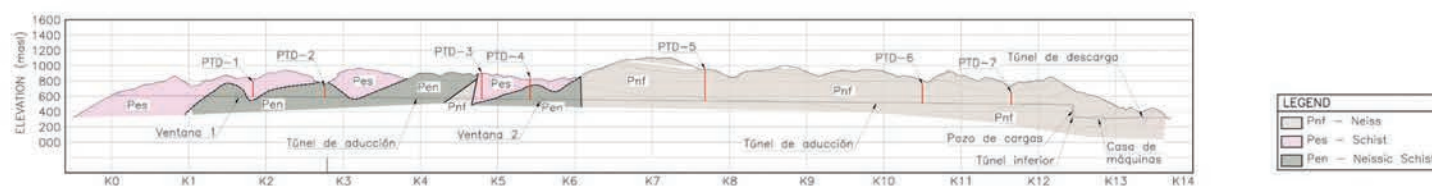
The surface of the area where the project's headrace tunnel was excavated is covered 80% by residual soils and colluvium deposits. The lithologic units present correspond to Paleozoic rocks constituted by schist of varied composition and quartz-feldspar and aluminic gneiss. The rock is folded in a northerly direction along the tunnel alignment and is affected by faults, joints and shear zones.

The predominant geomorphologic units along the tunnel alignment correspond to High Mountain Schist and High Mountain Gneiss. Schist is composed of quartz, mica (sericite, muscovite, biotite and hornblend) and graphite, whereas neiss is composed of both, quartzic feldspar gneiss and aluminic gneiss. The main geologic structures defined correspond to a series of tight folds with a general N-S direction: the Castillo and Primavera Faults, and El Roposo shear zones.

The headrace tunnel was excavated along the left bank of the Porce River, through metamorphic rocks composed 11% by schist, 36% by gneissic schist and 53% by gneiss.

The project was developed within the deep canyon environment of the Porce River, which runs north through a tropical rain forest, where wildlife is abundant, including a wide variety of birds, reptiles and mammals. The owner was therefore quite demanding regarding the preservation of the pre-existing natural environment and stringent regarding the restoration of the environment affected by project construction.

• GEOLOGICAL PROFILE



Geological longitudinal section of the 25.5 km headrace gallery.

>> ANEXO 2 - ESTUDOS DE CASO / PORCE

• SITE INVESTIGATION TARGETS

Geological Setting

The general geological setting of the project corresponds to metamorphic rocks (basically neiss and schist), of paleozoic age, highly weathered at the surface, mostly fresh and competent at depth (at tunnel level).

Ground Types / Characteristics

Ground types were defined in the technical specifications for bid as well as for construction and contractual purposes. The headrace tunnel involved basically five types of ground:

- Type I: competent, hard, massive, slightly fractured, stable rock, where excavation may advance without the need to install support, and only localise shotcrete and/or bolts could be required;
- Type II: moderately hard to hard, moderately folded, fractured to moderately fractured rock, in which spalling over time may occur and therefore support is required;
- Type IIIA: medium to low strength, folded, fractured to highly fractured rock, which discontinuity planes are altered, and spalling may occur at the excavation face, therefore immediate installation of support is required;
- Type IIIB: friable and/or crumbly material, fault or shear zones composed of gouge or highly fractured material, including residual soil in the portal area;
- Type IIIC: highly fractured rock, cohesionless, where excavation shall be performed in three stages or sections: upper, mid and lower. Squeezing phenomena expected.

Structural Geology

Along the headrace tunnel alignment, the main geologic structures correspond to a series of tight folds, with a general N-S direction, El Castillo and Primavera Faults, and La Primavera and El Reposo shear zones.

A series of faults, with orientation N20° - 25°E are El Roble anticline, El Roble syncline, the Hondoná anticline, and El Totuno syncline. These folds affect the quartzic schists of variable composition.

La Primavera shear zone has direction N15 - 20°E/40°SE, and was defined based on Drillholes PCP-1 AND PCP-2, as well as on

seismic refraction conducted during previous studies.

El Reposo shear zone was defined based on drillholes performed during previous studies.

Fault Characteristics

The headrace tunnel is affected by two geologic faults: El Castillo and El Salado Faults. The first is a reverse fault, oriented N40°W, dipping SW, affecting metamorphic rocks. It is located around K4+600 in the tunnel, and at the surface, it is covered by loose rock fragments, along a 100 m wide alignment. The fault material is 10 to 20 m thick and is composed of greenish grey milonite, gneiss and schist fragments embedded in a silty clay and brown sand matrix. RQD varies between 0% and 17%.

El Salado Fault is located 1.3 km east of El Castillo Fault, and crosses the tunnel at about K6+100. The fault's direction is N20° - N30°W, dipping vertically. It is composed of highly fractured to crushed rock fragments 10 - 20 m wide, and an influence zone of some 100m that narrows with depth.

Alteration / Weathering

The alteration/weathering phenomena was observed in exploration galleries excavated in the dam's left abutment and along the main and access roads. A significant thickness (some 30 m) of moderately to highly weathered rock had to be entirely removed to construct the CFRD dam.

As for the headrace tunnel, such weathered material was evident at the tunnel's and tunnel adits' portals, as well as along the first 30 or 40 meters of tunnel, excavated in poor ground and supported with steel sets.

In-situ Stress

In-situ stress measurements were carried out for the headrace tunnel, prior to commencement and during construction. The target of such tests was to investigate the magnitude of the minor principle stress (3) in certain key locations of the tunnel, and compare such values to the internal pressure of the tunnel, in order to determine whether modification in the tunnel alignment or the installation of a steel liner would be necessary, in order to prevent hydraulic fracture phenomena that

could generate leakage from the tunnel to the ground surface or into the powerhouse.

Four such locations were selected and hence, four corresponding sets of hydraulic fracture tests were conducted: the first two sets, prior powerhouse and headrace excavation, were performed, respectively, from an exploration gallery that ended near the future powerhouse, and from the surface, at a location of relatively low overburden (110m) due to a topographic depression; the third set, from within the tunnel, near the intersection with the vertical shaft, to check for effective overburden at such elbow; and a fourth set, performed near the intersection of the bottom of the shaft and the lower headrace tunnel, in order to check for effective minor principle stress values as the pressure tunnel approached the underground powerhouse surface.

The results of such tests allowed to optimise the design in the following ways: a) at the location of the low overburden due to the topographic depression generated by the running creek, the original tunnel alignment was displaced some 90m further into the mountain, to gain vertical overburden; b) as regards the elbow's optimum location, hydrofracture tests indicated the need to displace the elbow and the shaft 60 m further upstream, to gain lateral overburden; c) the test results indicated the need to steel-line the full length of the lower headrace tunnel that splices into the powerhouse.

Gravitative Mass Movements

Based on the results of the investigations, the dam's left abutment required extensive tieback installation, and the tunnel's adit portals required stabilization measures, including shotcrete, bolts, revegetation with native grass species and adequate drainage.

• MEASURES

Desk Study

Desk studies went through a step-by-step process, according to each stage of the project:

- a conceptual and prefesability stage, in which different scenarios or alternatives for the project's optimum location and layout were proposed, during which preliminary geological and geotechnical investigations were conducted;

>> ANEXO 2 - ESTUDOS DE CASO / PORCE

- a feasibility stage, in which the selected alternative was studied and developed in much further detail, along with a significant number of drillings and other geotechnical investigations were performed as well as corresponding costs;
- a third stage, in which the detailed studies, drawings, technical specifications and contractual documents were prepared for bidding purposes.

All field investigations performed prior to, and during such stage, constituted the necessary parameters for such detailed office design of the project.

Mapping

The project involved topographical mapping and geological mapping. Topographical mapping was used to optimize the location and design of the project along its various stages. Three scales of maps were used: the first two, 1:25000 scale, which was the general scale of the project encompassing the basin, and the 1:10000 scale, covering the reservoir area, were both aerial photograph-based restitution scales; the third scale, 1:2000, was used for all detailed design of project's components, including the dam and appurtenant works, the access roads and the headrace tunnel's portals as well as its three adit's portals.

On the other hand, geological maps corresponding to the above-mentioned topographic maps were prepared, to the same scales, that is, general geological and geomorphological maps of the basin and reservoir areas, and detailed geological maps of the surface and underground works, including the headrace tunnel and powerhouse, for bidding purposes. In addition, a 630m long exploratory gallery, referred to ahead, was excavated, the end point of which was close to the future underground powerhouse which allowed detailed geological mapping of this project component.

During excavation of the headrace tunnel and underground powerhouse, detailed geological maps were drawn of the actual geology encountered, following each blast of the tunnel face, drawn at a 1:200 scale, not only to provide as-built records, but to assist in the design of the tunnel's permanent lining: shotcrete, concrete or steel.

Drillings and pits

There were seven drillings performed from the surface along and over the headrace tunnel

alignment, spaced between 1.0 km and 3.0 km, (1.5 km on average), depending on the degree of difficulty of the access to each drilling site, plus drillings at the inlet portal, and in two adit tunnels to the main tunnel, thus covering the full length of the tunnel. The following table summarizes the drillings and corresponding lengths

HEADRACE TUNNEL DRILLHOLES	LENGTH (m)	PROJECTED STATION IN TUNNEL
PTD-1	110	K1+575
PTD-2	145	K2+700
PTD-3	340	K4+675
PTD-4	275	K5+400
PTD-5	420	K8+350
PTD-6	250	K11+325
PTD-7	160	K12+375
ADIT TUNNEL 1 (L=558 m) DRILLHOLES	LENGTH (m)	PROJECTED STATION IN ADIT
P-V1-1	55	K0+170
P-V1-2	34	K0+080
P-V1-3	15	K0+020
ADIT TUNNEL 2 (L= 649 m) DRILLHOLES	LENGTH (m)	PROJECTED STATION IN ADIT
P-V2-1	40	K0+165
P-V2-2	35	K0+070
P-V3-3	23	K0+015
ADIT TUNNEL 3 (L=705 m) DRILLHOLES	LENGTH (m)	PROJECTED STATION IN ADIT
P-V3-1	50	K0+240
P-V3-2	40	K0+130
P-V3-3	10	K0+010
INLET PORTAL PITS	DEPTH (m)	LOCATION
AP-V2-1	3.4	Portal area
AP-V2-2	3.0	Portal area
AP-V2-3	3.0	Portal area

Geophysical Methods

Geophysical methods included seismic refraction lines along the tunnel alignment,

Field Tests

A number of field tests were conducted in order to establish basic design parameters. The most outstanding tests were in the area of hydraulic fracture, in order to determine the magnitude of the minor principle stress at key locations along the headrace tunnel alignment (see above).

Laboratory Tests

In order to establish the stratigraphy and the physical properties of the rock for the headrace tunnel, and as a complement to the field

work performed, a core drilling program was conducted, from which samples were retrieved for a variety of tests in the laboratory. Lab tests were performed on soil and rock. Soil tests were performed almost entirely on surface samples and on samples obtained from pits excavated in the vicinity of the inlet portal.

Soil tests were basically: Atterberg Limits, specific gravity, hydrometric analyses, water content, Proctor compaction, following ASTM and AASHTO Standards. The table below summarizes such tests.

Rock tests were executed both on surface as well as on cores retrieved from drillholes. Tests included: Grading of granular materials, compaction, direct shear, tensile strength, wave propagation velocity, triaxial, slake durability and petrography. The table below summarizes the type and number of tests performed.

Exploratory Tunnel

In 2004, a 635m long exploratory tunnel, 2.5m x 2.5m, was excavated between the Porce River left bank and the future underground power station, in order to investigate detailed geological and geotechnical conditions for the powerhouse, regarding its orientation and temporary as well as permanent support requirements.

Monitoring

The design included the installation of a series of instruments for monitoring the behaviour of different project components once placed in operation, for long-term monitoring. A set of instruments, among which are inclinometers, piezometers and accelerographs were placed in the dam.

In the headrace tunnel, monitoring during construction included the installation of tape extensometer rings and pressure cells for longterm monitoring.

>> ANEXO 3 - CUSTO DE INVESTIGAÇÕES DE CAMPO

DADOS COLETADOS DE TÚNEIS RODOVIÁRIOS FRANCESES

Os cinco estudos de casos apresentados a seguir referem-se a túneis rodoviários, tendo sido projetados e construídos entre 2003 e 2014. Os dados foram coletados e atualizados em 2010 pelo Cetu, o Centro de Estudos de Túneis do Ministério Francês de Obras Públicas.

Os custos de construção dos túneis incluem apenas as obras civis e se referem aos dados anunciados em fase de licitação. Não foram observados pleitos significativos após a conclusão das obras.

A quantidade de investigações de campo foi obtida a partir dos documentos de licitação (relatórios de dados factuais). Foram considerados apenas sondagens

e ensaios in-situ para avaliar o custo de investigações de campo. Os custos de geofísica e galerias exploratórias (quando presente) foram inicialmente excluídos da análise. Para o caso do túnel Bois Peu, o custo de investigação é apresentado com e sem a galeria exploratória.

TÚNEL	INÍCIO DOS TRABALHOS	TIPO	COMPRIMENTO TOTAL	COMPRIMENTO CUMULATIVO DAS SONDAgens	CUSTO DAS INVESTIGAÇÕES/ CUSTO DO TÚNEL	CUSTO DAS INVEST. [M€]	MÉTODO CONSTRUTIVO
Saint Vallier	2002	Rodovia	178 m	225 m	2,6%	1,26	D&B
Schirmeck	2003	Rodovia	550 + 150 m	704 m	3,7%	1,01	D&B
Bois du Peu	2004	Rodovia	2*600 + 90 m	885 m	2,2%, excluindo-se custos de galerias exploratórias	1,09	D&B
Peute Combe	2009	Rodovia	2*600 + 120 m	1219 m	3,85%	0,95	D&B
Saint Béat	2010	Rodovia	110 + 310 m	1586 m	2,1%	1,12	D&B

Suposições sobre os custos [€/m]:

- Sondagens pressiométricas: 300;
- Sondagens com amostragens subhorizontais e/ou inclinadas: 1000;
- Sondagens com amostragens verticais: 800;
- Sondagens destrutivas: 150

D&B = desmonte a fogo

Dados coletados dos túneis metroviários e trens de superfície franceses

TÚNEL	INÍCIO DOS TRABALHOS	TIPO	COMPRIMENTO TOTAL	COMPRIMENTO CUMULATIVO DAS SONDAgens	CUSTO DAS INVESTIGAÇÕES/ CUSTO DO TÚNEL	CUSTO DAS INVEST. [M€]	MÉTODO CONSTRUTIVO
Tramway C2V	2010	Trem de superfície	1500 + 90 m	1902	N/A	1,20	EPB TBM
Extensão da Linha 4 de Paris	2007	Metrô	460 m	380 m	N/A	0,83	D&B
Extensão Linha B em Lyon	2010	Metrô	1470 m	2078 m	N/A	1,42	Slurry TBM
Extensão da Linha 14-Lote 1 Paris	2014	Metrô	3620 m	3475 m	N/A	0,96	TBM
Linha B Rennes	2014	Metrô	8100 m	7679 m	N/A	0,95	EPB TBM

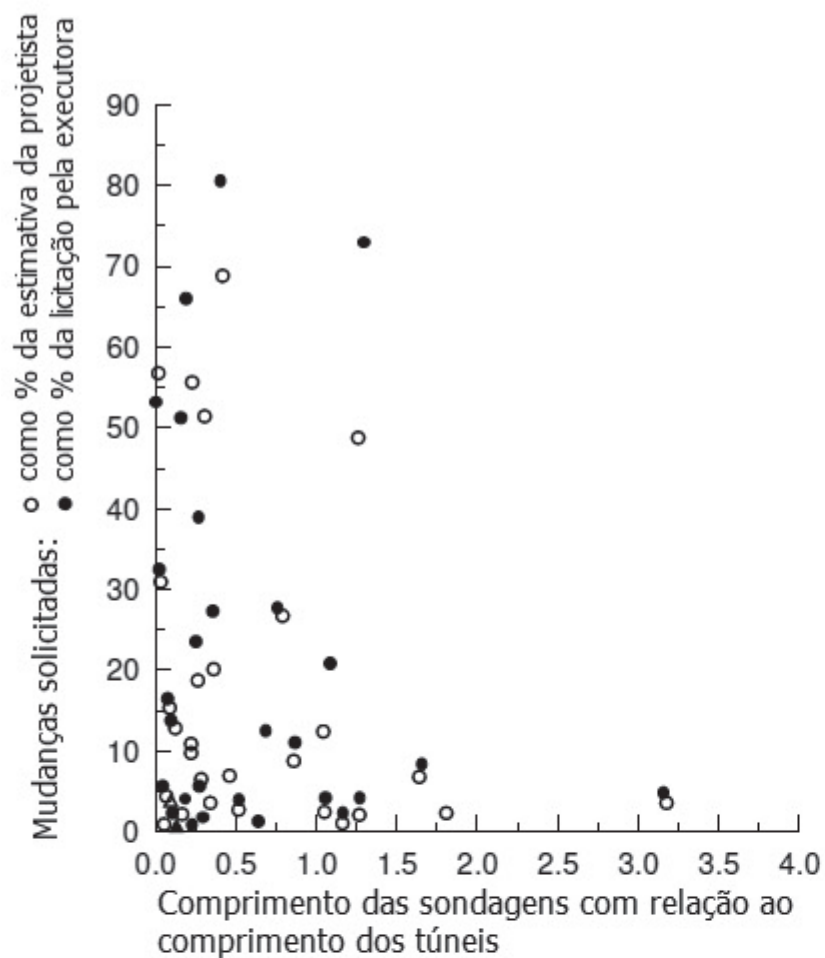
Dados coletados de túneis profundos e extensos europeus

TÚNEL	INÍCIO DOS TRABALHOS	TIPO	COMPRIMENTO TOTAL	COMPRIMENTO CUMULATIVO DAS SONDAgens	CUSTO DAS INVESTIGAÇÕES/ CUSTO DO TÚNEL	CUSTO DAS INVEST. [M€]	MÉTODO CONSTRUTIVO
Lötschberg	1994	Ferrovias	34,6 km	N/A	2,8%	N/A	Gripper TBM/DB
Gothard	1998	Ferrovias	53,9 km	N/A	1,4%	N/A	TBM/DB
Brenner	2011	Ferrovias	57,0 km	~ 36 km	8,7%, incluindo galerias exploratórias	0,63	
LTF	Fase de projeto detalhado	Ferrovias	57,1 km	~ 62 km	8,9%, incluindo galerias exploratórias	1,08 (sondagens apenas)	
Túnel de Base Koralm	Em construção		33 km	~ 21 km	1,9 %	0,64	N/A
Túnel de Base Semmering	Em construção		27 km	~ 38,5 km	1,7 %	1,43	N/A

>> ANEXO 3 - CUSTO DE INVESTIGAÇÕES DE CAMPO

Dados coletados a partir do Comitê Nacional de Tecnologia de Túneis dos EUA

Os dados foram coletados pela Comissão Nacional dos EUA sobre Tecnologia de Túneis (USNCTT 1984) por meio de entrevistas com Proprietários, Engenheiros e Empreiteiros de 84 projetos de túneis distintos.



>> ANEXO 4 - DOCUMENTAÇÃO DE INVESTIGAÇÕES DE CAMPO

PAÍS	DADO FACTUAL	DADOS INTERPRETADOS	DADOS CONTRATUAIS	DADOS COLETADOS DURANTE CONSTRUÇÃO	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA
FRANÇA	Cahier des Données Factuelles	Mémoire de Conception	Mémoire de Synthèse	Dossier de Suivi Géotechnique d'Exécution	AFTES (2012), Characterisation of geological, hydrogeological and geotechnical uncertainties and risks, GT32R2A1 NFP 94500 (2013), Missions d'ingénierie géotechniques – Classification et spécifications
KOREA	Geotechnical Data Report				KTA (2015) Standard Specifications for Tunnel
SUIÇA					SIA 198 (2004), Construction d'ouvrages souterrains SIA 199 (1998), Etude des massifs rocheux pour les travaux souterrains
EUA / UK (Abordagem wänglo-saxão)	Factual Report or Geotechnical Data Report	Geotechnical Interpretative Report or Geotechnical Memoranda for Design	Geotechnical Baseline Report	Post-Construction Geotechnical Report	ASCE (2007), Geotechnical Baseline Reports for Underground Construction

