

Serviços tecnológicos para segurança de barragens

Rodrigo Moraes da Silveira, D. Sc.



institutos **lactec**

INOVADORES POR NATUREZA



XIX CONGRESSO
BRASILEIRO DE
**ENGENHARIA DE
AVALIAÇÕES E PERÍCIAS**
21 a 25 de agosto de 2017

QUEM SOMOS



Instituição Privada

Autossustentável

58 anos no mercado

550 Colaboradores

5 unidades totalizando 30 mil m² de área construída

30 laboratórios para suporte tecnológico

UNIDADES



TECNOLÓGICAS



**CENTRO DE HIDRÁULICA
E HIDROLOGIA
PROFESSOR PARIGOT DE
SOUZA**



**LABORATÓRIO DE
MATERIAIS E
ESTRUTURAS**



**SEDE
ADMINISTRATIVA**



**LABORATÓRIO DE
MECÂNICA E EMISSÕES
VEICULARES**



**LABORATÓRIO CENTRAL
DE PESQUISA E
DESENVOLVIMENTO**

Estrutura da apresentação



- 1 – Introdução;
- 2 – Aspectos gerais;
- 3 – Fase de projeto e construção;
- 4 – Fase de operação;
- 5 – Instrumentação.

1 - Introdução



- **Objetivo:**

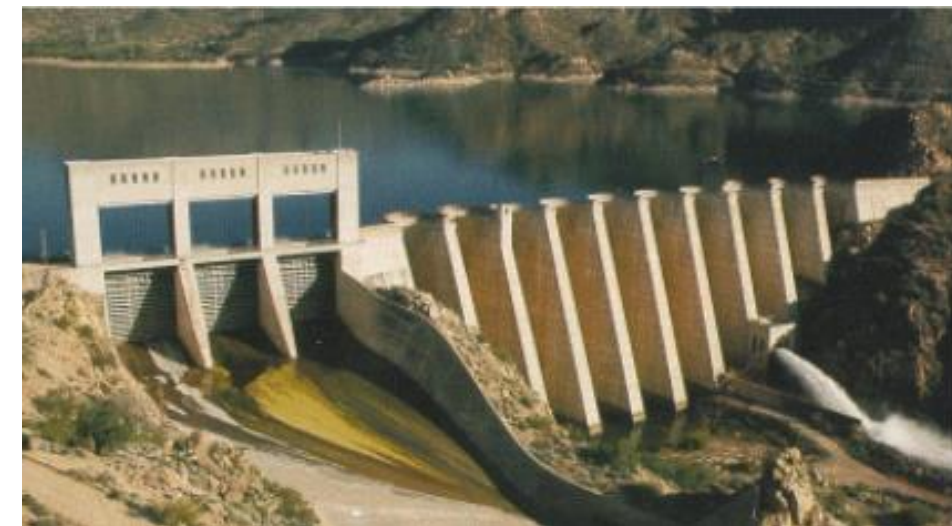
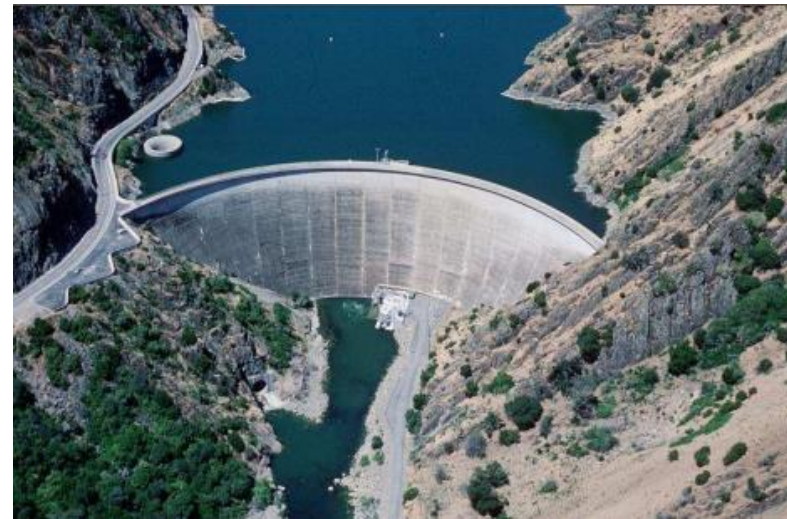
Abordar, de forma geral, os serviços tecnológicos de barragens para melhores práticas de projetos, construções e manutenção de barragens – (operação e segurança estrutural).

1 - Introdução



- **Barragens:**

- Barragens de concreto (armado ou rolado) - de gravidade, em arco e contrafortes
- Barragens convencionais de terra e/ou enrocamento
- Barragem de contenção de rejeitos



Hoover dam, Nevada e Arizona, EUA



Barragem da Vale, Conceição, Itabira/MG



1 - Introdução



ANA ou órgãos estaduais de RH



Órgãos Ambientais



ANEEL



DNPM

Fonte: Apresentação ANA

1 - Introdução



- **Segurança de barragens:**
 - Lei nº 12.334-2010 – Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens;
 - Resolução CNRH nº 143-2012 – Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório;
 - Resolução CNRH nº 144-2012 – Estabelece diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens;
 - Resolução ANA 091/2012 – Estabelece conteúdo mínimo e detalhamento do PSB e realização da Revisão Periódica de Segurança em barragens fiscalizadas pela ANA;
 - Ofício Circular 308/2012 – SFG/ANEEL (03/2012) – Objetivou efetuar classificação de risco das barragens e identificar o planejamento em relação aos itens requeridos pela Lei 12.334/2010.

1 - Introdução



- Segurança de barragens:
 - Trata-se de uma preocupação permanente, tanto por sua importância econômica como pelo risco potencial.

Risco potencial – representa a possibilidade de ruptura ou outro acidente grave como, perdas vidas humanas, impacto ao meio ambiente, prejuízos materiais e reflexos econômico-financeiros.

2 - Aspectos gerais

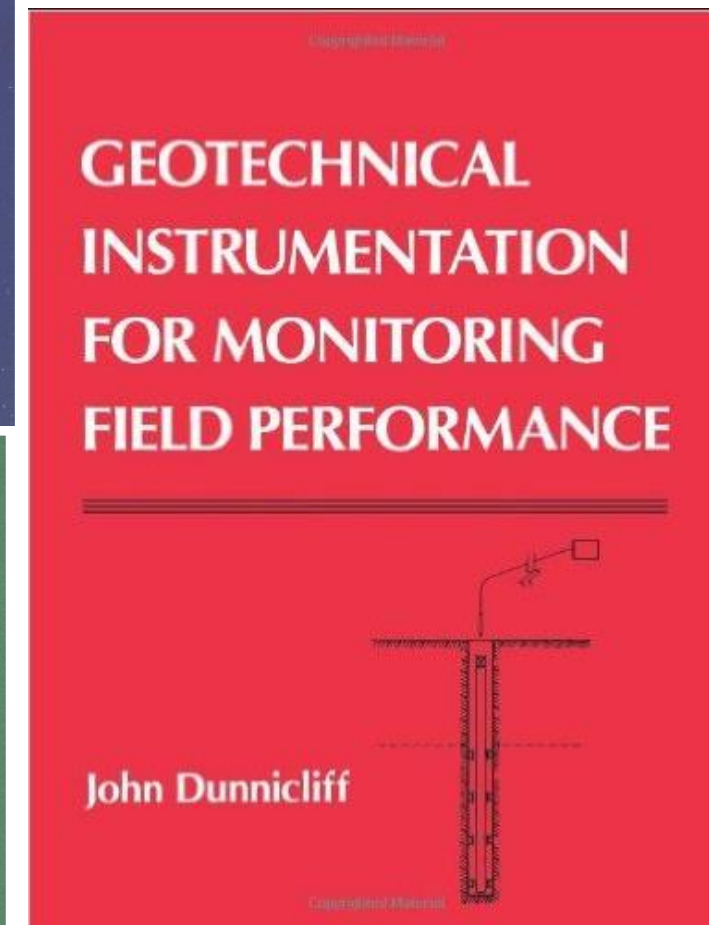
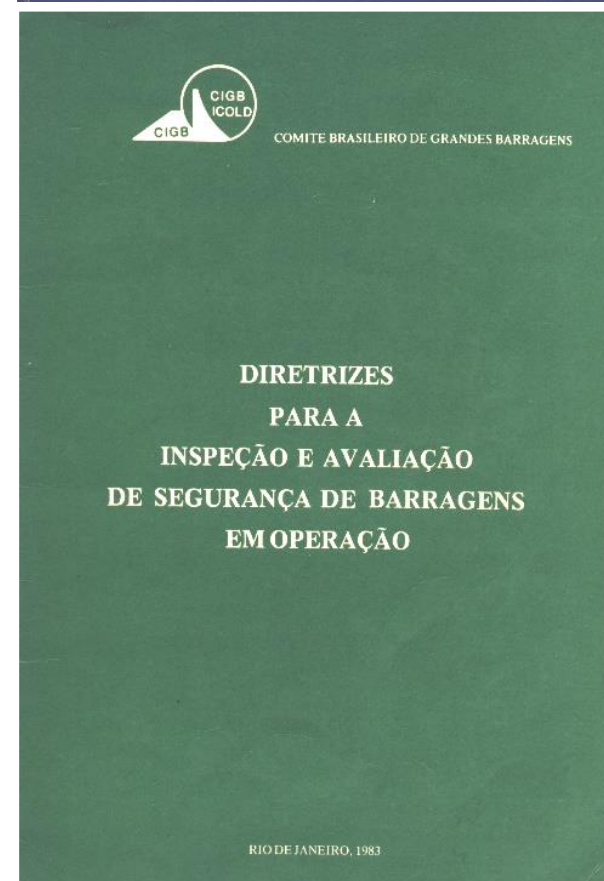
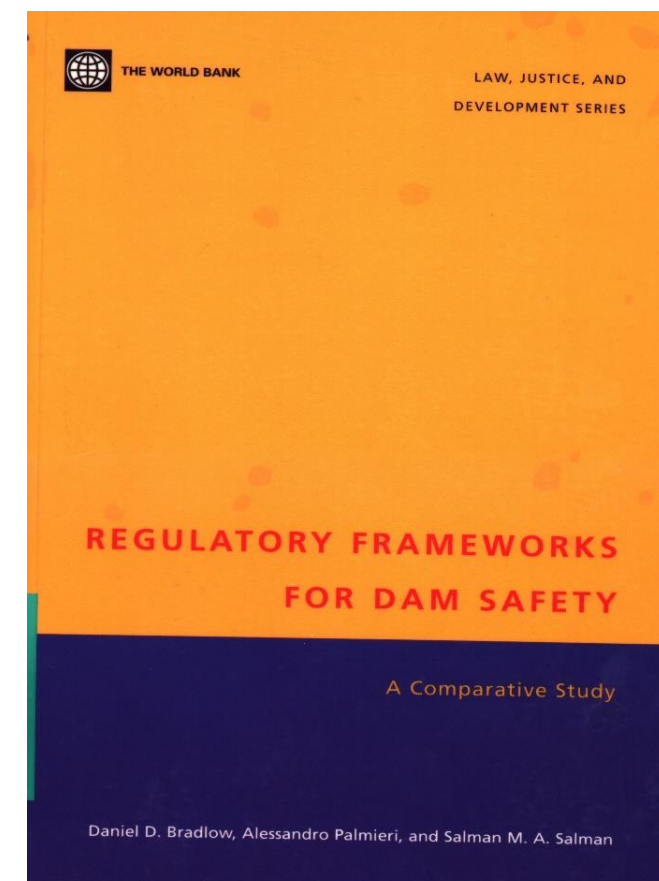
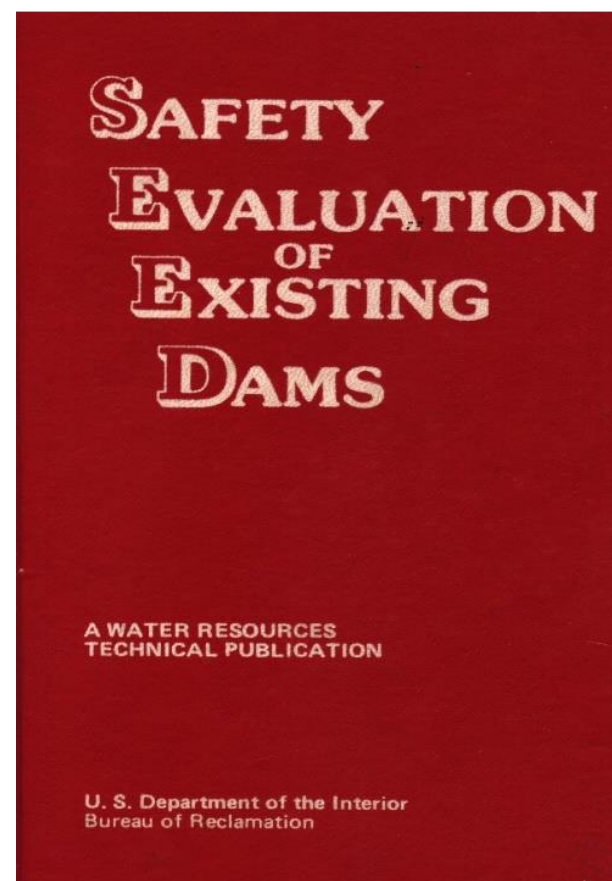
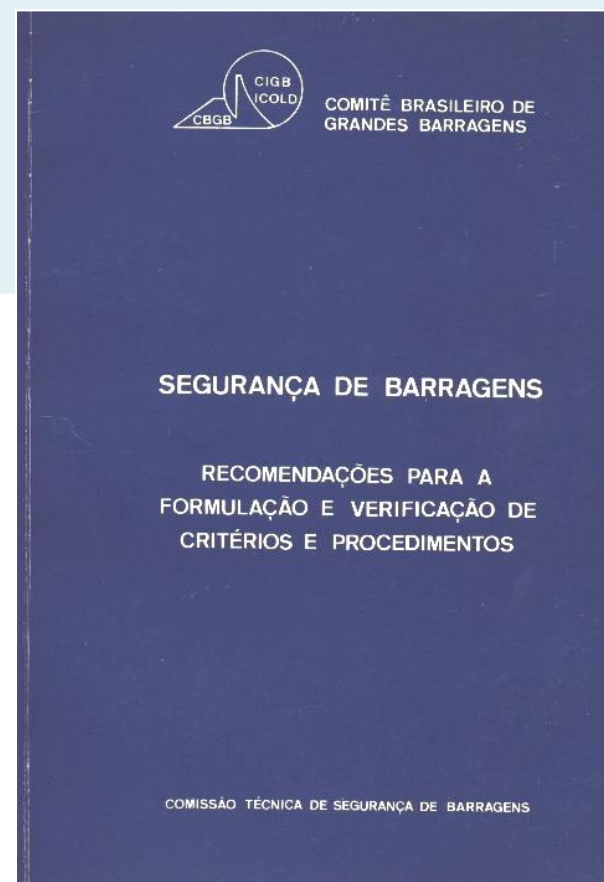
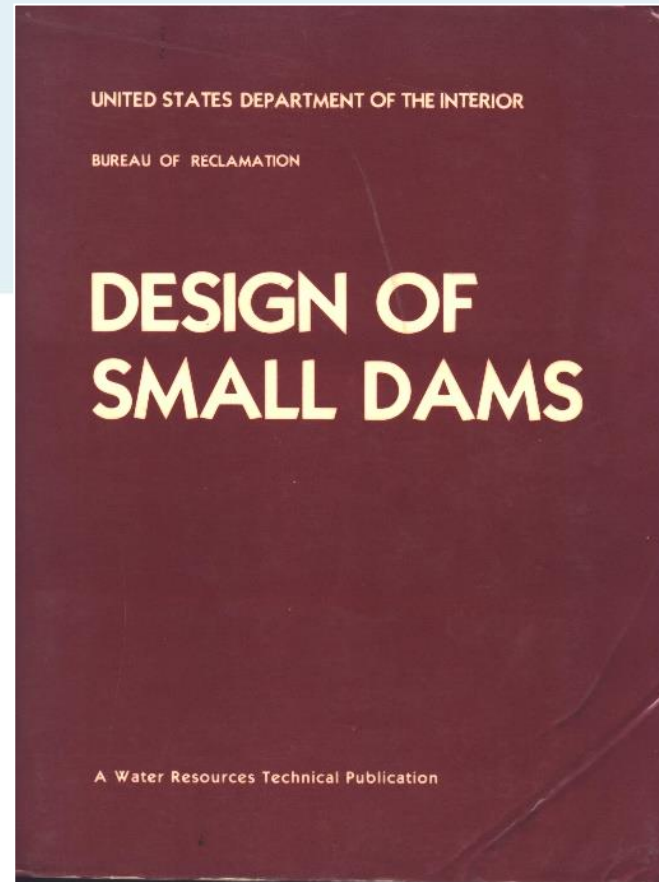
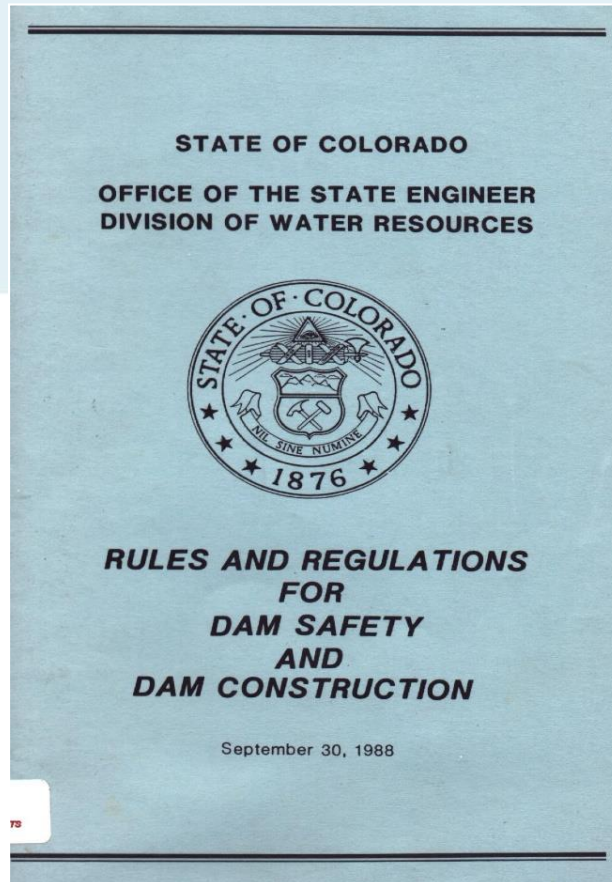


- **Definições de critérios:**
 - Escolha do tipo de barramento (condições de contorno devem ser consideradas);
 - Características geotécnicas e geológicas;
 - Materiais de construção (propriedades);
 - Investigações e ensaios de campo;
 - Estudos hidrológicos e hidráulicos;
 - Determinação da enchente máxima de projeto;
 - Estudos de sedimentação;
 - Estabilidade e erosão;
 - Tratamento das fundações;
 - Sistema de auscultação (INSTRUMENTAÇÃO);
 - Cargas de projeto e condições de carregamento;
 - FS a serem atendidos no dimensionamento.

2 - Aspectos gerais



- O projeto geotécnico de barragens contempla os seguintes aspectos geotécnicos:
 - Pré-dimensionamento da geometria da barragem: taludes, crista, bermas, etc.;
 - Projeto da drenagem interna (filtros e drenos);
 - Preparação das especificações para:
 - escavações, tratamento de fundações (lançamento, compactação e impermeabilizações (fundação da barragem e/ou do reservatório), filtros e drenos, instrumentação e controle (manual de operações);
 - Dimensionamento final da barragem;
 - Projeto da instrumentação e elaboração de cartas de risco;
 - Aspectos geotécnicos das estruturas de concreto (drenagem, estabilidade, etc.);
 - Análises de percolação da água através do aterro e das fundações da barragem (traçado de redes de fluxo em meios porosos);
 - Dimensionamento dos filtros, drenos e transições da barragem;
 - Análises da estabilidade dos taludes da barragem;
 - Análises do comportamento tensão x deformação da barragem (prevenção a fissuramentos internos).

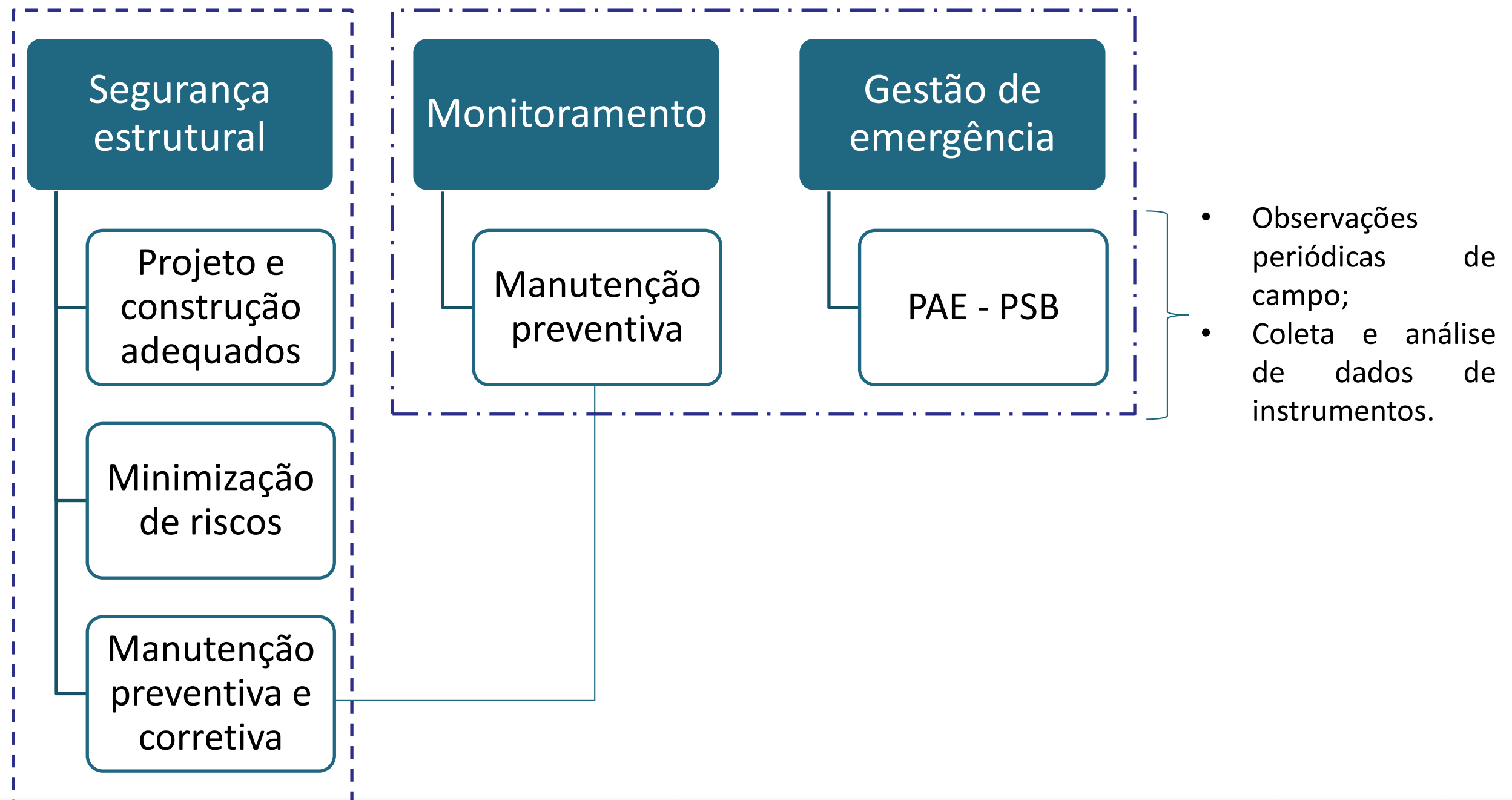


Lei 12.334/2010 – Lei de Segurança de Barragens



Fase de projeto e construção:

Fase de operação:



3 – FASE DE PROJETO E CONSTRUÇÃO institutos **lactec**

Estudos hidráulicos;

Estudos geológicos-geotécnicos;

Ensaio laboratoriais;

Projeto – equipe multidisciplinar e experiente;

Controle de qualidade na construção.



4 – FASE DE OPERAÇÃO

Regular

- Realizadas pela equipe própria do empreendimento;
- Consideradas como cotidianas;
- Com frequência mínima estabelecida pela legislação vigente (1 ano) ou estudos que indiquem a necessidade de menor periodicidade;
- Devem abranger todas as estruturas, retratando as condições de segurança, conservação e operação das estruturas.

Especial

Em condições excepcionais, sempre que detectadas anomalias relevantes:

- Problemas decorrentes de grandes cheias;
- Esvaziamentos significativos;
- Abalos sísmicos;
- Ventos de magnitudes não usuais, entre outros.

INSPEÇÃO

CONTROLE TECNOLÓGICO



- Montagem de laboratório em obra com equipe para controle tecnológico de materiais utilizados na construção de grandes empreendimentos da construção civil.
 - ✓ Ensaios em aço (mecânicos);
 - ✓ Cimentos (caracterização física);
 - ✓ Agregados (caracterização física);
 - ✓ Concretos (CCV, CCR, projetado), calda de cimento e argamassas (dosagens, caracterização mecânica, ensaios físicos);
 - ✓ Controle estatístico e aceitação do concreto;
 - ✓ Acompanhamento de lançamento de concretos e solos.

CONTROLE TECNOLÓGICO



- ✓ Caracterização de solos;
- ✓ Acompanhamento de lançamentos de filtros, transição e enrocamentos;
- ✓ Acompanhamento do núcleo argiloso (aterro);
- ✓ Acompanhamento de execução de cortina de injeção na rocha.

FISCALIZAÇÃO DE OBRAS



- Atuação na supervisão e auditoria (fiscalização) de obras, serviço comumente denominado de engenharia do proprietário (“o olho do dono da obra”), onde se fiscaliza tecnicamente a empresa contratada (geralmente pela construtora) para a realização do controle tecnológico.
 - ✓ Acompanhamento dos ensaios laboratoriais (concreto e solos);
 - ✓ Supervisão em campo dos lançamentos dos materiais;
 - ✓ Avaliação do controle estatístico e aceitação do concreto;
 - ✓ Acompanhamento de lançamento/adensamento de concretos;
 - ✓ Acompanhamento de lançamento/compactação de solos.

MONITORAMENTO



Auscultação:

É o conjunto de métodos de observação do comportamento de uma determinada obra de engenharia, com o objetivo de controlar as suas condições de segurança, comprovar a validade das hipóteses e dos métodos de cálculo utilizados no projeto, verificar a necessidade da utilização de medidas corretivas, fornecer subsídios para a elaboração de novos critérios de projeto, etc.

Instrumentação:

Refere-se ao conjunto de dispositivos instalados nas estruturas e em suas fundações objetivando monitorar seu desempenho a partir de medições de parâmetros, cujos resultados, devidamente analisados e interpretados, servirão para avaliar suas condições de segurança.

5 - Instrumentação



Limitações (Dunnicliff, 1988):

- A instrumentação cobre somente um número limitado de regiões;
- A instrumentação pode ser danificada, pode falhar ou começar a funcionar precariamente com o envelhecimento, fornecendo resultados errados;
- Muitas vezes a ocorrência de uma anomalia não pode ser detectada porque a instrumentação não tem sensibilidade suficiente ou não foi instalada no lugar adequado;
- Muitos relatos de acidente afirmam que **o problema não foi detectado pela instrumentação** e que o “alarme” foi dado pela observação visual;
- Dificilmente a instrumentação detecta fenômenos inesperados não previstos na fase de projeto.

Instrumentação



Quantidade (Dunnicliff, 1988):

- A quantidade de instrumentos a ser instalado em uma barragem está condicionada principalmente aos seguintes aspectos básicos: comprimento da barragem, altura máxima, características geológicas da fundação, características dos materiais utilizados no corpo da barragem e etapas construtivas.
- É inviável o estabelecimento de regras pré-determinadas definindo a quantidade de instrumentos a serem instalados em uma barragem.

Monitoramento



RECALQUES

- ✓ *PINOS DE RELALQUES*
- ✓ *MARCOS SUPERFICIAIS*

DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS

- ✓ *ESTAÇÃO TOTAL*

ROTAÇÃO NAS DIREÇÕES TRANSVERSAL E LONGITUDINAL

- ✓ *ELETRONÍVEL*

VIBRAÇÕES

- ✓ *SISMÓGRAFO*

DEFORMAÇÕES SUBSUPERFICIAIS

- ✓ *INCLINÔMETROS*

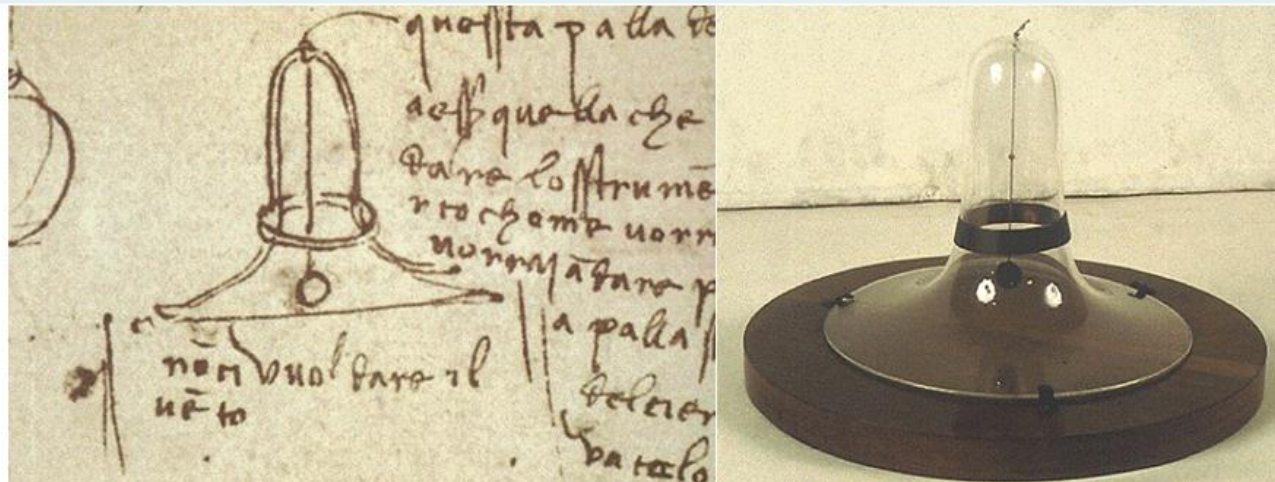
NÍVEL D'ÁGUA

- ✓ *MNA*

POROPRESSÃO

- ✓ *PIEZÔMETROS*

Histórico da instrumentação



O primeiro inclinômetro – Leonardo Da Vinci em 1480



O primeiro piezômetro – Stephen Hales em 1733



Inclinômetro convencional - Slope Indicator

- O primeiro inclinômetro – controlar a posição das máquinas voadoras no ar



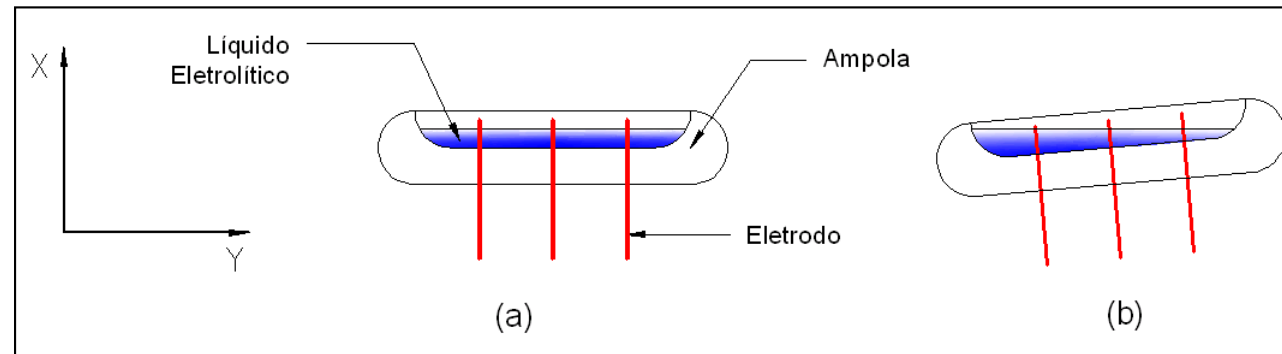
Piezômetro elétrico convencional TriTech

- O primeiro piezômetro – Hales mediu pressão sanguínea de um cavalo.

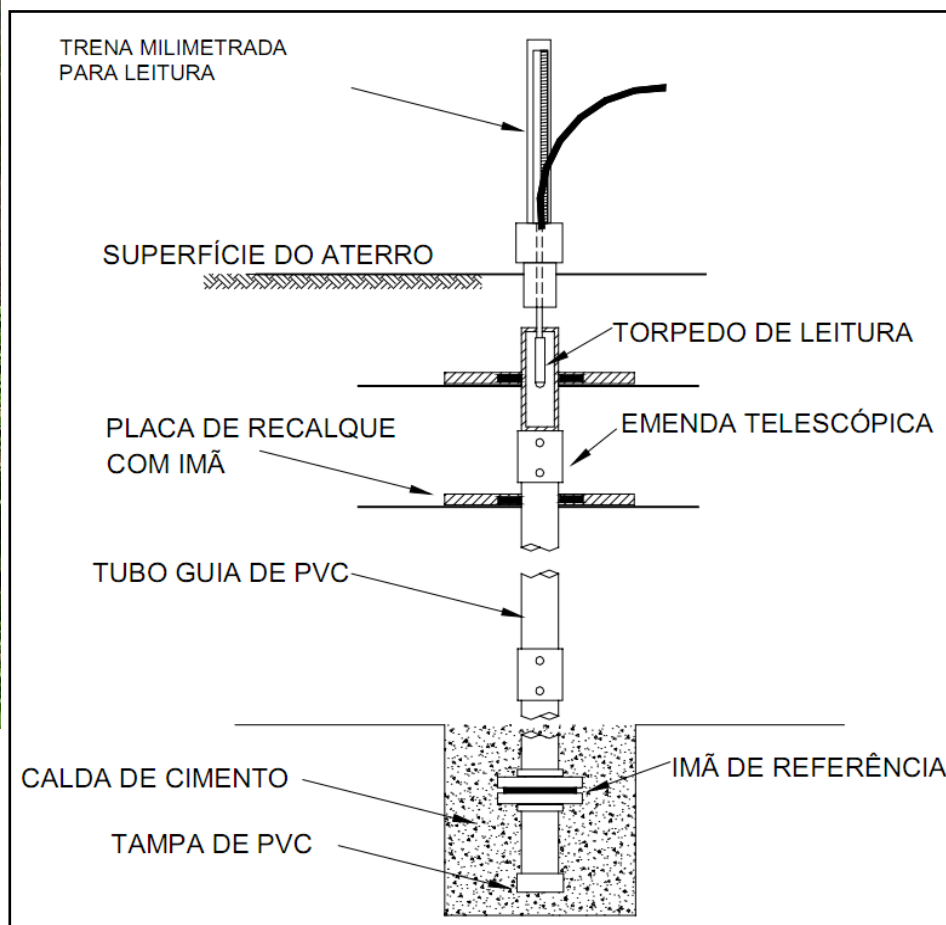
Instrumentos convencionais



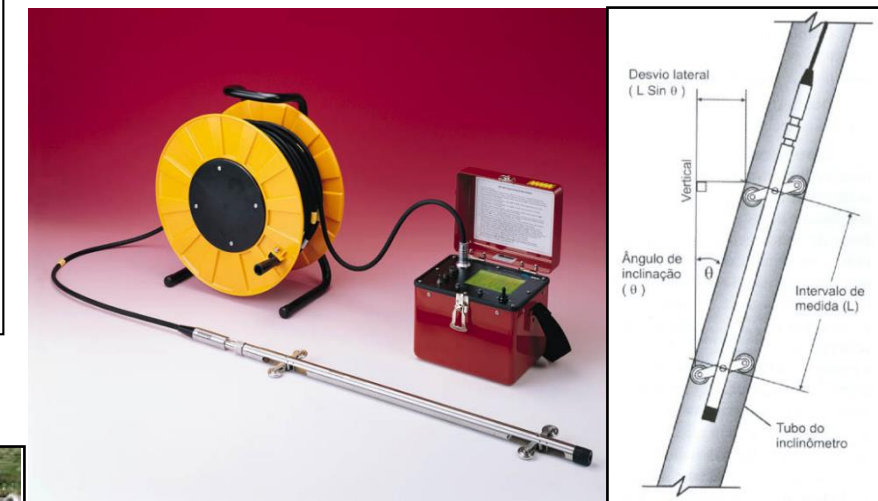
Marcos topográficos



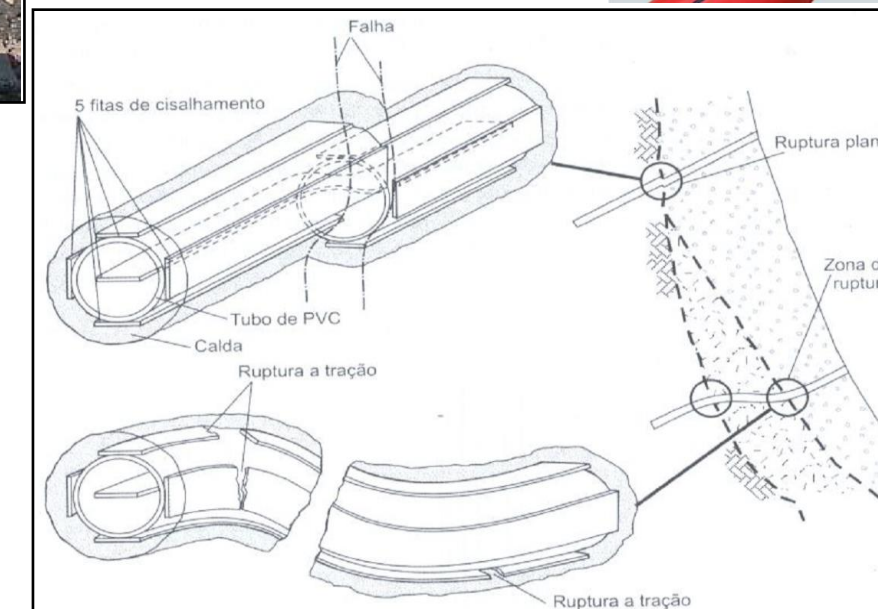
Eletrônicos



Medidores de deslocamento superficial



Inclinômetro



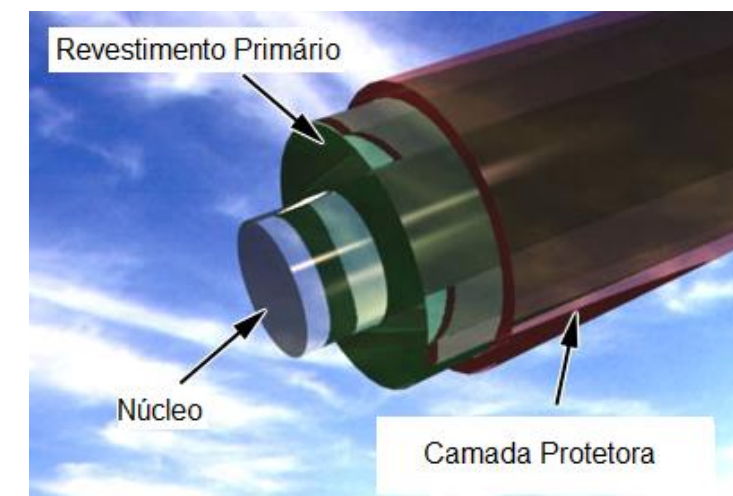
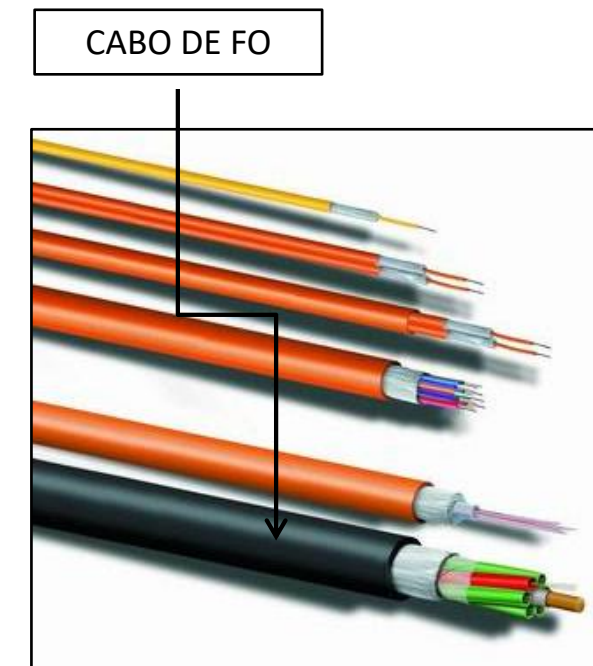
Fita de cisalhamento

Tecnologia de fibra óptica



O QUE É A FIBRA ÓPTICA?

- É um meio através do qual a luz pode ser transmitida, transportando informações, seguindo trajetos retilíneos ou curvos;
- **Núcleo:** tem a função de transmitir o sinal de luz;
- **Cladding** (casca): tem a função de manter o sinal viajando no interior do núcleo por reflexão total;
- **Revestimento:** a primeira camada não óptica, tem objetivo principal de proteção mecânica e reforço da fibra;
- **Camada protetora:** Fornece resistência à abrasão.



Tecnologia de fibra óptica



PORQUÊ UTILIZAR FIBRAS ÓPTICAS?

- Imunidade eletromagnética;
- Elevada abrangência espacial – até ~30km de monitoramento por cabo óptico;
- Baixo custo dos sensores (mas a unidade leitora é “cara”!);
- Facilidade de aquisição de dados durante as piores (e mais importantes) condições climáticas – possibilidade de processamento e análise em tempo real.

Tecnologia de fibra óptica

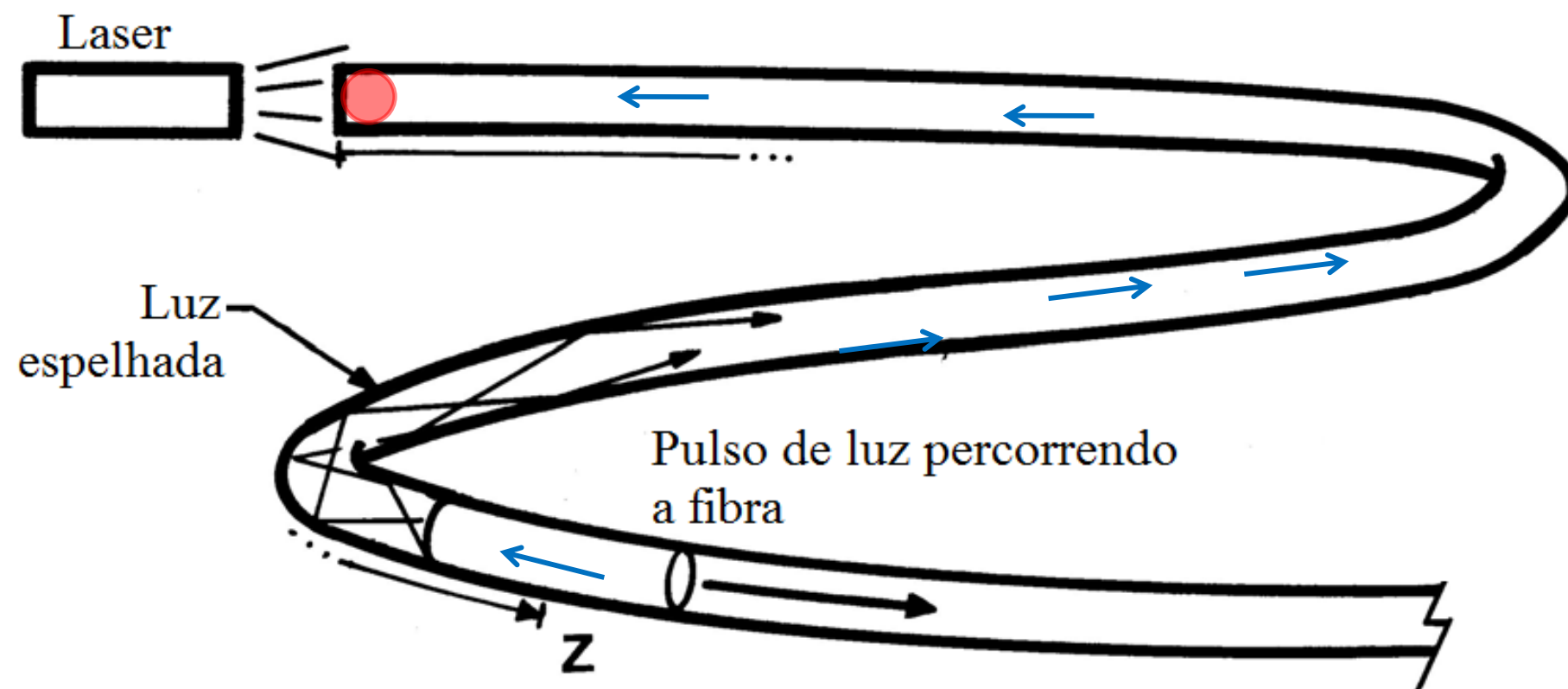


Experimento de Guiamento da Luz

- Daniel Colladon em 1841, através um jato de água que fluía de uma vasilha para outra e usando um feixe de luz, demonstrou que a luz ficava guiada dentro da água devido a reflexões internas, seguindo um caminho específico. Em 1870, John Tyndall realizou esse experimento, sendo mencionado de descobridor;
- Este guiamento na realidade ocorre devido à diferença de índice de refração entre o ar e água.



Tecnologia de fibra óptica



(adaptado de Smolen e Spek, 2003)

Tecnologia de fibra óptica



O que pode ser medido com Fibras Ópticas?

- Aceleração
- Gases
- Cor
- Deslocamento
- Vazão
- Força
- Umidade
- Nível de Fluídos
- Campos H e E
- Movimento
- Posição (linear, angular)
- Pressão (fluidos, gases, etc.)
- Aproximação
- Radiação
- Som
- Velocidade
- *Strain* (deformação)
- Temperatura
- Vibração
- Viscosidade
- Peso

Tecnologia de fibra óptica



APLICAÇÕES NA ENGENHARIA DE BARRAGENS

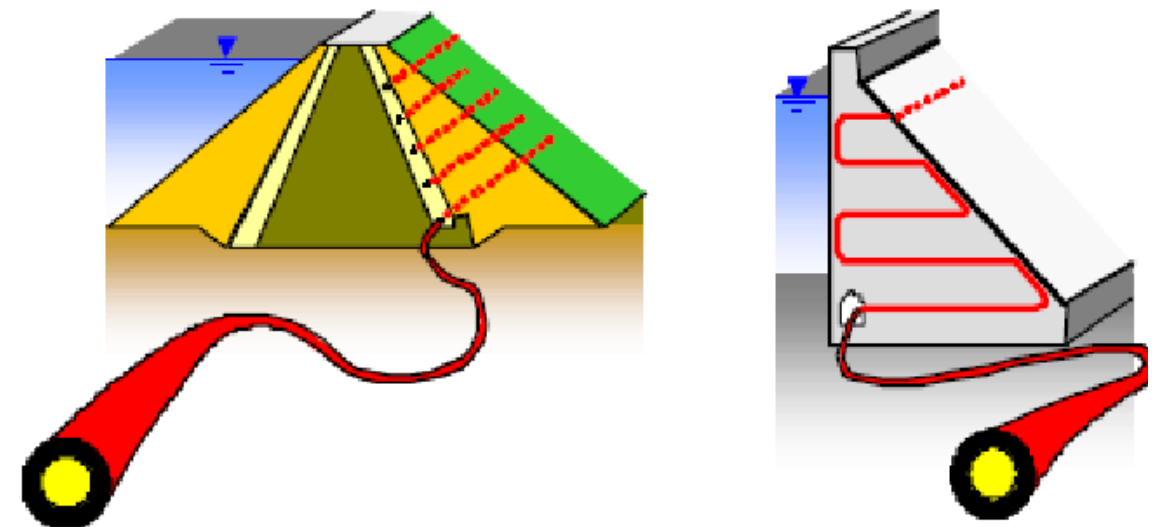
- Monitoramento de Barragens

Temperatura em maciços de concreto (CCR);

Erosão em núcleos de argila;

Fluxos em material drenante;

- Infiltração em juntas;
- Detecção de vazamentos;
- Instabilidade de Taludes.



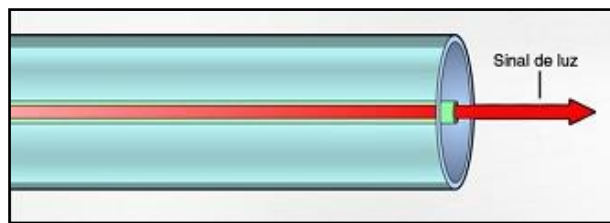
Tecnologia de fibra óptica



FIBRA MONOMODO (DTSS)

$d \approx 4\mu\text{m}$ a $10\mu\text{m}$

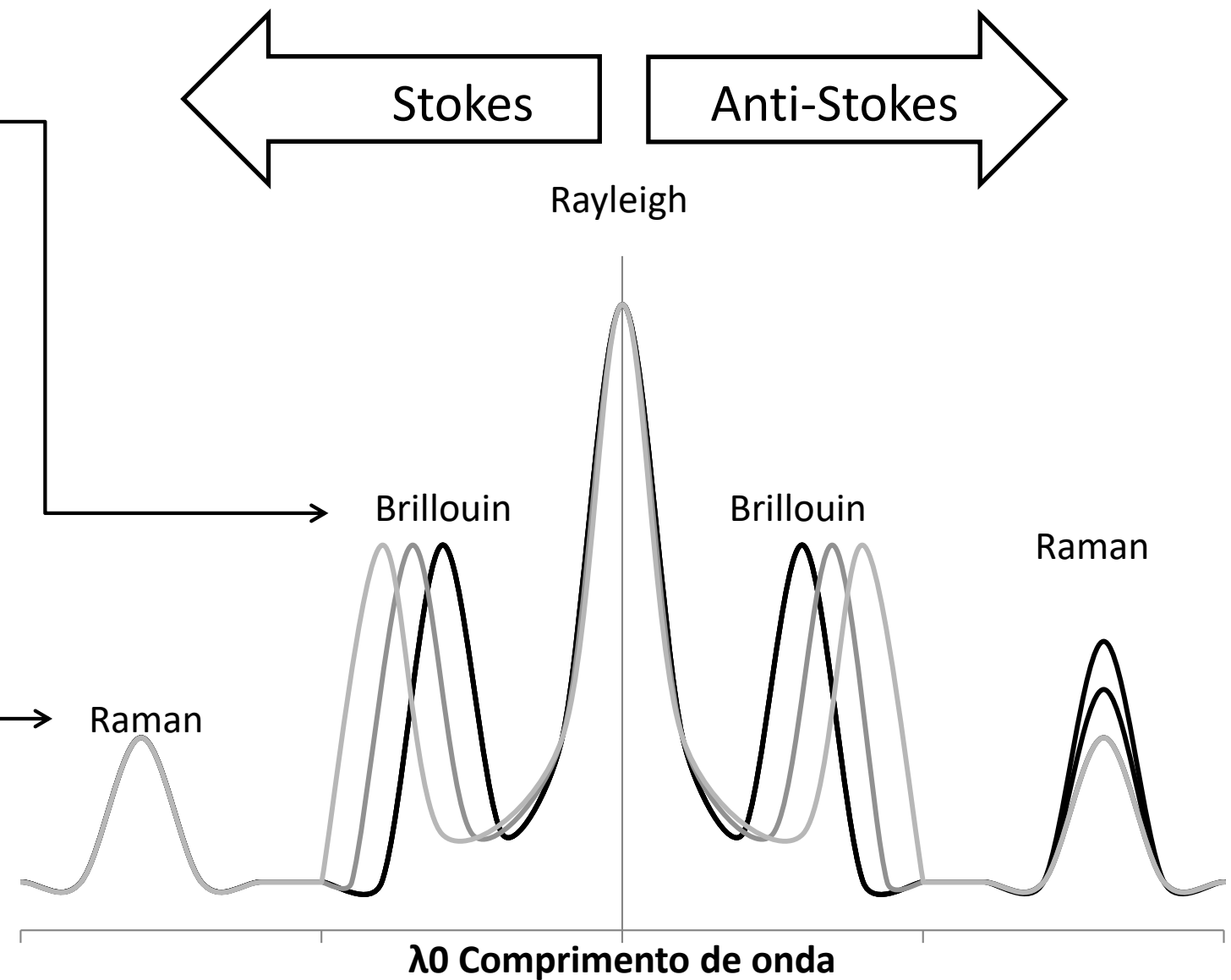
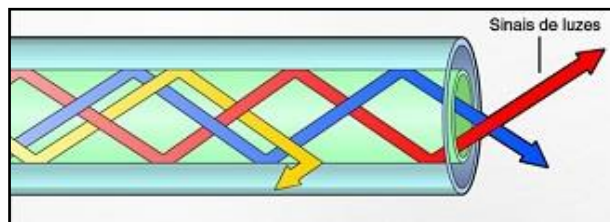
A luz viaja por um caminho único (de um único modo).



FIBRA MULTIMODO (DTS)

$d \approx 25\mu\text{m}$ a $150\mu\text{m}$

A luz viaja por vários caminhos (ou de modos diferentes).



Fibra óptica ou fibra ótica?



Mais informações sobre os Métodos Distribuídos:

<https://www.youtube.com/watch?v=dG7whvEunu0>

Instrumentos ópticos



Instalações em campo – Medidor de nível d'água e piezômetros – DTS

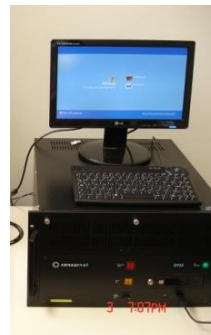
Procedimento de instalação:



Instrumentos ópticos



Instalações em campo – Encostas atravessadas por dutos da Petrobras – Movimentos de massa – DTSS (TAMBÉM APLICÁVEL A BARRAGENS – TALUDE DE JUSANTE E MONTANTE.



MOTIVAÇÃO

Pipeline



Instrumentos ópticos



Redes de Bragg – Testes em Laboratório

- Sensor de poro-pressão P-01 (Sylex) em célula triaxial



Instrumentos ópticos



- Sensor de deslocamentos – extensômetro ASC-01



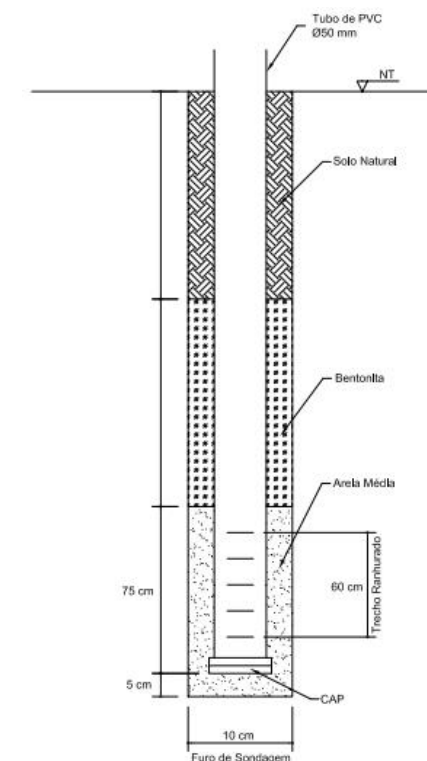
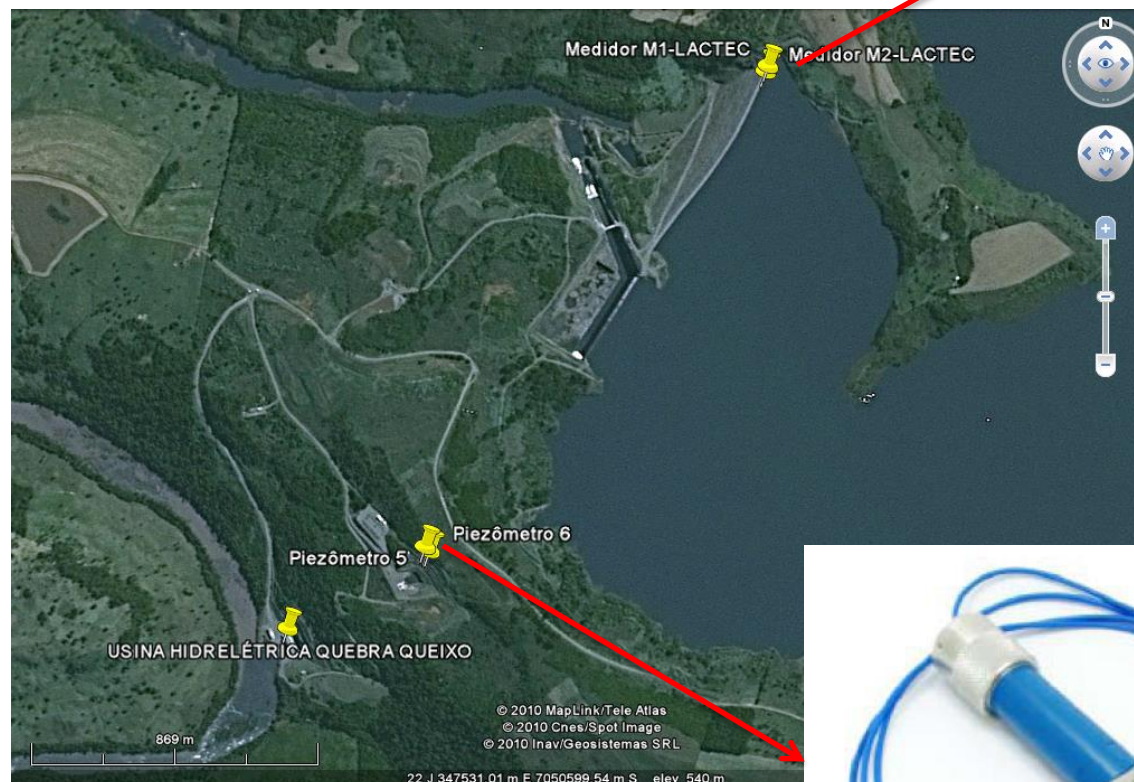
Instrumentos ópticos



Sensores - Redes de Bragg

- Sensores de poro-pressão e deslocamento Quebra-Queixo

na U



Instrumentos ópticos



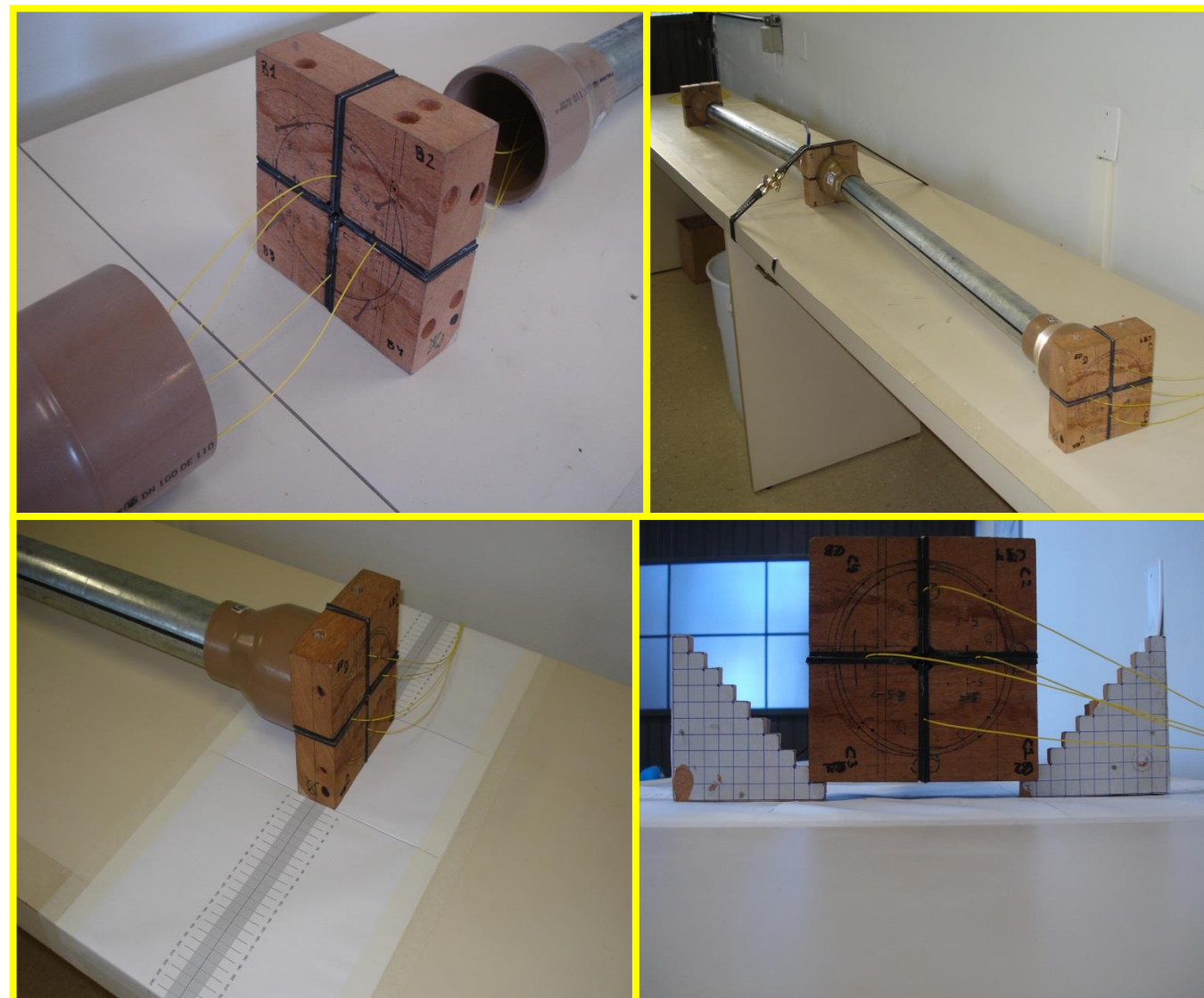
- Sensores de deformações instalados em UHE



Instrumentos ópticos



- Inclínômetro FO – em fase inicial de estudo

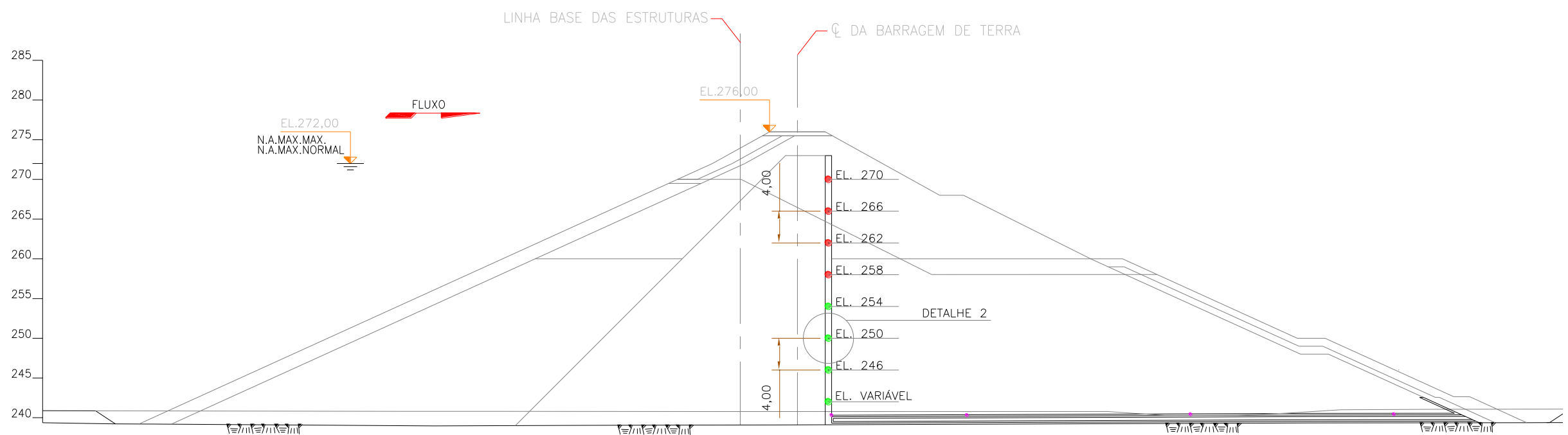


Instrumentos ópticos



Geração e transferência de calor no solo e água – Método do Aquecimento

Desenvolvimento de sistema para medida da velocidade do fluido – Detecção de Erosão Interna



CORTE_B
ESC. 1:500

Geração e transferência de calor no solo e água – Método do Aquecimento



Geração e transferência de calor no solo e água – Método do Aquecimento



Considerações finais



- A apresentação deu apenas ideias gerais sobre serviços tecnológicos. Não era objetivo esgotar o assunto;
- A FO é uma evolução na instrumentação geotécnica e no monitoramento espacial e contínuo, e já é uma real tecnologia de ponta;
- Está em ativo processo de desenvolvimento e ainda tem muito a ser estudado e evoluir, o que comprova sua potencialidade;
- Utilização em P&D e aplicações práticas em obras demonstram importância e futuros benefícios possíveis para a engenharia;

Considerações finais



- Quanto a instrumentação como um todo, o monitoramento hidráulico-mecânico de barragens através da instalação de um adequado sistema de instrumentação desempenha um papel fundamental na avaliação do comportamento destas estruturas, tanto durante o período de construção quanto no regime de plena operação;
- É inconcebível grandes estruturas sem um adequado número de instrumentos com monitoramento assíduo procedido por profissionais com conhecimento específico.



Não há ensino sem pesquisa e pesquisa sem ensino.

PAULO FREIRE

Não há engenheiro sem conhecimento e atualização, que somados ao bom senso, iniciativa e criatividade formam o perfil de um bom profissional.

FERNANDO SCHNAID

A informação solicitada nem sempre é a informação necessária. A informação necessária nem sempre pode ser obtida. A informação obtida nem sempre é suficiente. A informação suficiente nem sempre é economicamente viável.

FERNANDO SCHNAID

CONTATO:

Rodrigo Moraes da Silveira

rodrigo.silveira@lactec.org.br

+55 41 3361- 6280

www.institutoslactec.org.br

OBRIGADO