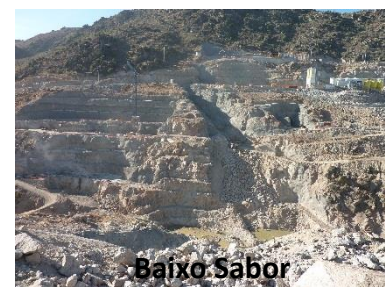


METODOLOGIA DO ESTUDO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA GRANDES BARRAGENS

Isabel Fernandes



Objetivos

- O estudo geológico-geotécnico tem por objetivo conhecer e quantificar as características do terreno que podem afetar a viabilidade, projeto e construção de uma obra ou estrutura.
- Fatores a considerar: está repetido nos custos
 - Tipo de estrutura
 - Dimensão
 - Complexidade do local
 - Informação previamente disponível.

Whatever their origins and training, engineering geologists contribute to the task of providing a level of understanding of ground conditions that ensures the engineering works are constructed to estimates of time and cost.

De Freitas & Price (2009)

Estudo geológico-geotécnico

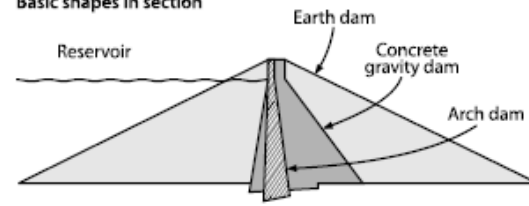
- Deve seguir as fases de Projeto para:
 - Estabelecer a **viabilidade** da construção e estudar **alternativas**;
 - **Selecionar o local** mais adequado à implantação da estrutura;
 - Definir a **profundidade** a que se encontra o maciço adequado à fundação;
 - Identificar possíveis **problemas de instabilidade e de risco** geológico;
 - Determinar as **características geotécnicas** necessárias ao projeto;
 - Fornecer informação visando a realização de **trabalhos de contenção e de tratamento de fundações**.

Tipos de barragens

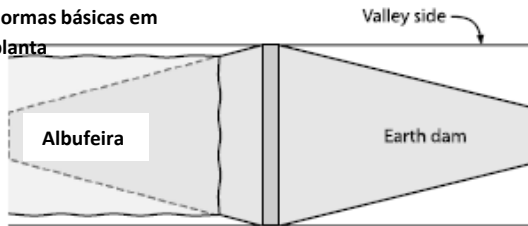
Formas básicas em perfil



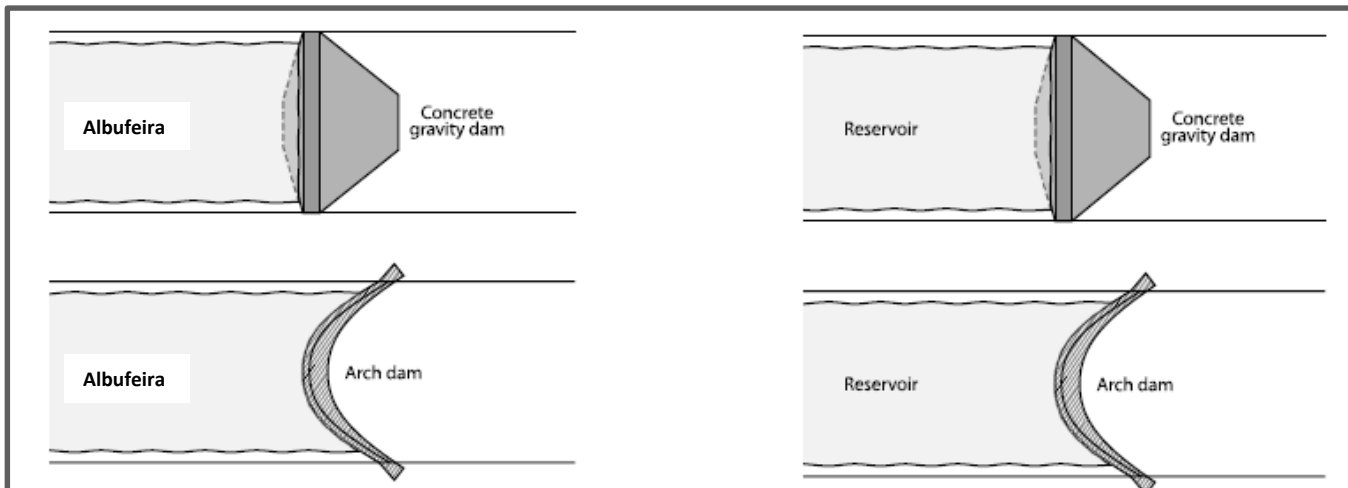
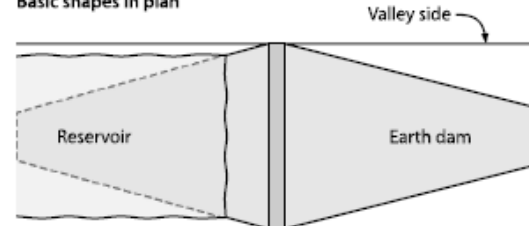
Basic shapes in section



Formas básicas em planta



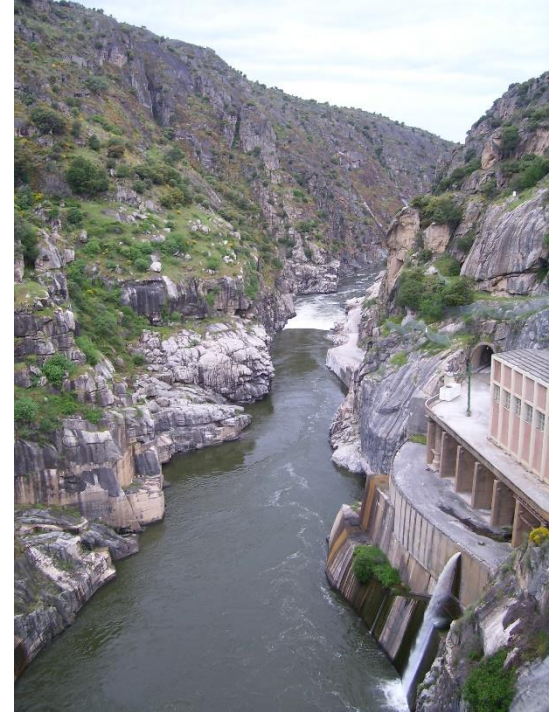
Basic shapes in plan



Barragem de Odelouca



Barragem de Picote



Tipo de barragem

- Barragens em betão e obras anexas
 - Fundação em maciço rochoso
 - Grandes barragens (ICOLD):
com **mais de 15 m de altura ou** que verificam um dos seguintes critérios:
 - a) o coroamento tem mais de **500 m** de extensão;
 - b) a albufeira tem capacidade superior a **1 milhão de m³**;
 - c) a barragem apresenta capacidade de descarga de cheias superior a **2 000 m³** por segundo;
 - d) o maciço de fundação apresenta **características geotécnicas complexas**;
 - e) a barragem tem um **projeto invulgar** (Categoria Geotécnica 3 – CG3 - de acordo com o EC7).

Metodologia dos estudos geológico-geotécnicos a aplicar

Fases	Objetivos	Tipo de estudos
Estudo de Viabilidade e soluções de Ante-projeto	Estudo geológico regional Viabilidade e alternativas Definição conceptual Condições geológico-geotécnicas gerais Materiais de construção/manchas de empréstimo Programa de prospeção preliminar	Revisão de informação - Mapas geológicos regionais - Dados hidrogeológicos - Artigos e documentos sobre a área - Imagens de satélite e fotografia aérea - Reconhecimento geológico de superfície e cartografia geológico-geotécnica preliminar
	Definição do local de implantação Estudo de soluções Zonamento geotécnico do maciço Estimativa de custos Programa de prospeção	Cartografia geológico-geotécnica de pormenor (1:5000-1:1000) e preparação de perfis geológicos/modelo geológico Valas e trincheiras Prospeção geofísica Sondagens Ensaio no interior das sondagens (deformabilidade e permeabilidade) Ensaio de laboratório
Projeto de execução (Projeto)	Caracterização do local e problemas específicos - Maciço rochoso/solos - Resistência e deformabilidade - Pormenorização das soluções - Projeto - Prazos de execução	Cartografia geotécnica complementar (1:1000 a 1:500) Prospeção geofísica complementar Sondagens complementares Galerias de reconhecimento* Ensaio in situ de deformabilidade e resistência* Ensaio de permeabilidade complementares*
Execução (desvio do rio, escavações e construção)	Verificação e adaptação do projeto Possíveis alterações Controlo da obra Tratamentos de terreno Arquivo técnico de toda a informação	Cartografia geotécnica de pormenor das escavações e fundações (1:100 a 1:500) Estabilidade das frentes de escavação Ensaio de injeção Ensaio in situ de verificação do tratamento de terreno Arquivo técnico da barragem
Exploração (Pós-construção)	Estudos de avaliação - Primeiro enchimento - Situações de emergência - Análise da segurança - Controlo da interação terreno-estrutura - Abandono de barragens	Monitorização Estabilidade das vertentes a montante e jusante Sismicidade induzida

Custos do estudos geológico-geotécnicos

- Os custos dependem essencialmente de:
 - Número de locais alternativos a analisar (ex. a barragem de Kentucky foram estudados 10 locais possíveis)
 - Tipo e dimensão da barragem
 - Complexidade geológica do local
 - Conhecimento prévio sobre a área

“Condições imprevistas do terreno podem aumentar o custo do empreendimento em mais de 10%”

Clayton et al., 1992

Exemplo (barragens no México)

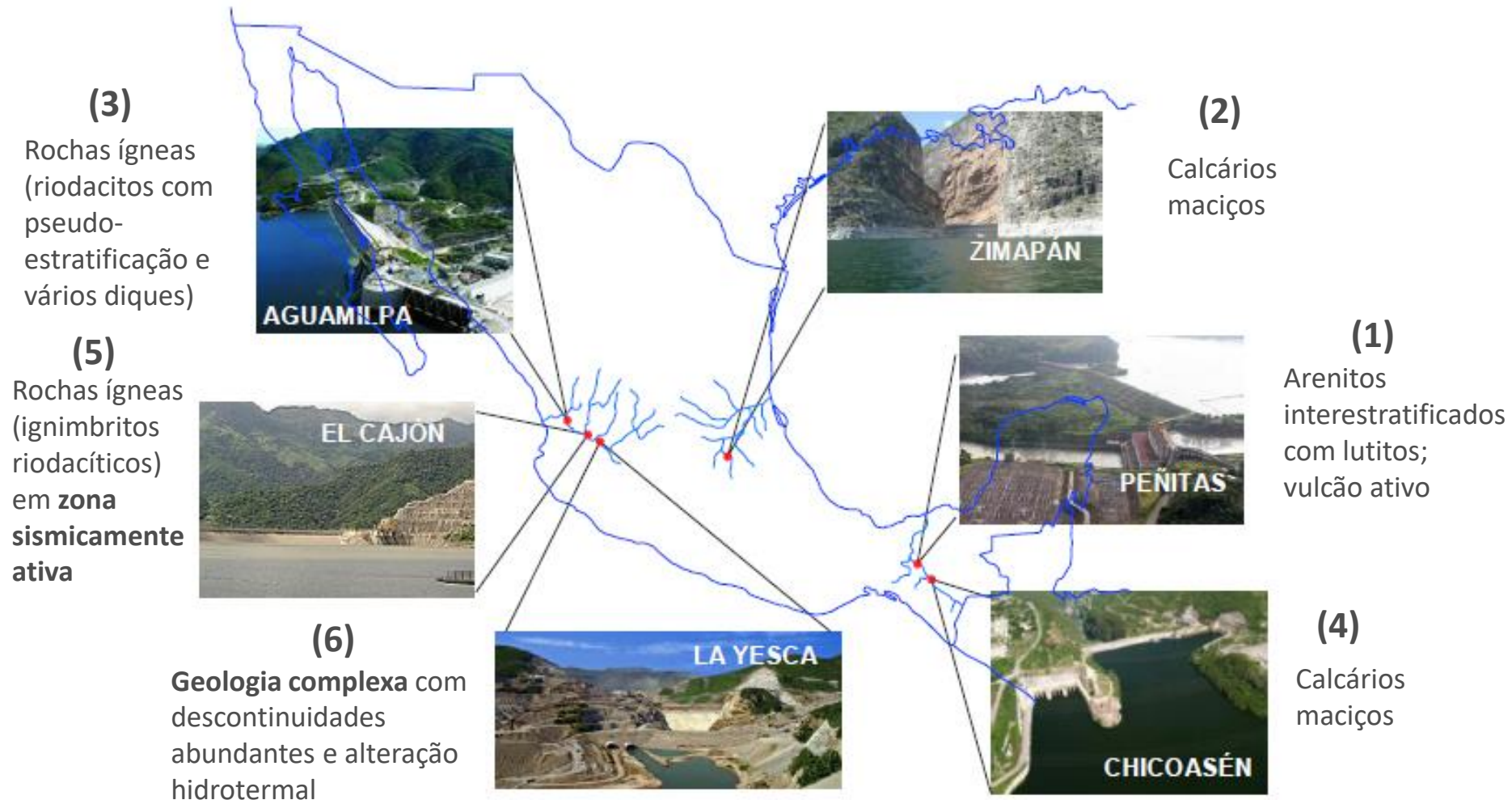
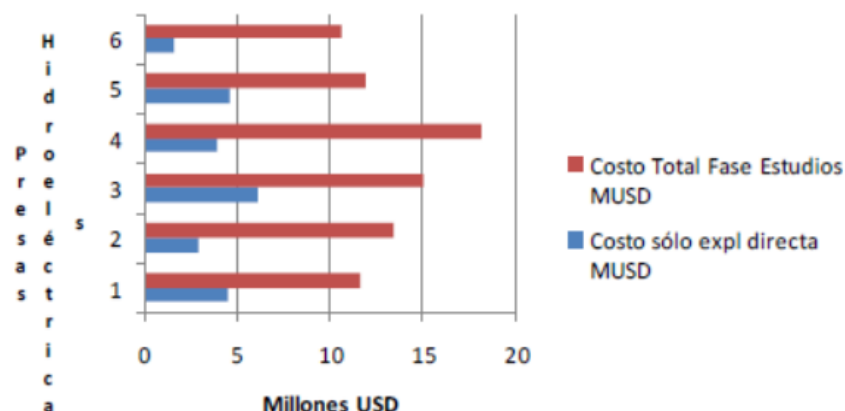


Fig. 1.- Localización y panorámica de las presas Peñitas, Zimapán, Aguamilpa, Chicoasén, El Cajón y La Yesca (en construcción).

Contreras et al. (2012)

Custos do estudos geológico-geotécnicos

Costo Total Estudios vs Expl Directa



Complejidad baja: (1) Peñitas
 Complejidad media: (3) Aguamilpa (5) El Cajón
 Complejidad alta: (2) Zimapán (4) Chicoasén y (6) La Yesca

Contreras et al. (2006)

Tipo de estrutura	% do total de custos	% do custo das fundações
Edifícios	0,06-0,2	0,5-2
Estradas	0,2-1,5	1-5
Barragens	2-3	1-5

De Freitas, 2007; Price (2009)

Estudo Prévio

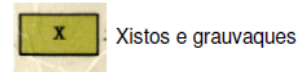
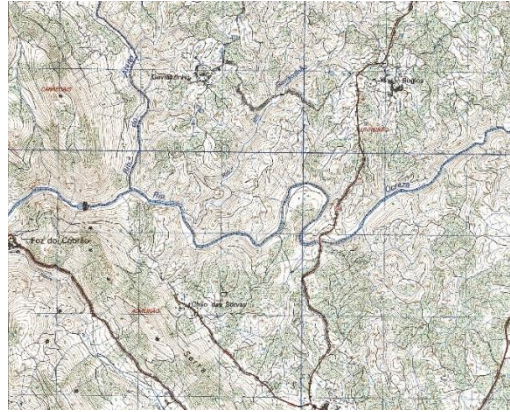
Fases	Objetivos	Tipo de estudos
Estudo de Viabilidade e soluções de Ante-projeto	Estudo geológico regional Viabilidade e alternativas Definição conceptual Condições geológico-geotécnicas gerais Materiais de construção/manchas de empréstimo Programa de prospeção preliminar	Revisão de informação - Mapas geológicos regionais - Dados hidrogeológicos - Artigos e documentos sobre a área - Imagens de satélite e fotografia aérea - Reconhecimento geológico de superfície e cartografia geológico-geotécnica preliminar
	Definição do local de implantação Estudo de soluções Zonamento geotécnico do maciço Estimativa de custos Programa de prospeção	Cartografia geológico-geotécnica de pormenor (1:5000-1:1000) e preparação de perfis geológicos/modelo geológico Valas e trincheiras Prospeção geofísica Sondagens Ensaio no interior das sondagens (deformabilidade e permeabilidade) Ensaio de laboratório

Estudo prévio



- Informação prévia e **reconhecimento de campo**
 - Litologia, contactos geológicos, grau de alteração, estratificação
 - Estrutura geológica, grau de fracturação, descontinuidades (sistemáticas e singulares), falhas, actividade tectónica
 - Formações superficiais, zonas de alteração
 - Condições geomorfológicas
 - Descrição geotécnica dos solos ou do maciço rochoso
 - Dados hidrogeológicos (níveis piezométricos, localização de aquíferos, locais de recarga e drenagem)
 - Estabilidade do terreno (deslizamentos, erosão interna, subsidência, cavidades)
 - Acessos (caminhos, disponibilidade de água, possível localização dos trabalhos de prospeção)
 - Materiais de construção.

Estudo prévio

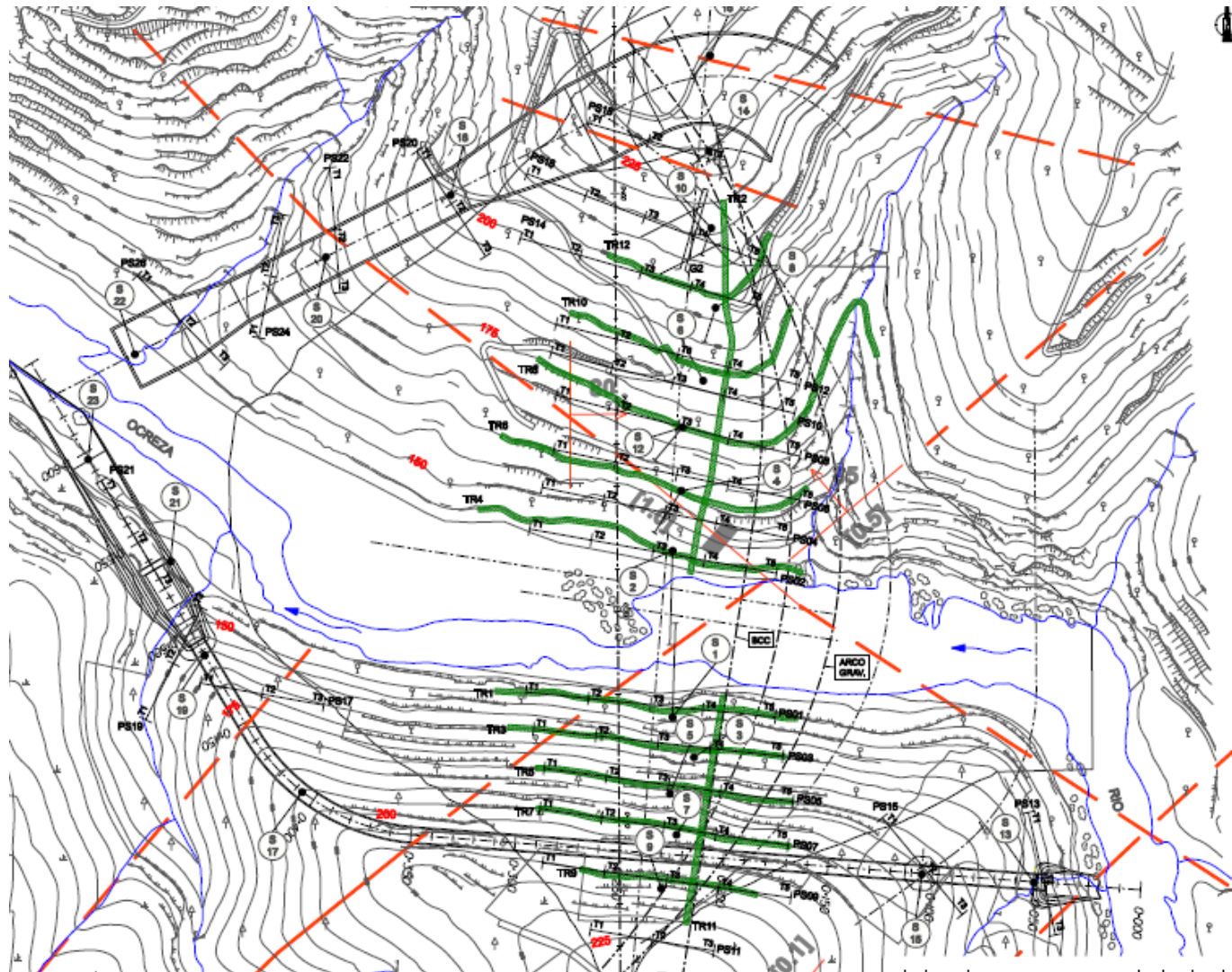


Projeto de execução/execução

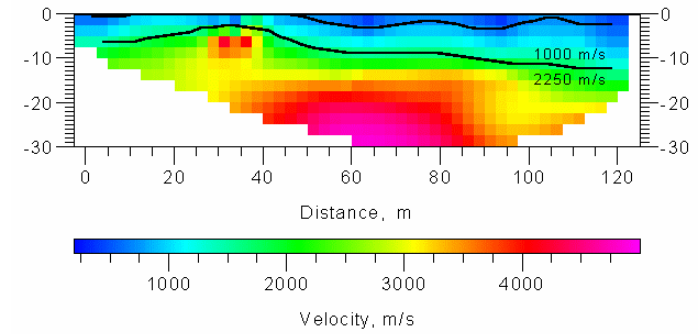
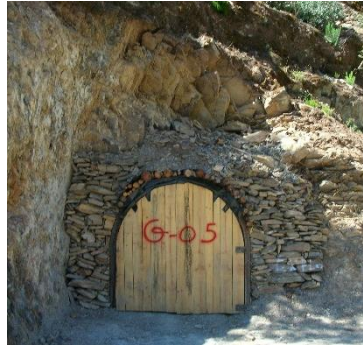


Fases	Objetivos	Tipo de estudos
Projeto de execução (Projeto)	Caracterização do local e problemas específicos - Maciço rochoso/solos - Resistência e deformabilidade - Pormenorização das soluções - Projeto - Prazos de execução	Cartografia geotécnica complementar (1:1000 a 1:500) Prospecção geofísica complementar Sondagens complementares Galerias de reconhecimento* Ensaio in situ de deformabilidade e resistência* Ensaio de permeabilidade complementares*
Execução (desvio do rio, escavações e construção)	Verificação e adaptação do projeto Possíveis alterações Controlo da obra Tratamentos de terreno Arquivo técnico de toda a informação	Cartografia geotécnica de pormenor das escavações e fundações (1:100 a 1:500) Estabilidade das frentes de escavação Ensaio de injeção Ensaio in situ de verificação do tratamento de terreno Arquivo técnico da barragem

Projeto de execução/execução

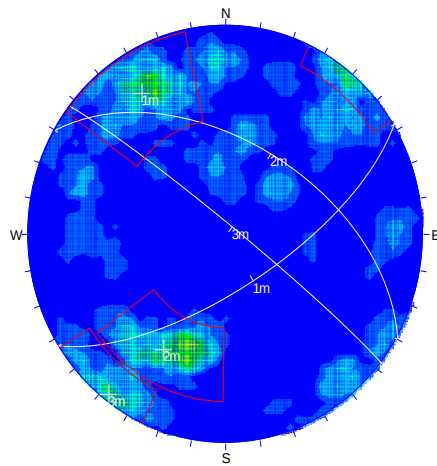


Projeto de execução/execução



Projeto de execução/execução

- Exemplo dos dados colhidos numa estação de diaclasamento (T8)

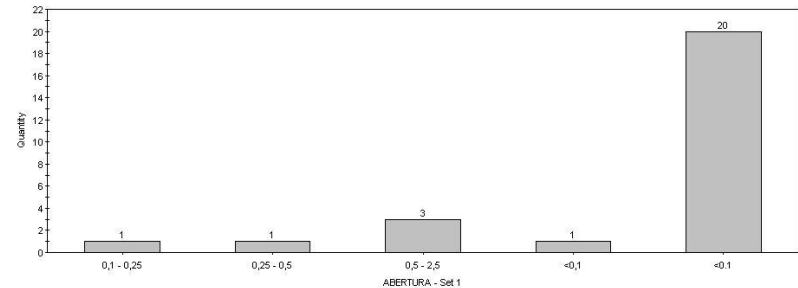


Orientations
ID Trend / Plunge

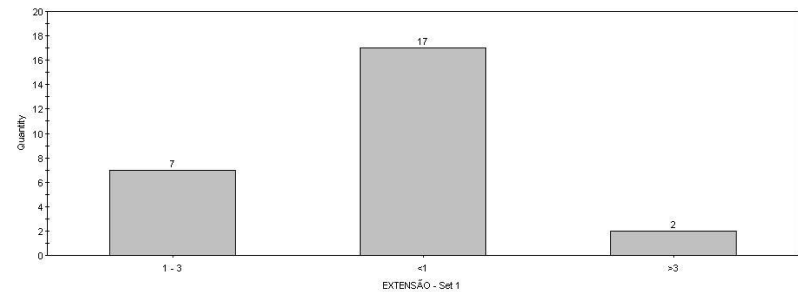
1	m	328 / 21
2	m	210 / 37
3	m	218 / 04

Equal Area
Lower Hemisphere
157 Poles
157 Entries

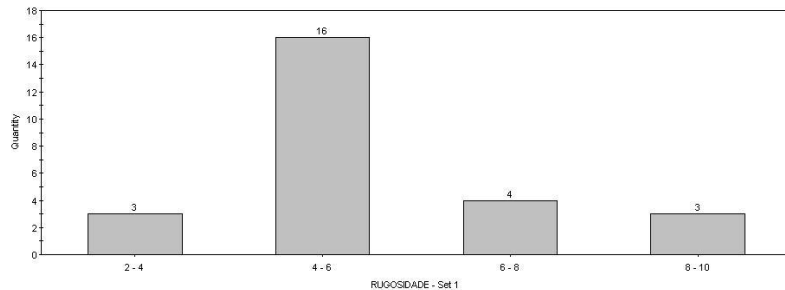
ABERTURA - Set 1



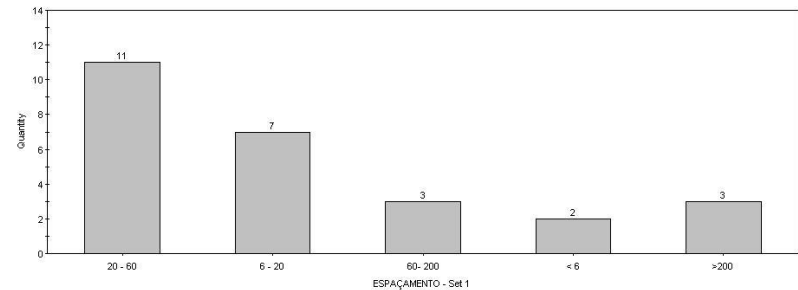
EXTENSÃO - Set 1



RUGOSIDADE - Set 1



ESPAÇAMENTO - Set 1



Projeto de execução/execução

- Sondagens à rotação com carotagem contínua e ensaios in situ:
 - Ensaio Lugeon
 - Dilatômetro
- Trincheiras, valas e galerias
- Ensaio in situ de grande volume

Projeto de execução/execução

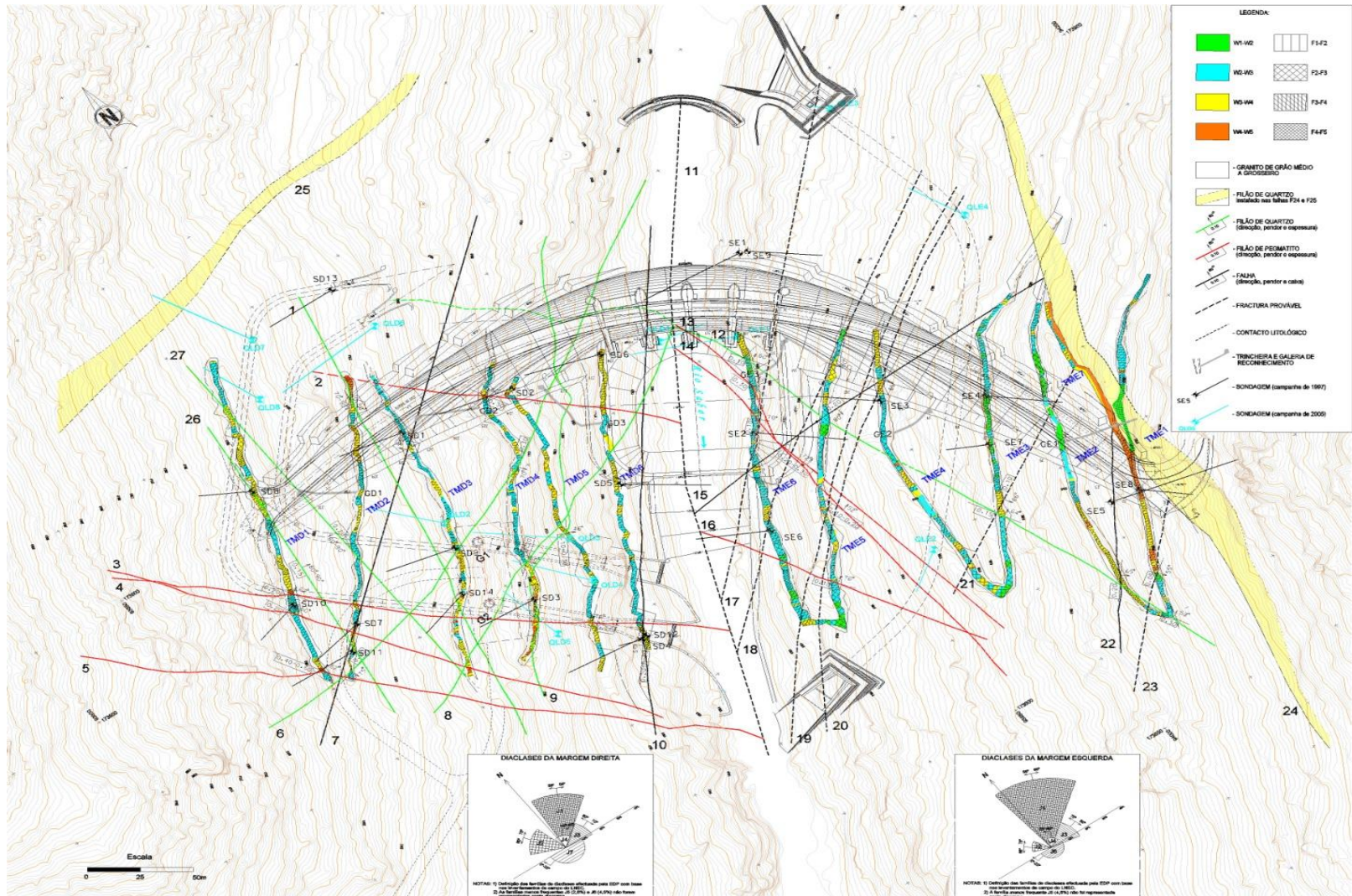
- Ensaaios in situ
 - Macacos planos de grande área (LFJ)



Execução/escavação

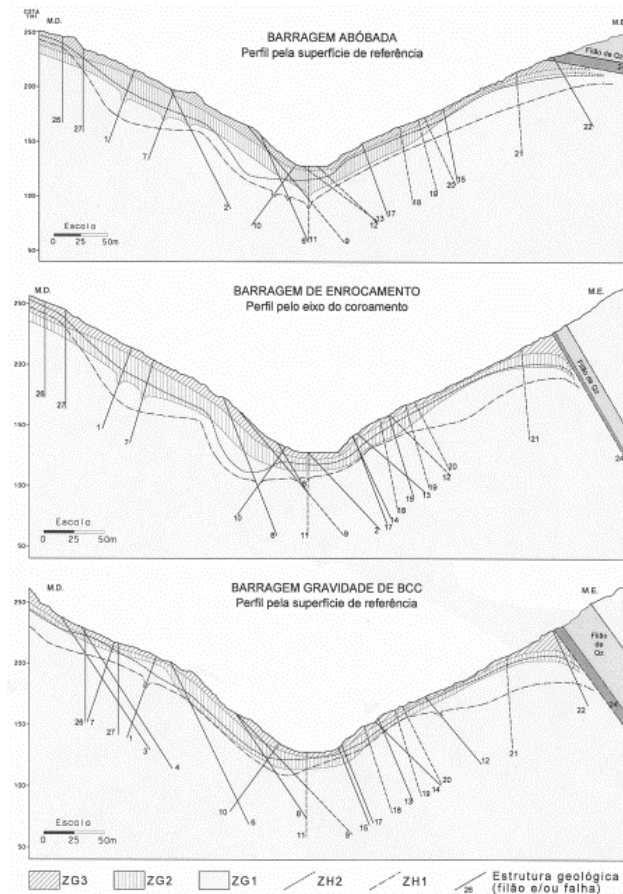


Exemplo: Barragem de Baixo Sabor



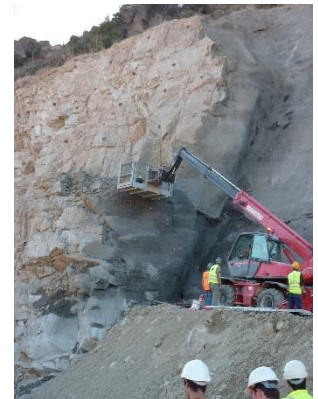
Exemplo: Barragem de Baixo Sabor

- Perfil de zonamento geotécnico



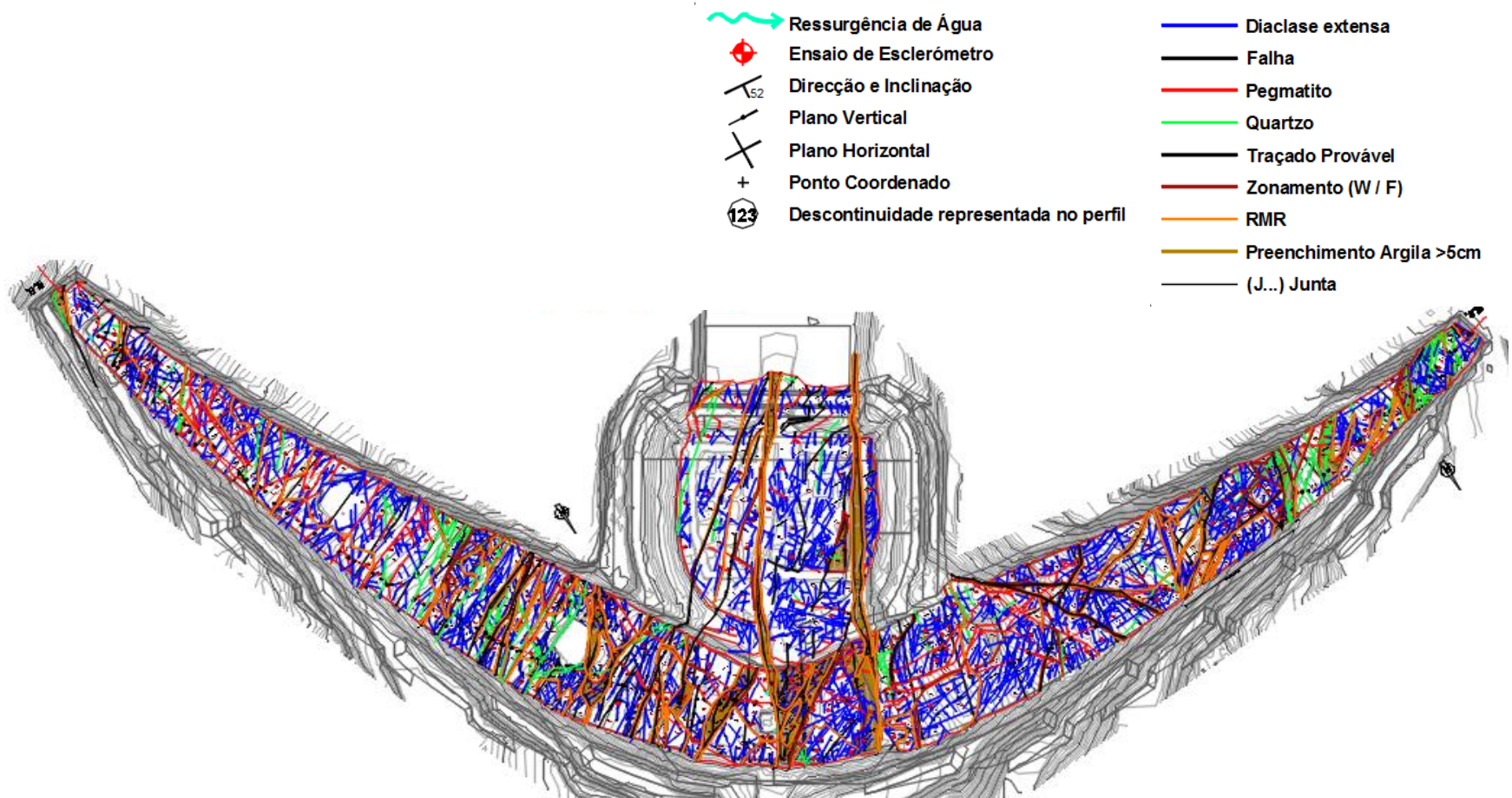
Exemplo: Barragem de Baixo Sabor

- Escavação e contenção



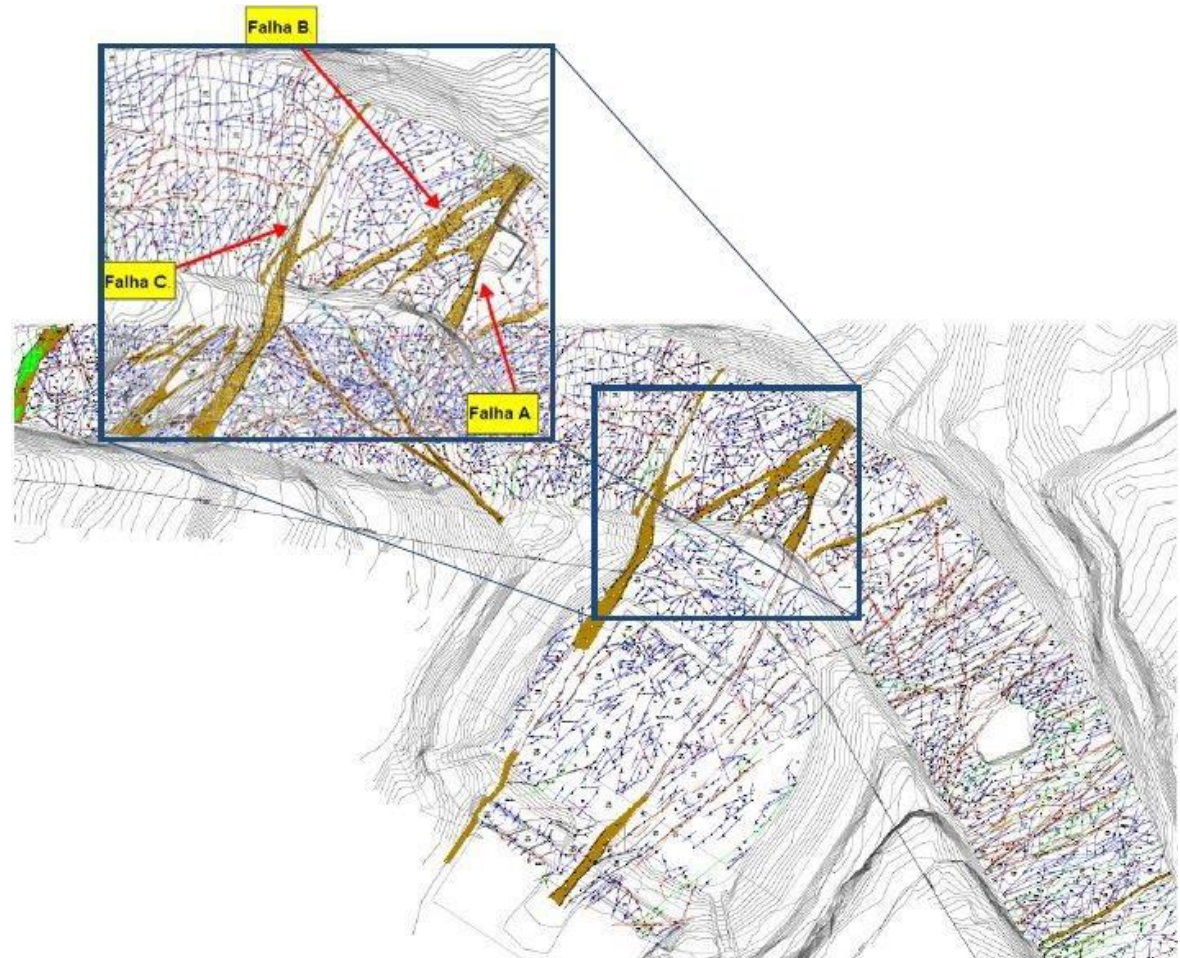
Exemplo: Barragem de Baixo Sabor

- Cartografia geológico-geotécnica após escavação, Escalão Principal do Baixo Sabor)



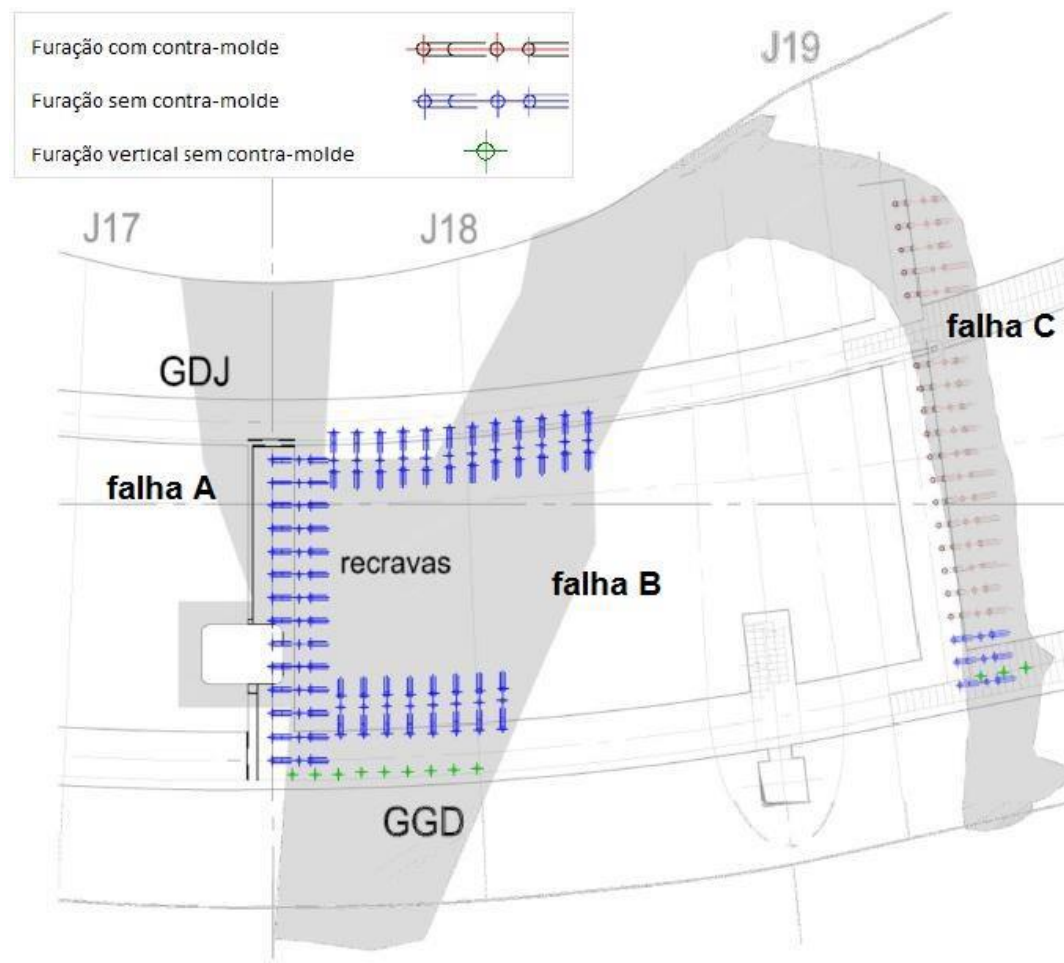
Exemplo: Barragem de Baixo Sabor

- Cartografia geológico-geotécnica – localização das falhas A,B,C



Exemplo: Barragem de Baixo Sabor

- Esquema em planta da furação para tratamento das falhas A,B e C



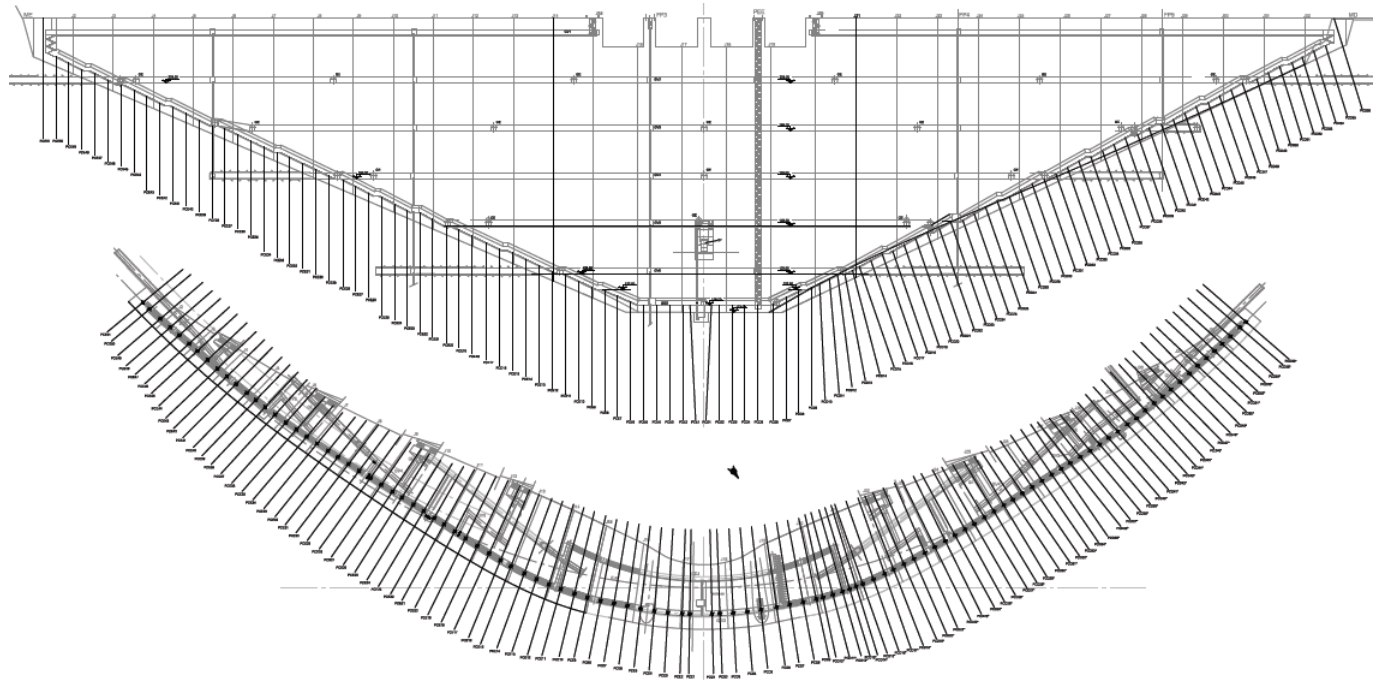
Exemplo: Barragem de Baixo Sabor

- Construção e tratamento de fundações



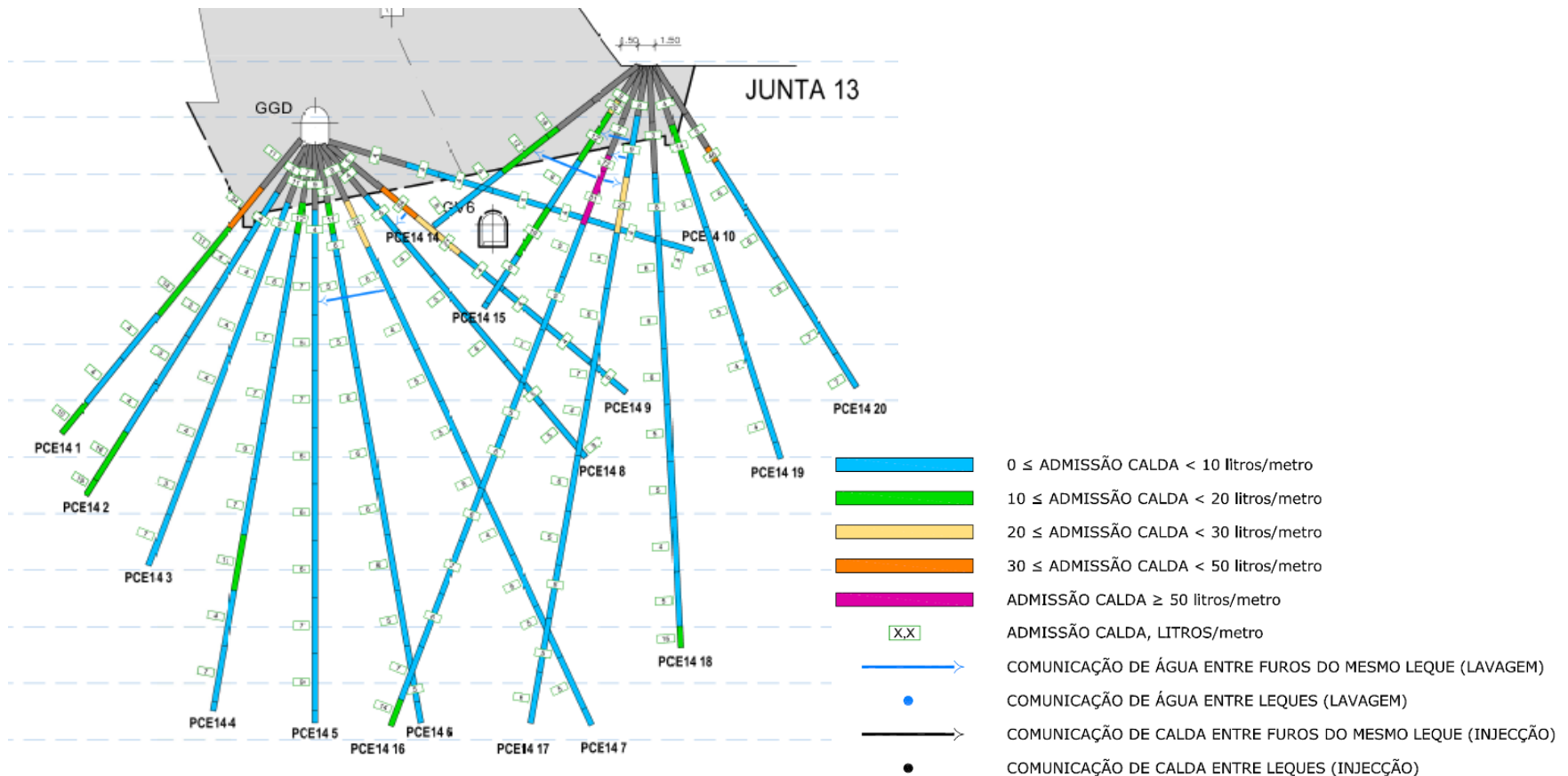
Exemplo: Barragem de Baixo Sabor

- Furação de consolidação (em corte e em planta)



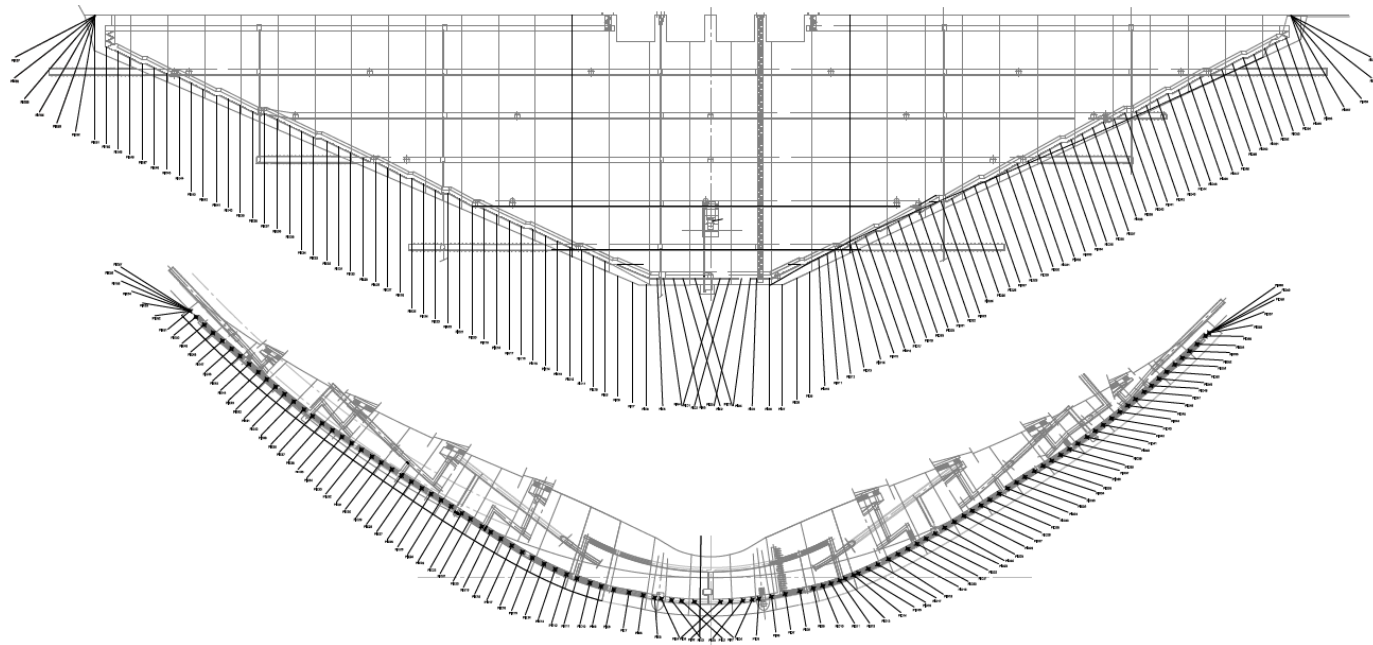
Exemplo: Barragem de Baixo Sabor

- Esquema resumo do tratamento de consolidação num dos perfis da Junta 13



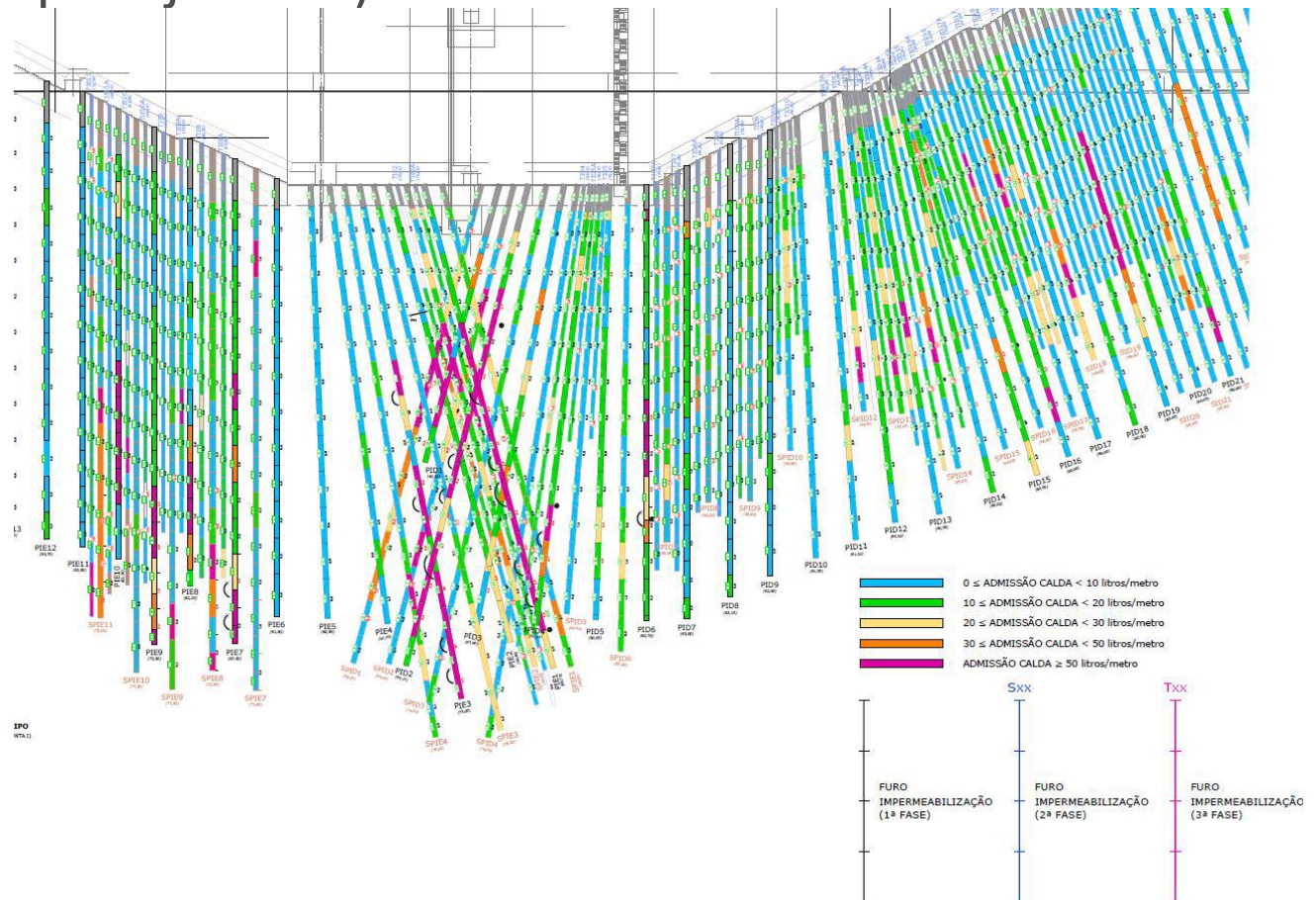
Exemplo: Barragem de Baixo Sabor

- Furação de impermeabilização (em corte e em planta)



Exemplo: Barragem de Baixo Sabor

- Injeções da cortina de impermeabilização no fundo do vale (vista de montante para jusante)



Exploração



Fases	Objetivos	Tipo de estudos
Exploração (Pós-construção)	Estudos de avaliação - Primeiro enchimento - Situações de emergência - Análise da segurança - Controlo da interação terreno-estrutura - Abandono de barragens	Monitorização Estabilidade das vertentes a montante e jusante Sismicidade induzida

Exploração

- Primeiro enchimento



Albufeira



Albufeira

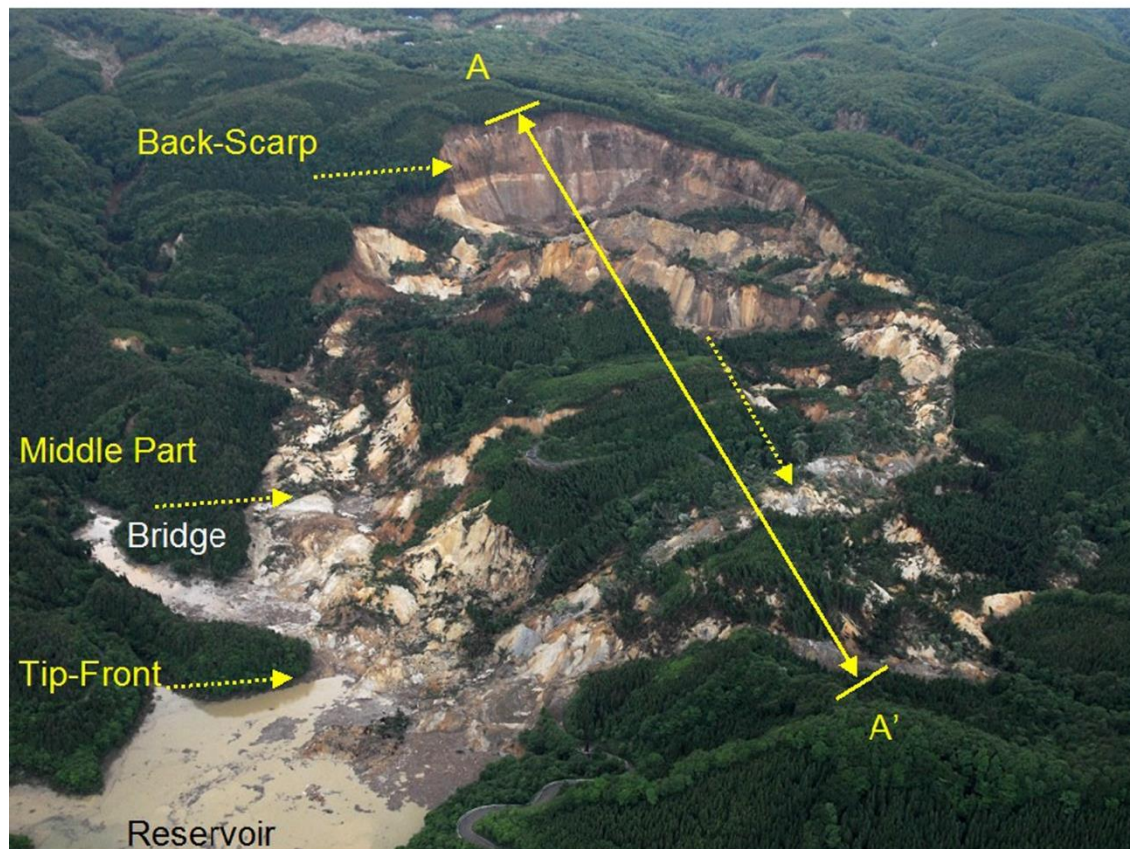
- Aratozawa Dam planar landslide
- Iwate–Miyagi Inland Earthquake
- Volume of collapsed earth near the dam is believed to be more than 10 million cubic meters
- to thrust up from below cause the pressure of underground water to rise



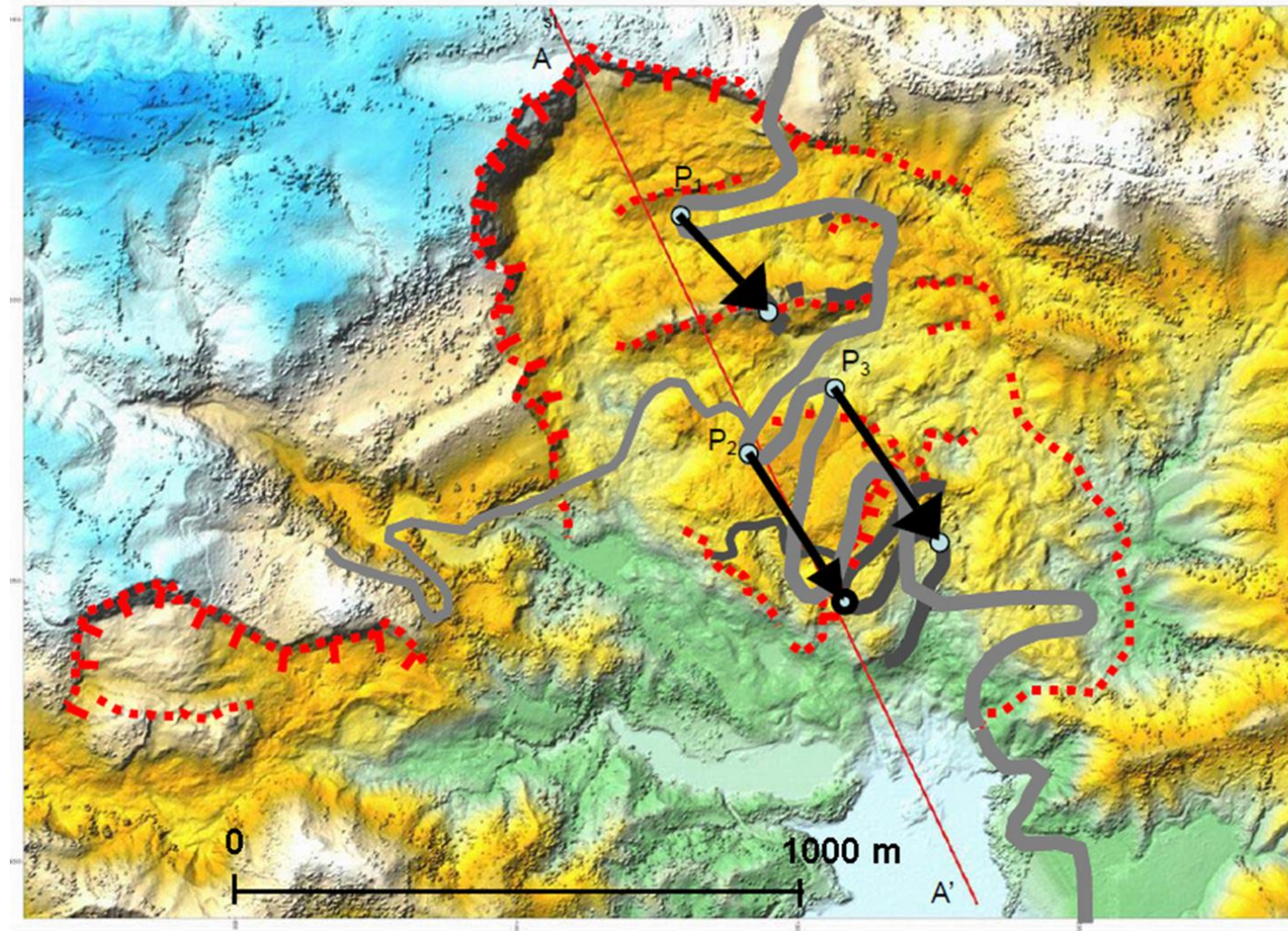
Albufeira

Property	Sandstone	Siltstone	Mudstone
Unit weight (kN/m ³)	14–19	13–15	11–13
Uniaxial compressive strength (MPa)	3.8–19.0	3.3–7.8	3.3–5.3
Tensile strength (MPa)	0.5–0.7	0.4–0.6	0.3–0.4
Young's modulus (GPa)	0.9–1.4	0.5–0.7	0.3–0.5
Poisson's ratio	0.2	0.3	0.3
Friction angle	32–40	18–22	10–12
P-wave velocity (km/s)	1.9–2.3	1.6–1.8	1.4–1.6
Needle penetration index (N/mm)	30–37	20–24	18–22

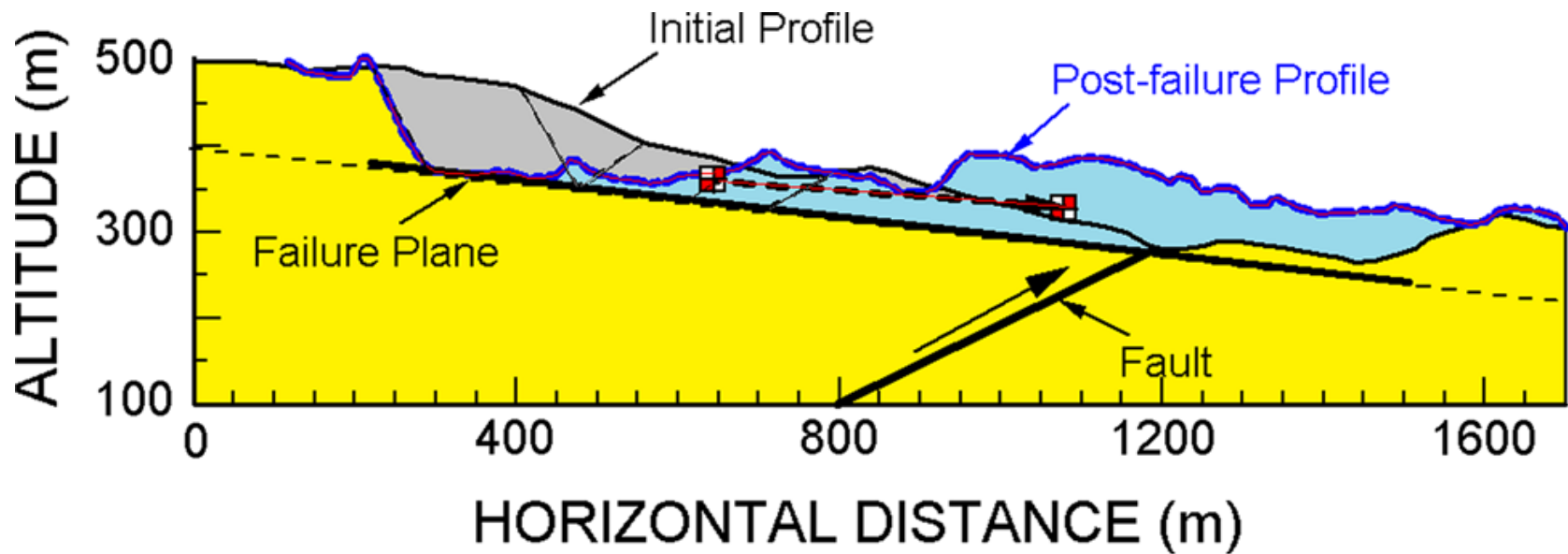
Albufeira



Albufeira



Albufeira



Albufeira

