

AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DAS ESTRUTURAS CIVIS

ITAIPU BINACIONAL



Superintendência de Engenharia - EN.DT
Divisão de Eng^a Civil e Arquitetura - ENCC.DT
Outubro/2025



Reservatório de Itaipu

Nível de montante (m)	
Normal de projeto	220,00
Máximo de cheias	223,10
Mínimo excepcional	197,00
Nível de jusante (m)	
Normal de projeto	100,00
Máximo	142,15
Mínimo	92,00
Regularização	
Inferior a mensal (fio d'água)	
Queda bruta (m)	
Máxima	128,00
Mínima	84,00
Queda nominal (m)	
118,40	

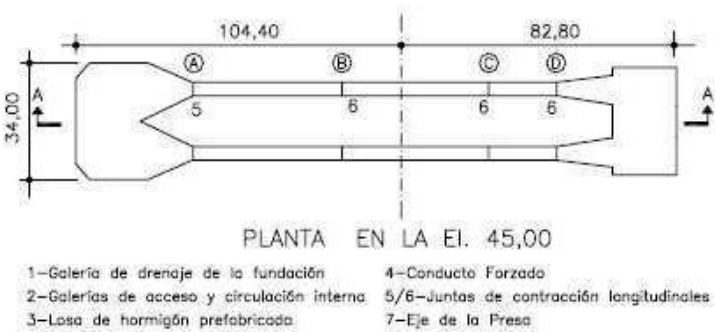
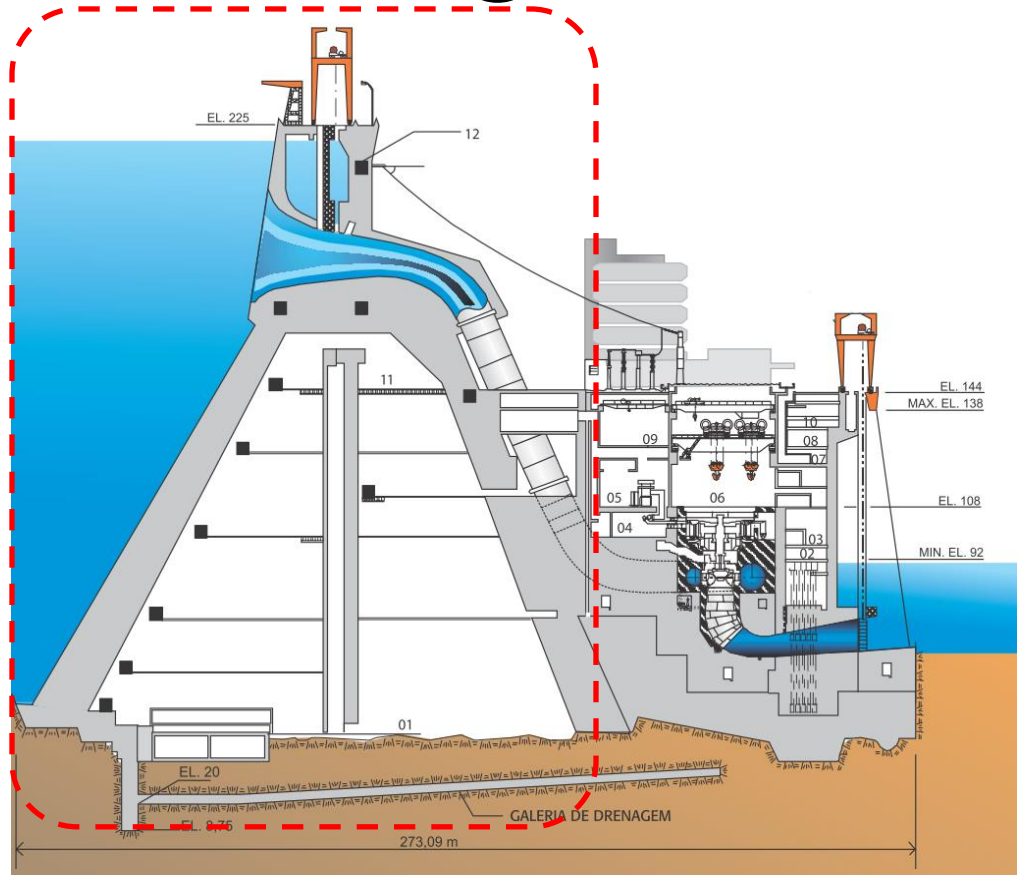
Volume no nível normal de projeto (m³)	29x10 ⁹
Volume útil (m³)	19x10 ⁹
Extensão (km)	170
Largura Máxima (km)	12
Largura Média (km)	7
Superfície (km²)	
Nível normal (EL. 220,00)	1.350
Nível máximo de cheias (EL. 223,10)	1.561
Nível mínimo excepcional (EL. 197,00)	459



Barragens de Itaipu



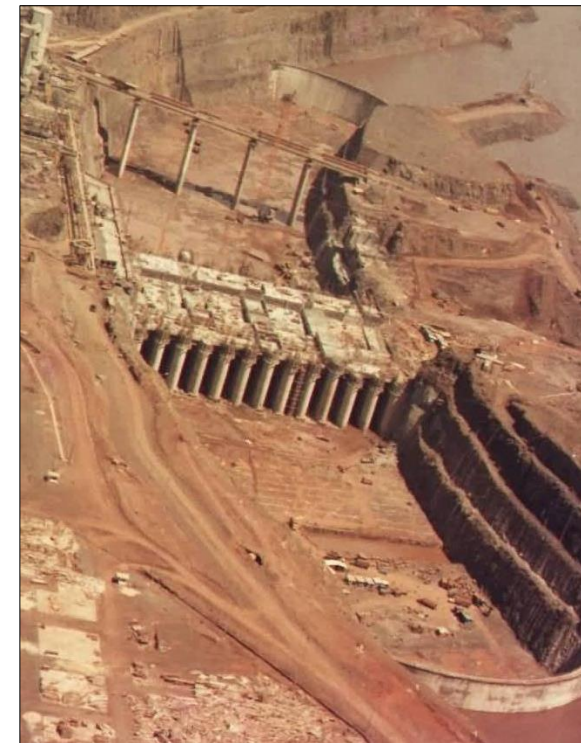
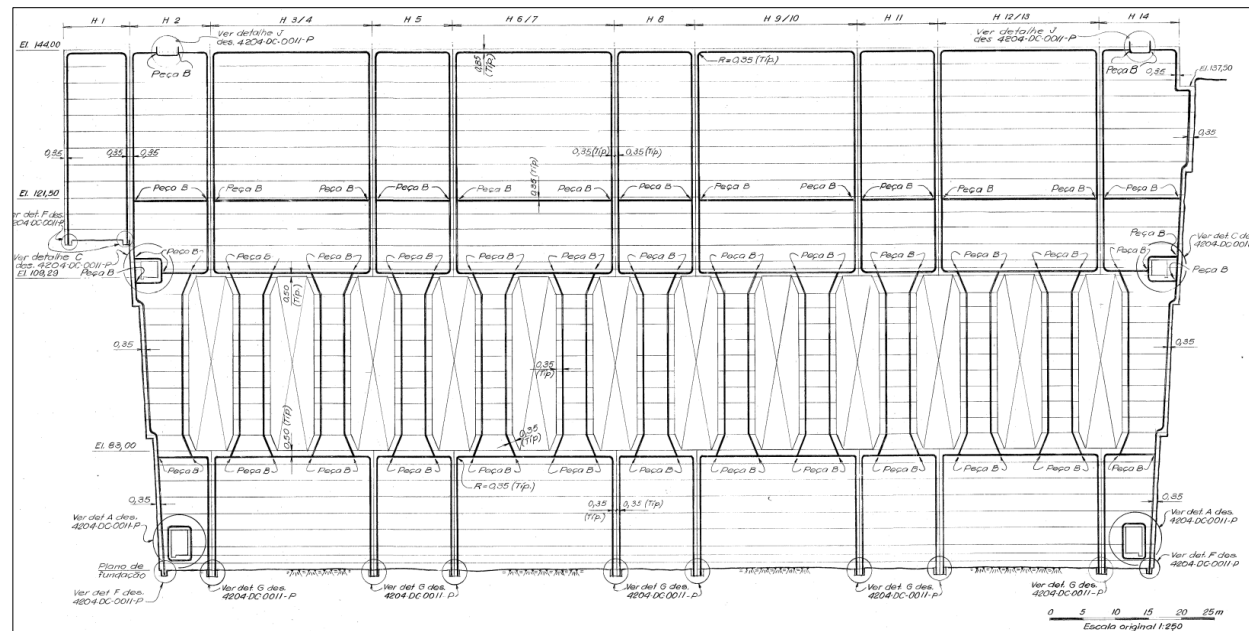
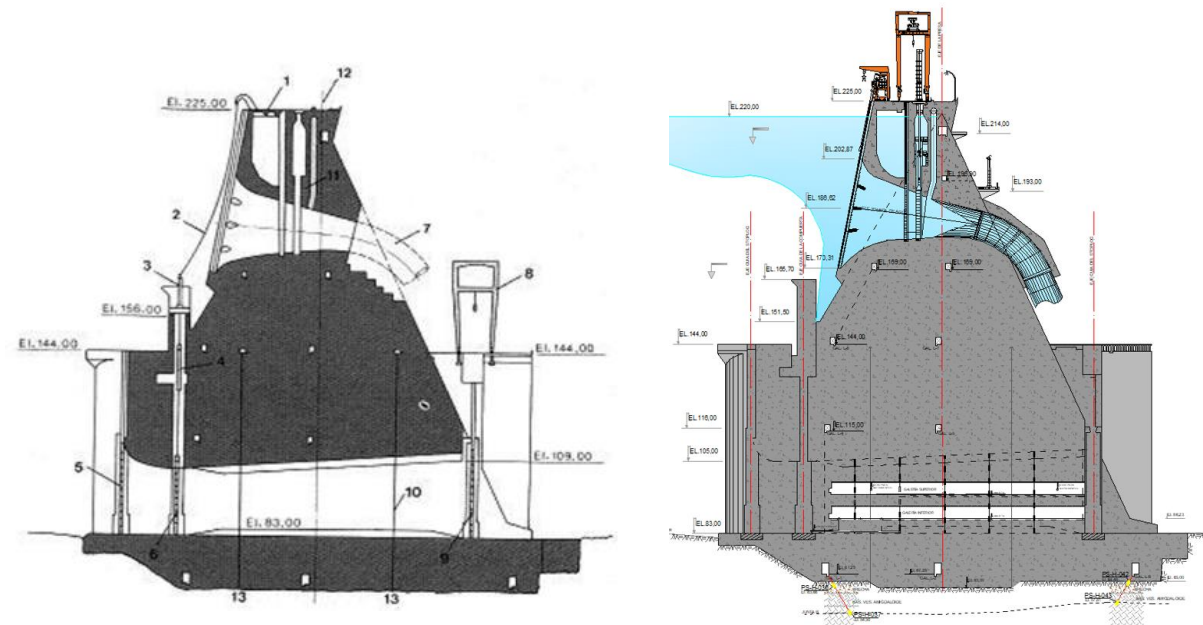
Barragem Principal



- Gravidade aliviada
- Menor volume de concreto (15%)
- Maior rapidez de construção
- Melhor dissipação do calor de hidratação
- Melhor drenagem da fundação

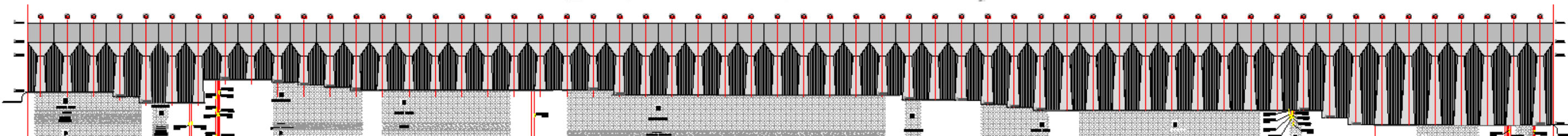
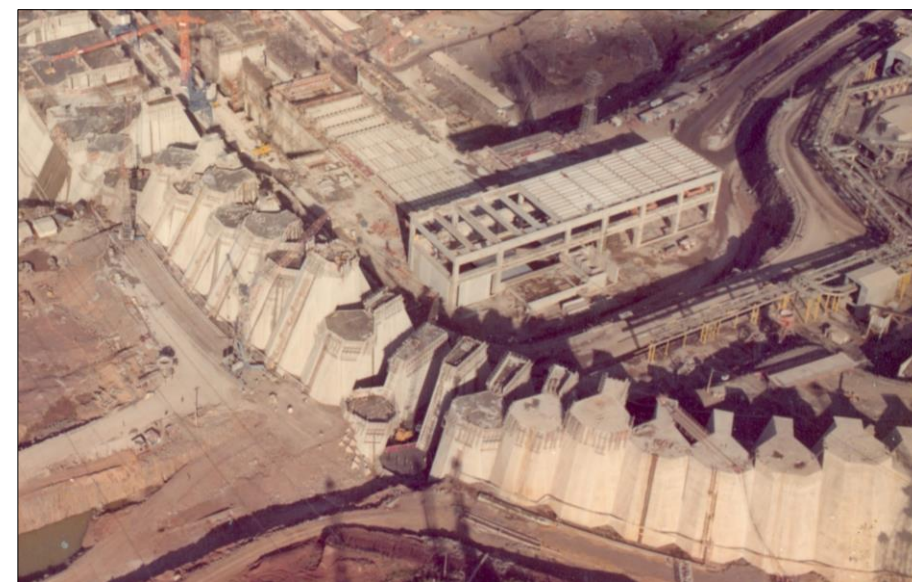
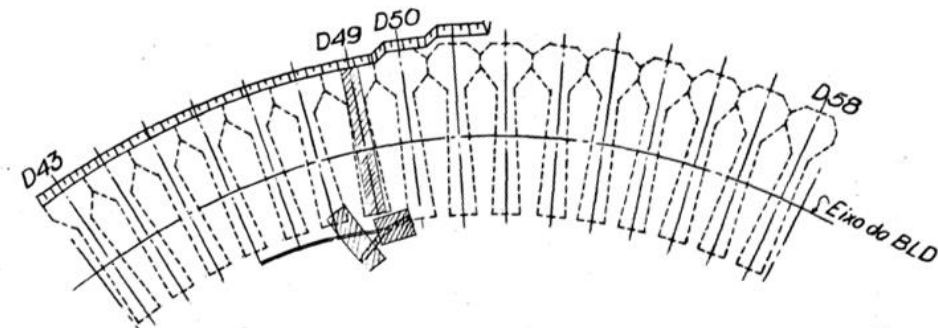
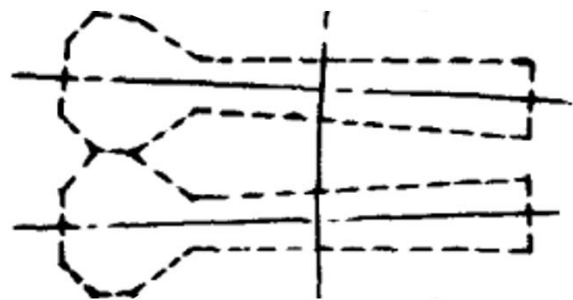
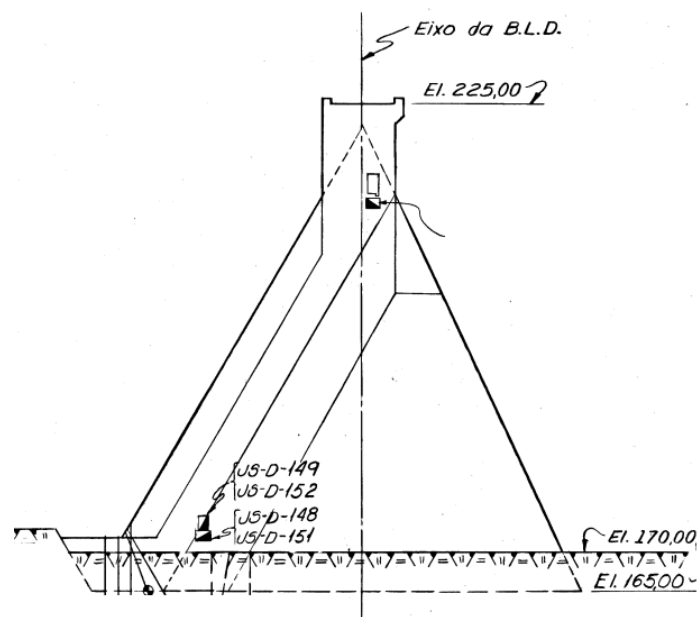
Estrutura de Desvio

- Gravidade maciça
- Controle do rio 12 adufas
 - $Q_{\text{máx}} = 30.000 \text{ m}^3/\text{s}$
 - $h = 28 \text{ m}$
 - $b = 6,7 \text{ m}$
- Casa de máquinas - 4 UGs



Blocos de contraforte Barragem Lateral Direita

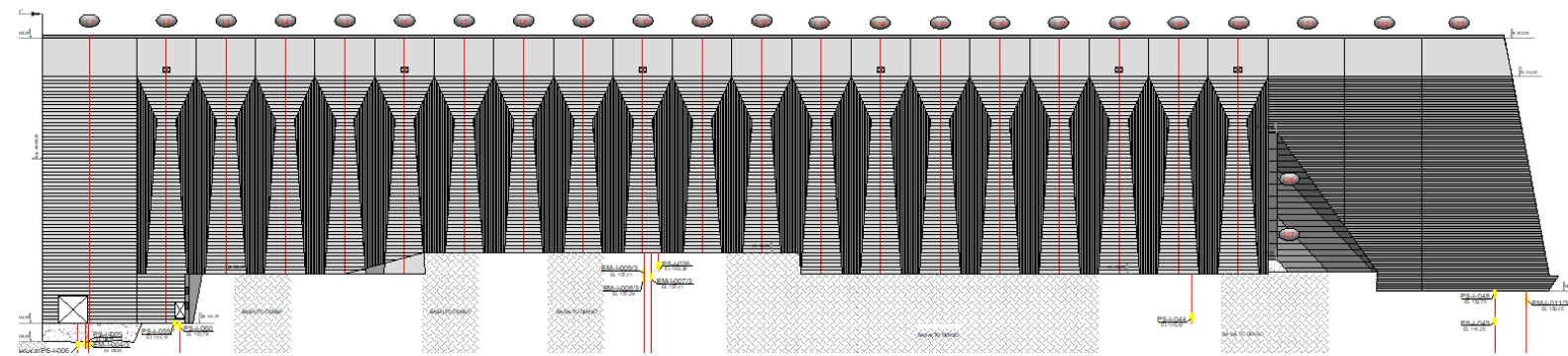
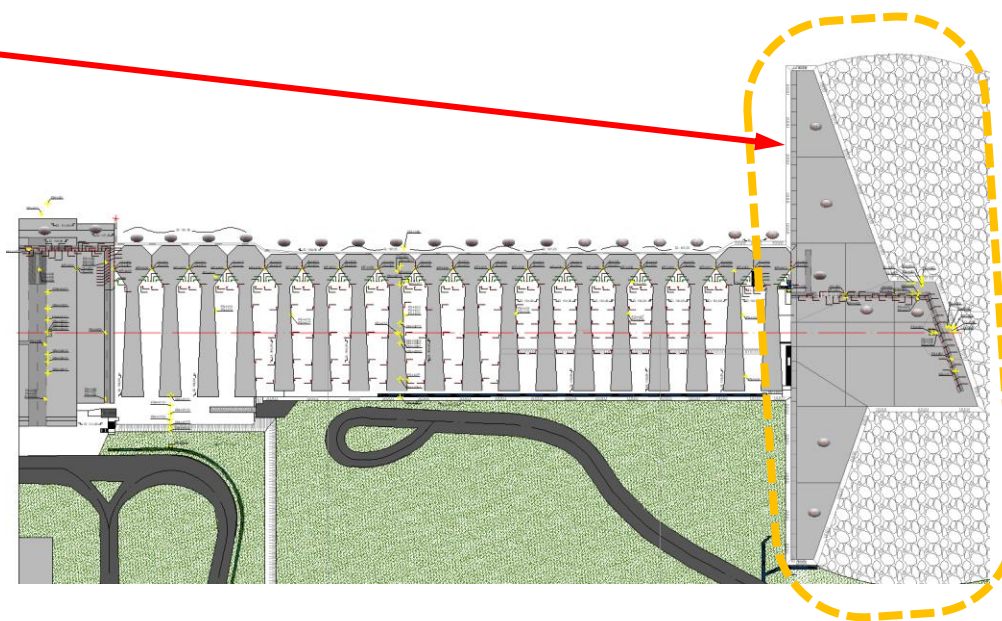
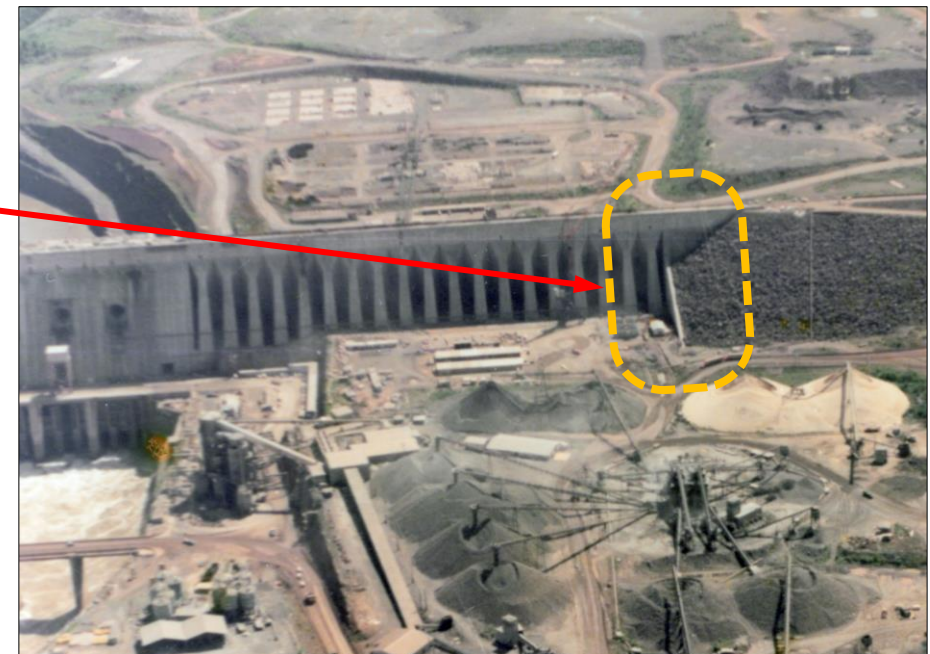
- Alturas variáveis de 35 a 65 m



Blocos de contraforte

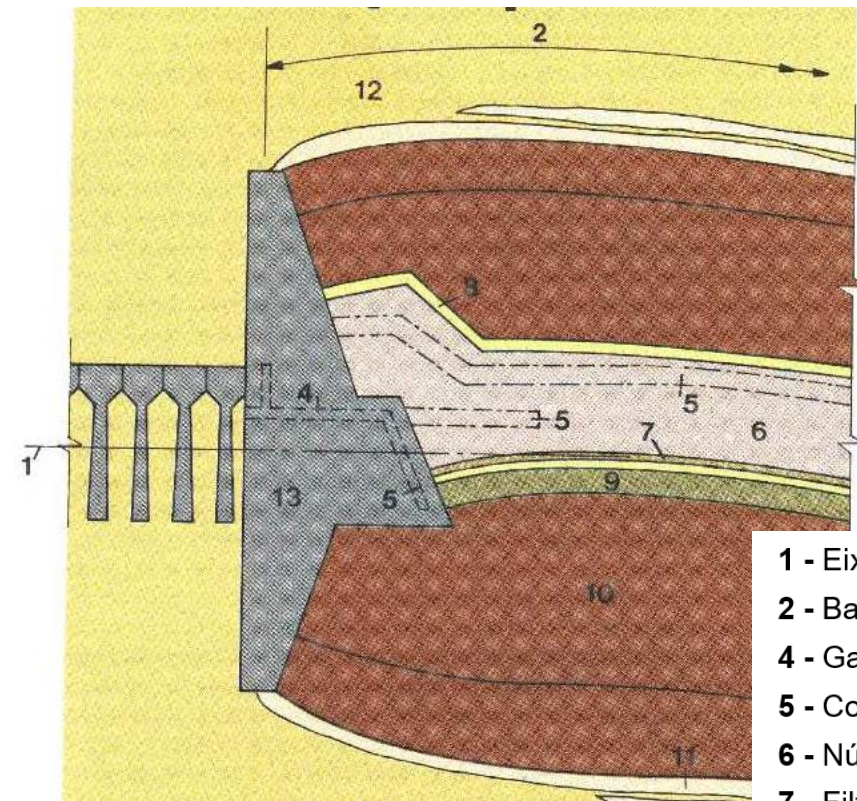
Barragem de Ligação Esquerda

- Transição com barragem de enrocamento
- Altura entre 60 e 80 m.



Barragem de Enrocamento

- Comprimento de 1.984 m
- Altura máxima de 70 m
- Volume de $12,8 \times 10^6 \text{ m}^3$

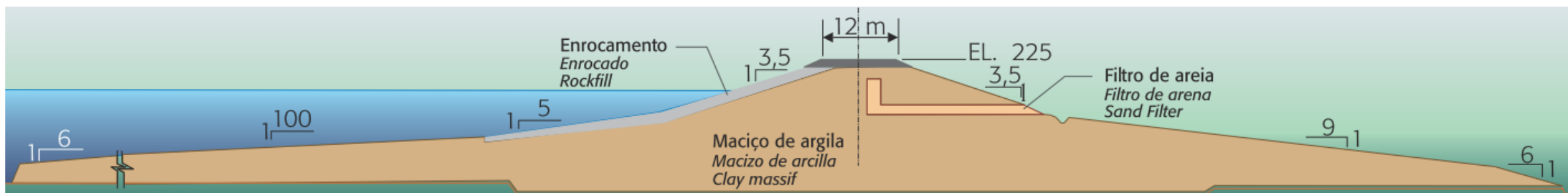
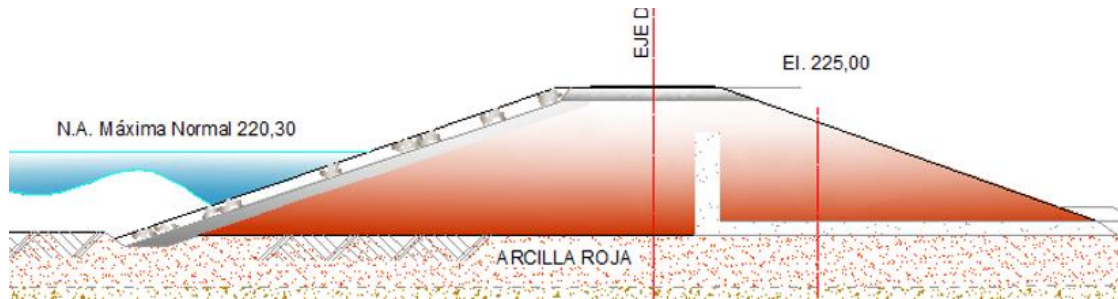


- | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1 - Eixo da barragem | 8 - Transição fina |
| 2 - Barragem de enrocamento | 9 - Transição grossa |
| 4 - Galeria de drenagem na El 155,00 | 10 - Enrocamento |
| 5 - Cortina de injeção | 11 - Talude |
| 6 - Núcleo de argila impermeável | 12 - Terreno natural |
| 7 - Filtro de areia artificial | 13 - Muro de transição de concreto |



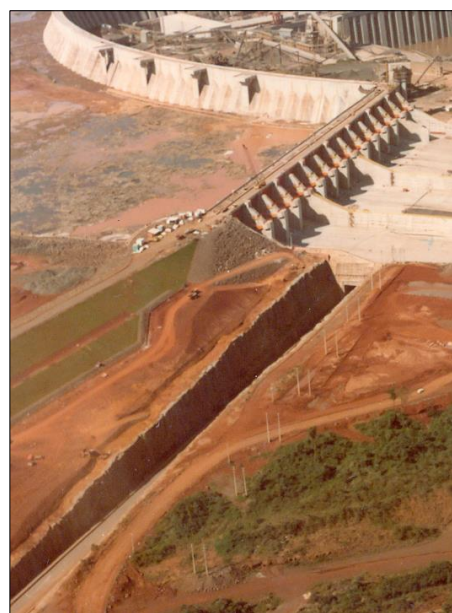
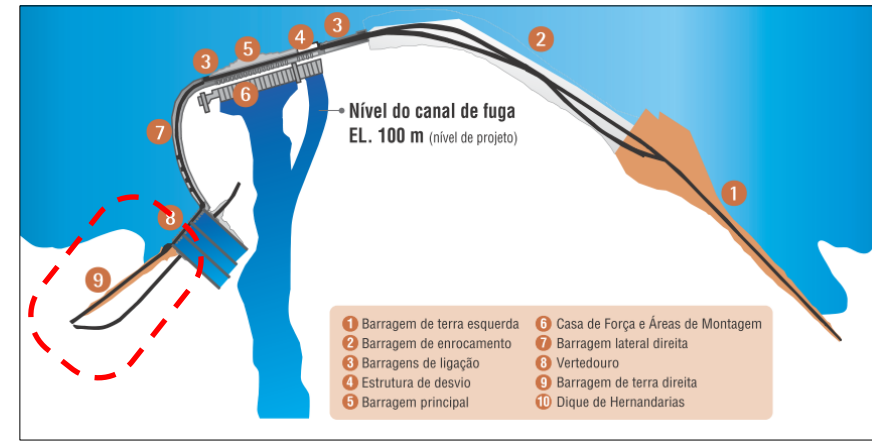
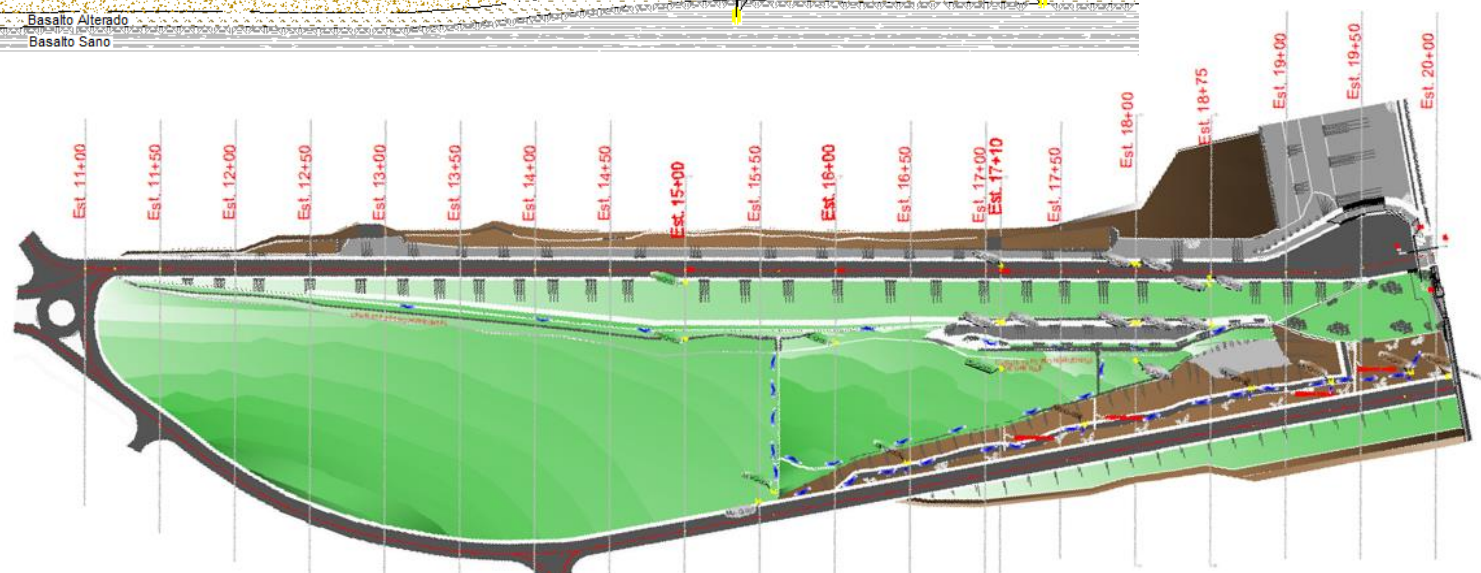
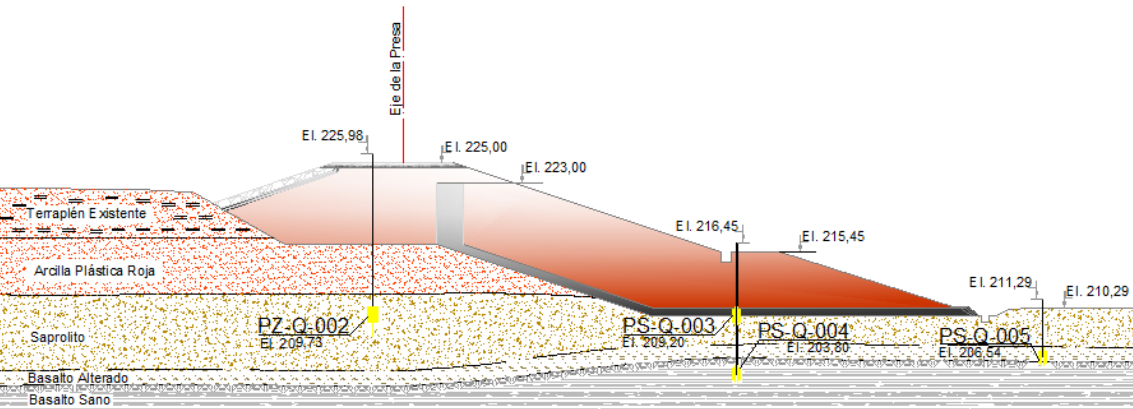
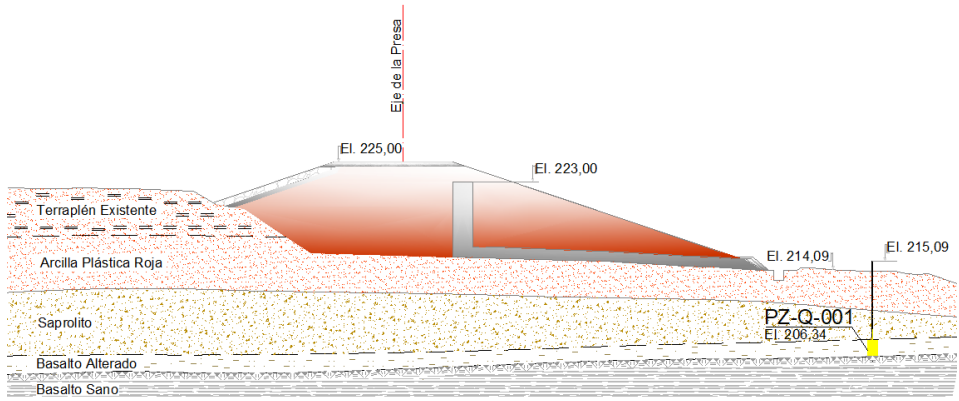
Barragem de Terra Esquerda

- Comprimento de 2.294 m
- Altura máxima de 30 m
- Volume de $4,4 \times 10^6 \text{ m}^3$



Barragem de Terra Direita

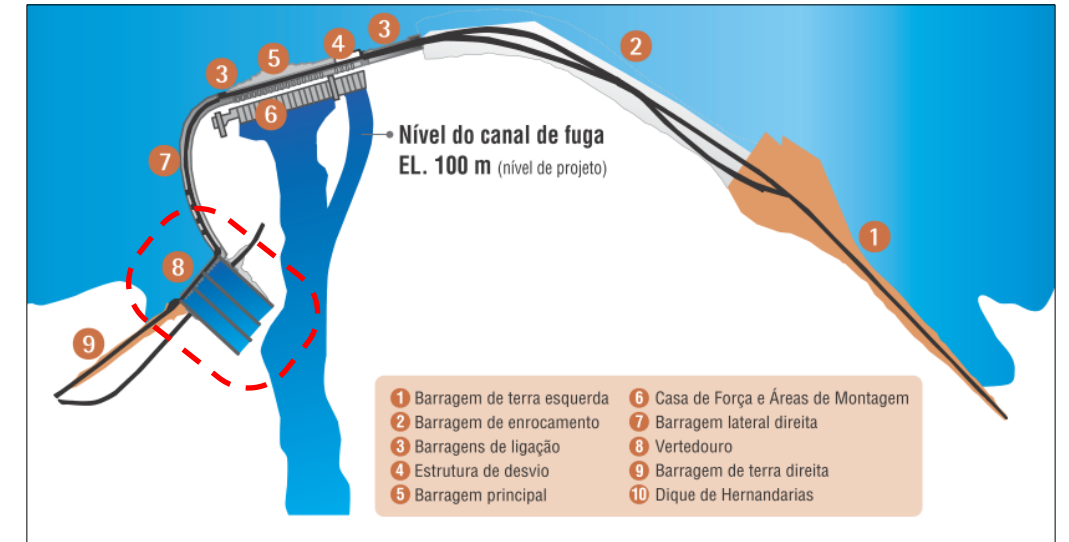
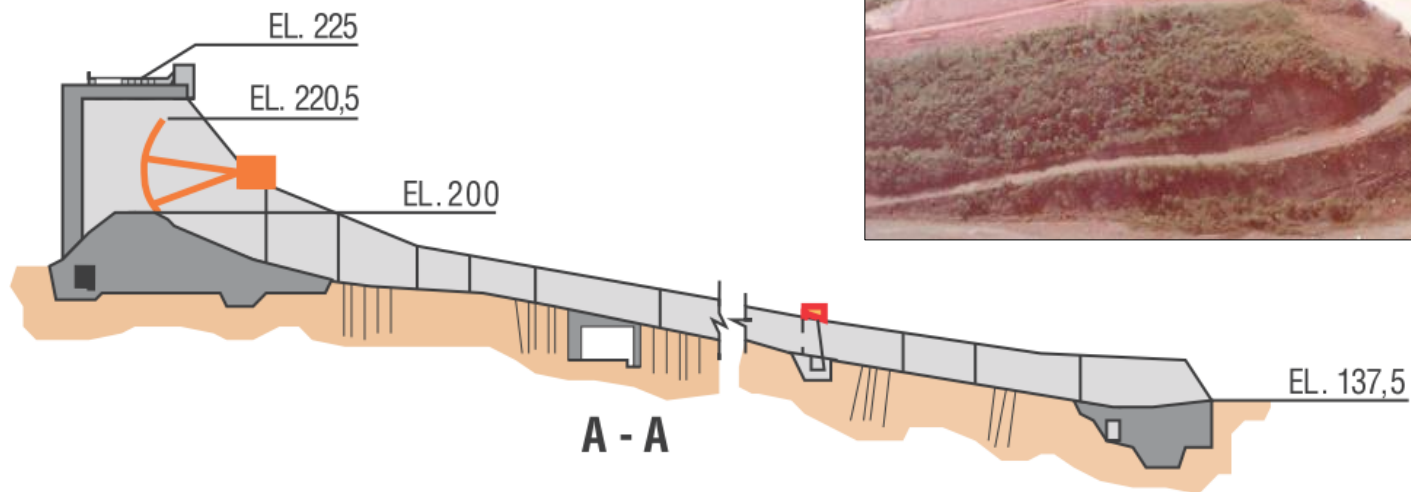
- Comprimento de 872 m
- Altura de até 15 m
- Transição com o vertedouro



Vertedouro

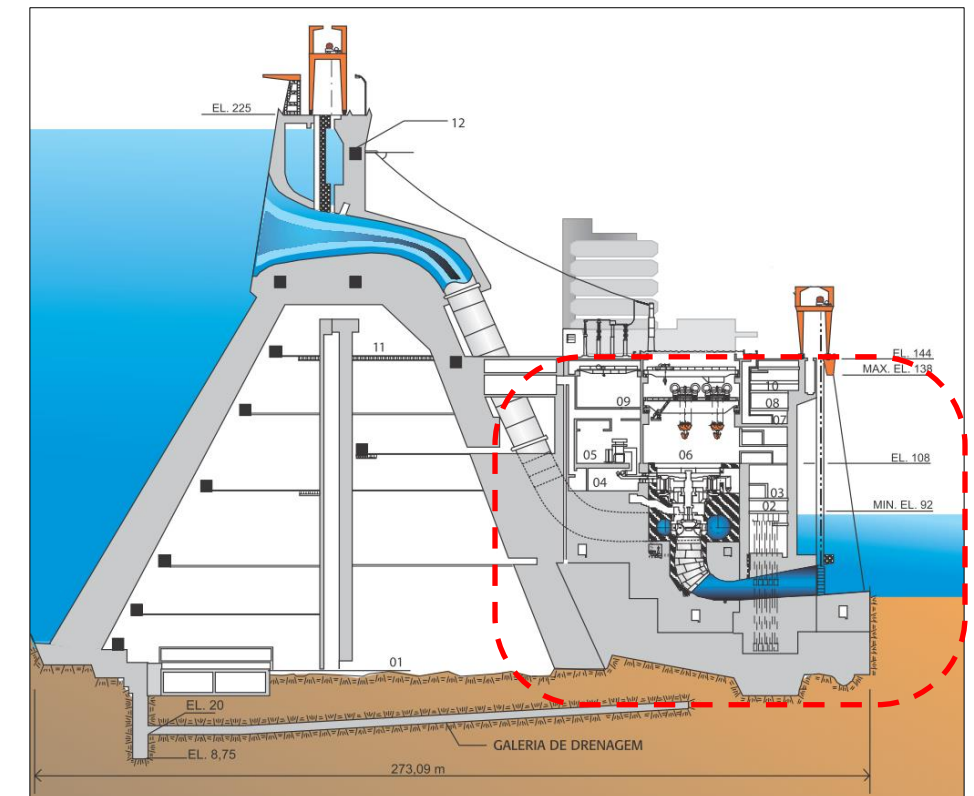
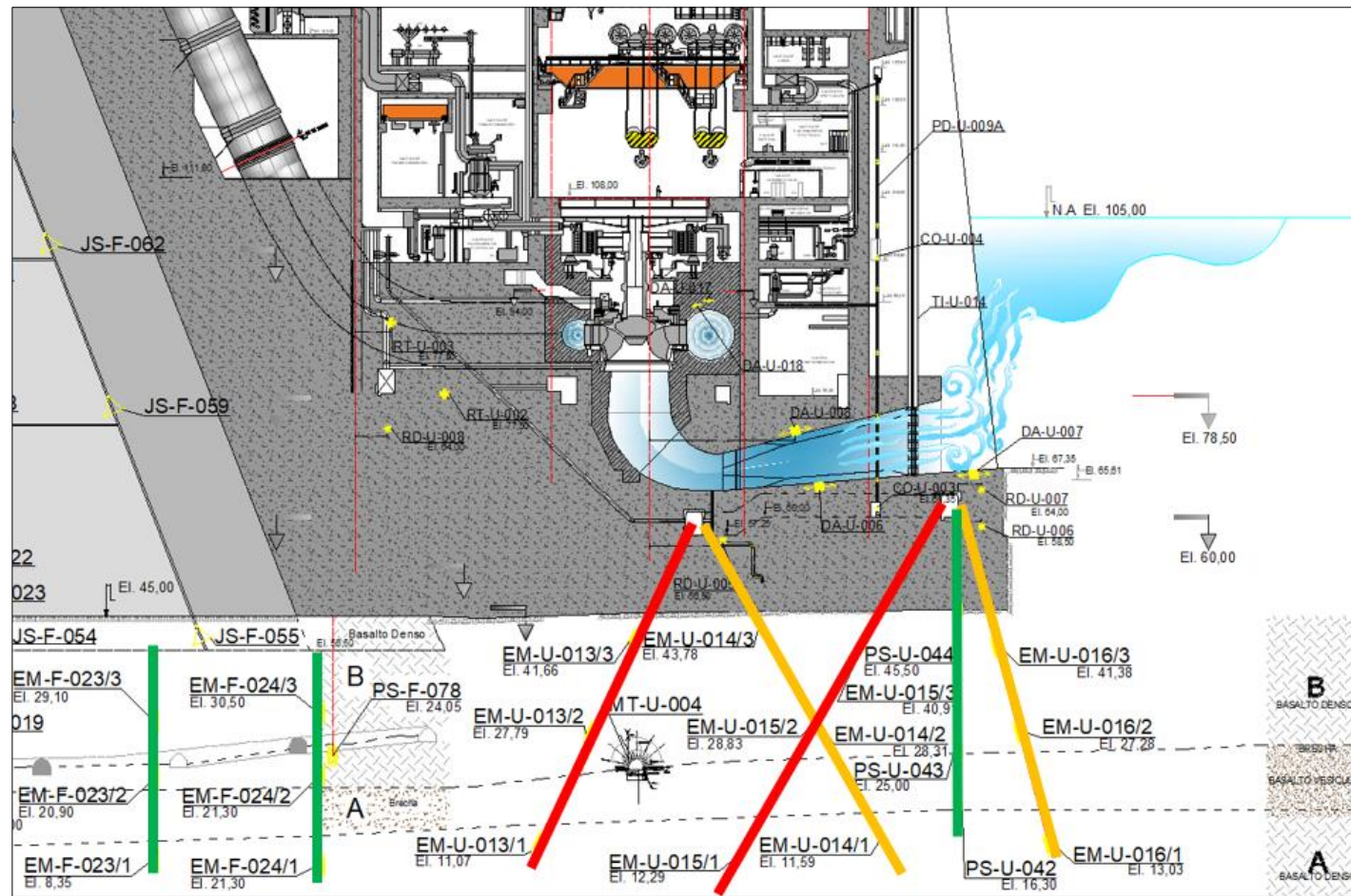
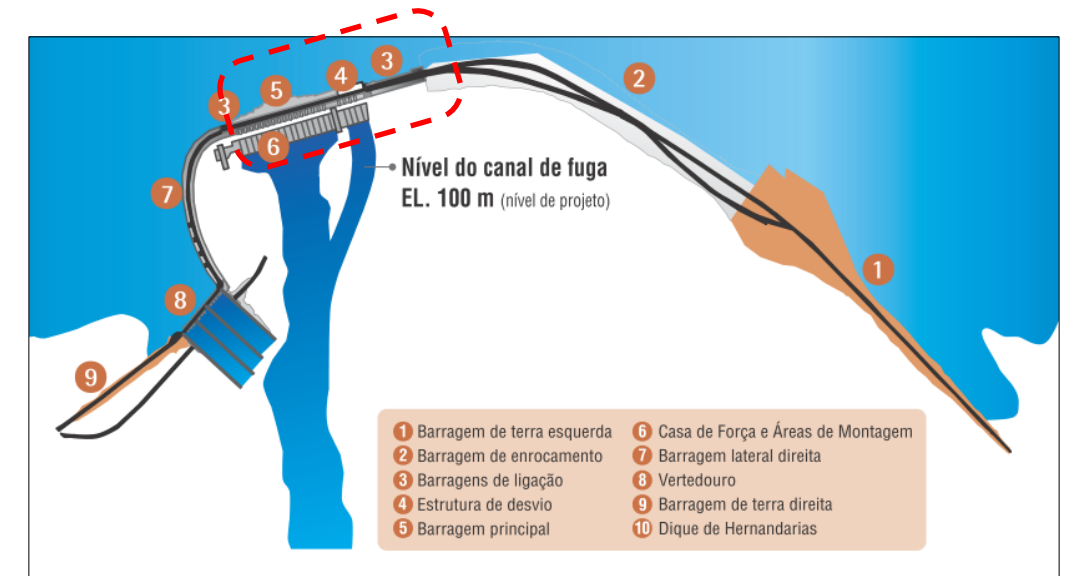


- Comprimento 483 m
- Largura 362 m
- 14 comportas 20 x 21,3 m
- $Q_{\text{máx}} = 62.200 \text{ m}^3/\text{s}$



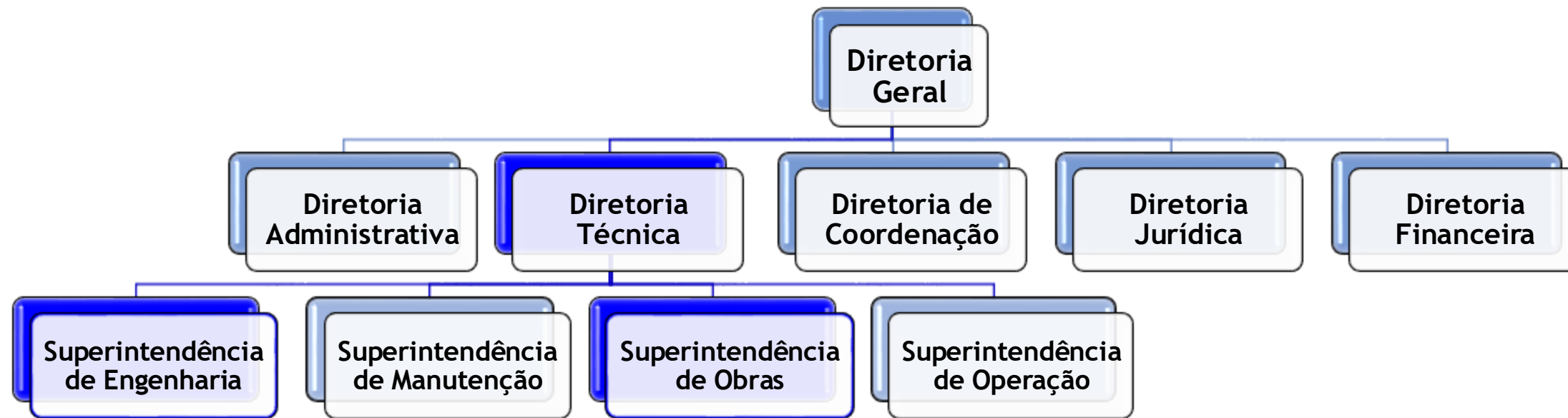
Casa de máquinas

- Comprimento 968 m
- Largura 99 m
- 16 + 4 UGs
- $20 \times 700 = 14.000$ MW



Segurança de barragem em Itaipu

Organograma:

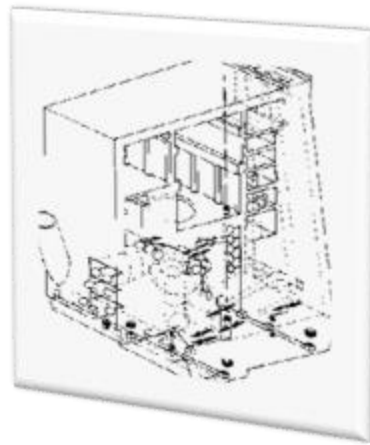


Segurança de barragem em Itaipu

Adoção das melhores práticas, critérios, tecnologia e controle de qualidade da engenharia

Projeto

instrumentação:
tipo e localização



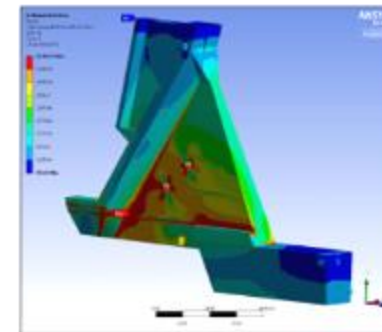
Construção

controle de qualidade



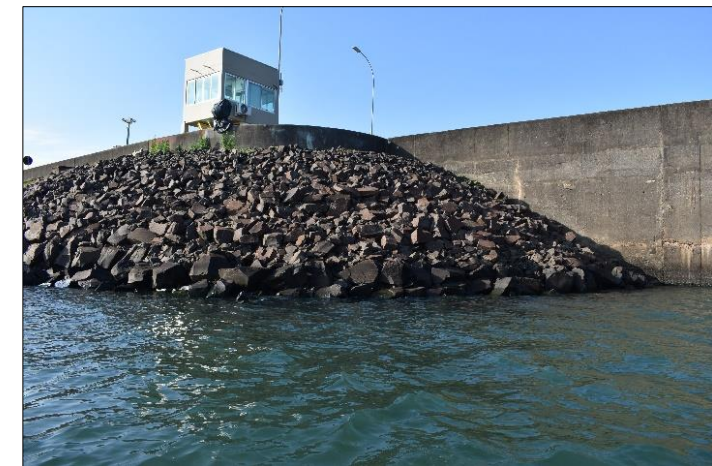
Monitoramento

leitura da instrumentação,
inspeções, análise de dados



Manutenção

atividades regulares
correção de anomalias



Conceito de instrumentação

Frequência de leituras e inspeções diferentes, de acordo com a fase da barragem



CONSTRUÇÃO

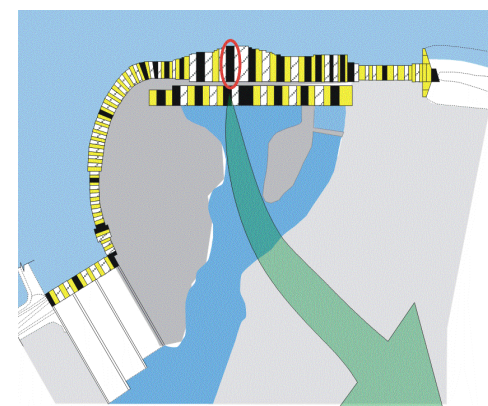


FORMAÇÃO DO RESERVATÓRIO

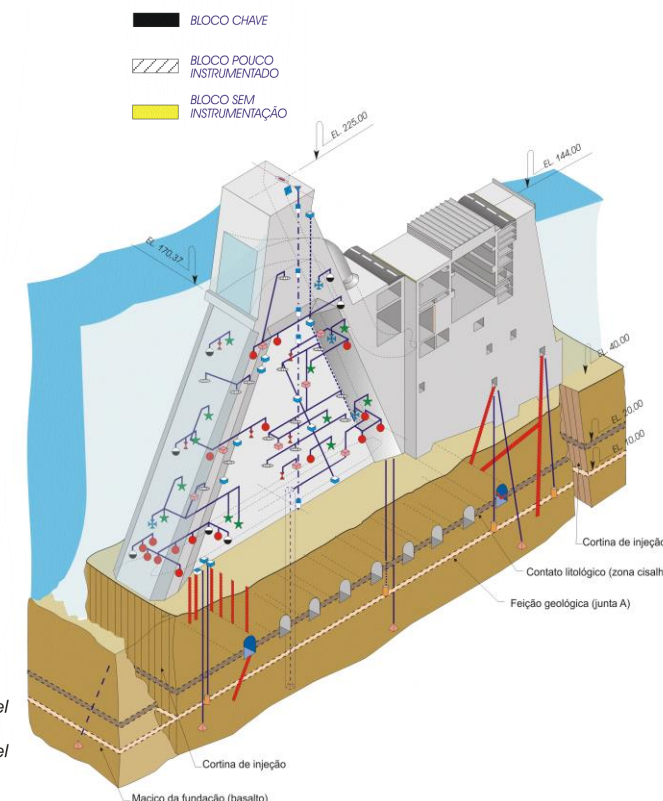


1º ANO APÓS A FORMAÇÃO DO RESERVATÓRIO

PERÍODO DE OPERAÇÃO



- Túnel de drenagem
- Concreto das chavetas
- Cortina de drenagem
- Caixa terminal
- Termômetro
- Termômetro de superfície
- ★ Grupo de tensômetros
- ✂ Tensômetro
- ✂ Grupo de deformímetros
- ✂ Medidor de junta interno
- ✂ Pêndulo direto
- ✂ Pêndulo invertido
- ✂ Extensômetro
- ✂ Piezômetro
- ✂ Marco topográfico
- ✂ Prisma geodésico
- ✂ Medidor de vazão
- ✂ Marcos para medidor de junta removível no piso
- ✂ Marcos para medidor de junta removível na parede



Todos os relatórios, procedimentos técnicos e demais documentos sobre instrumentação, inspeção visual e segurança de barragens são arquivados de maneira estruturada.

Leitura periférica para propiciar inspeção de rotina de toda barragem e garantir observações além da instrumentação.

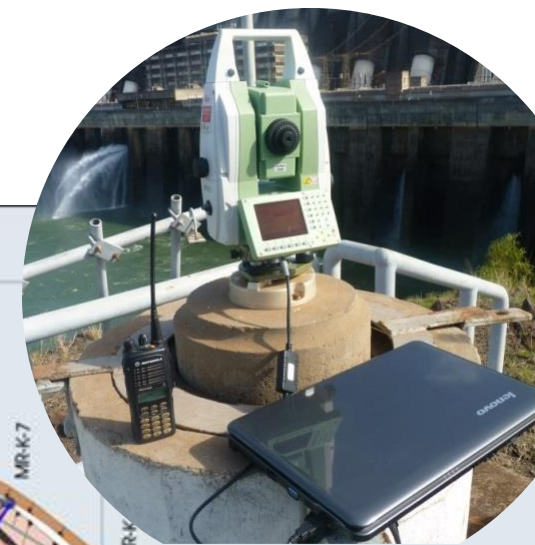
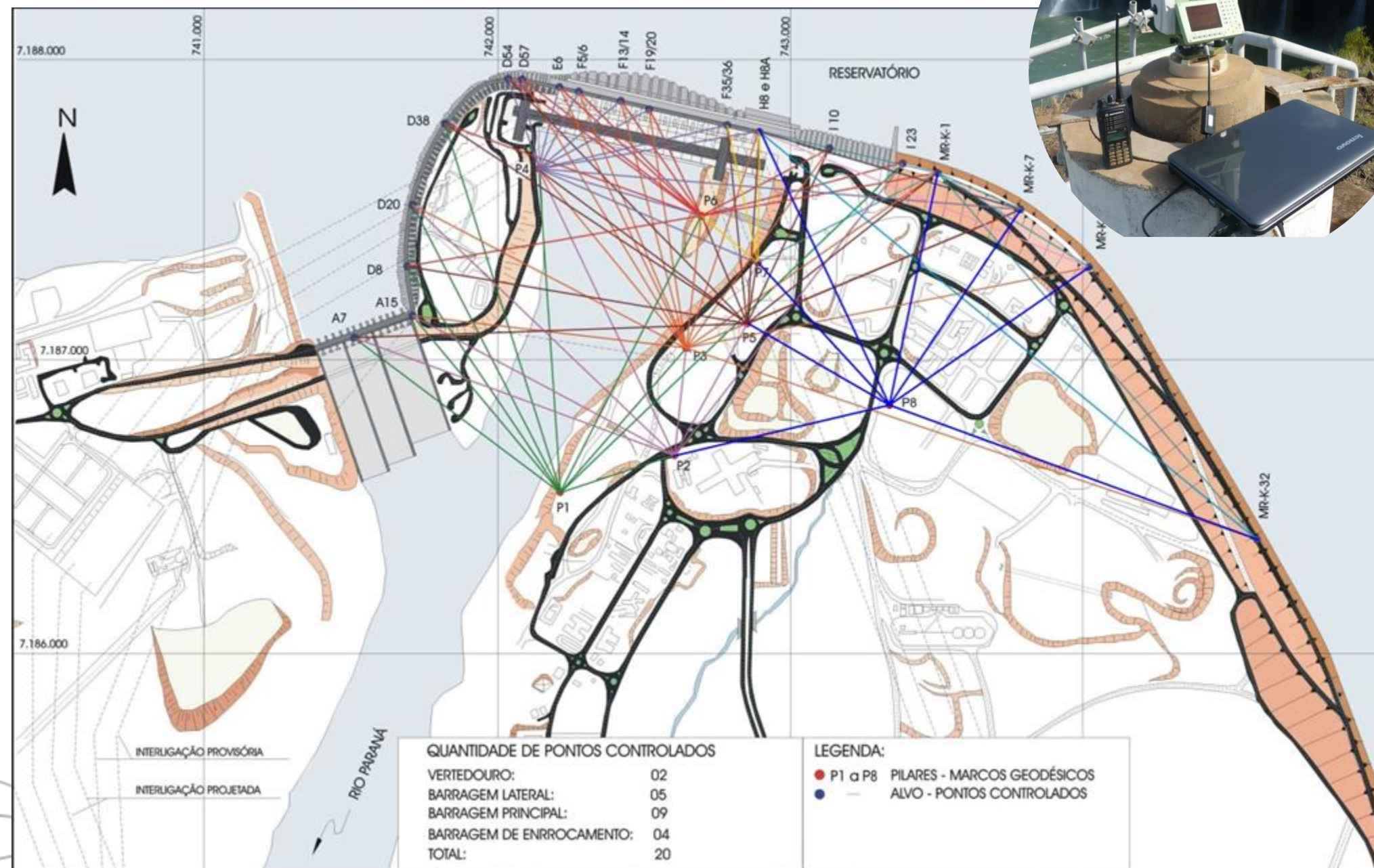
Instrumentação

ESTRUTURA	TIPOS DE INSTRUMENTOS																							TOTAL	
	FUNDAÇÃO									CONCRETO													GEODESIA		
	PIEZOMETRO	EXTENSOMETRO DE HASTE	TRIORTOGONAL	MEDIDOR DE CAUDAL	MEDIDOR DE ASENTAMIENTO	CELULA DE PRESIÓN	MEDIDOR DE FRACTURA	CANT. INSTRUMENTOS	DRENO	DEFORMIMETRO	MEDIDOR DE JUNTA	TENSOMETRO	ROSETA DE TENSOMETRO	TENSOMETRO PARA ARMADURA	BASE DE ALONGAMETRO	PENDULO	PAR DE PINOS	TERMOMETRO	TRIORTOGONAL	CANT. INSTRUMENTOS	DRENO	ALVOS	MARCOS DE REFERENCIA	TOTAL DE INSTRUMENTOS	TOTAL DE DRENOS
A-Trecho A: Vertedouro, calhas e trampolins	68	14	7	8	0	0	8	105	547	30	5	2	0	0	45	2	6	9	26	125	11	10	8	248	558
D-Trecho D: Barragem lateral direita	155	32	0	14	0	0	0	201	529	78	2	0	6	0	179	11	66	14	124	480	349	26	20	727	878
E-Trecho E: Barragem de ligação direita	21	25	0	10	0	0	0	56	146	0	0	5	3	0	18	3	4	4	14	51	36	5	2	114	182
F-Trecho F: Barragem principal	77	33	10	24	0	0	0	144	1941	114	5	6	27	0	59	27	5	33	40	316	228	20	12	492	2169
H-Trecho H: Estrutura de desvio	68	11	0	30	0	0	0	109	281	84	0	0	0	0	107	5	1	42	104	343	270	18	3	473	551
I-Trecho I: Barragem de ligação esquerda	46	12	0	17	0	0	0	75	380	0	0	3	0	0	64	4	19	10	45	145	140	12	8	240	520
K-Trecho K: Barragem de enrocamento	36	0	0	1	0	0	0	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	39	92	0
L-Trecho L: Barragem de terra esquerda	44	0	0	8	6	0	0	58	168	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	94	168
Q-Trecho Q: Barragem de terra direita	15	0	0	11	0	0	0	26	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	41	39
S-Trecho S: Área de montagem direita	8	0	0	7	0	0	0	15	146	0	0	0	0	0	12	0	0	3	6	21	0	0	0	36	146
T-Trecho T: Área de montagem central	7	0	0	4	0	0	0	11	63	0	0	0	0	0	10	0	0	0	6	16	4	0	0	27	67
U-Trecho U: Casa de Máquinas- Unid. 1 a 15 e Unid. 16 a 18A	87	31	5	4	0	0	0	127	501	48	26	6	9	16	112	9	4	20	56	306	3	0	0	433	504
W-Trecho W: Multiples tramos (General)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	0	53	0
X-Trecho X: Canal de Piracema	3	0	0	2	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
TOTAL	635	158	22	140	6	0	8	969	4741	354	38	22	45	16	606	61	105	135	421	1803	1041	160	143	3075	5782

Total de leituras em 2024: 148.110

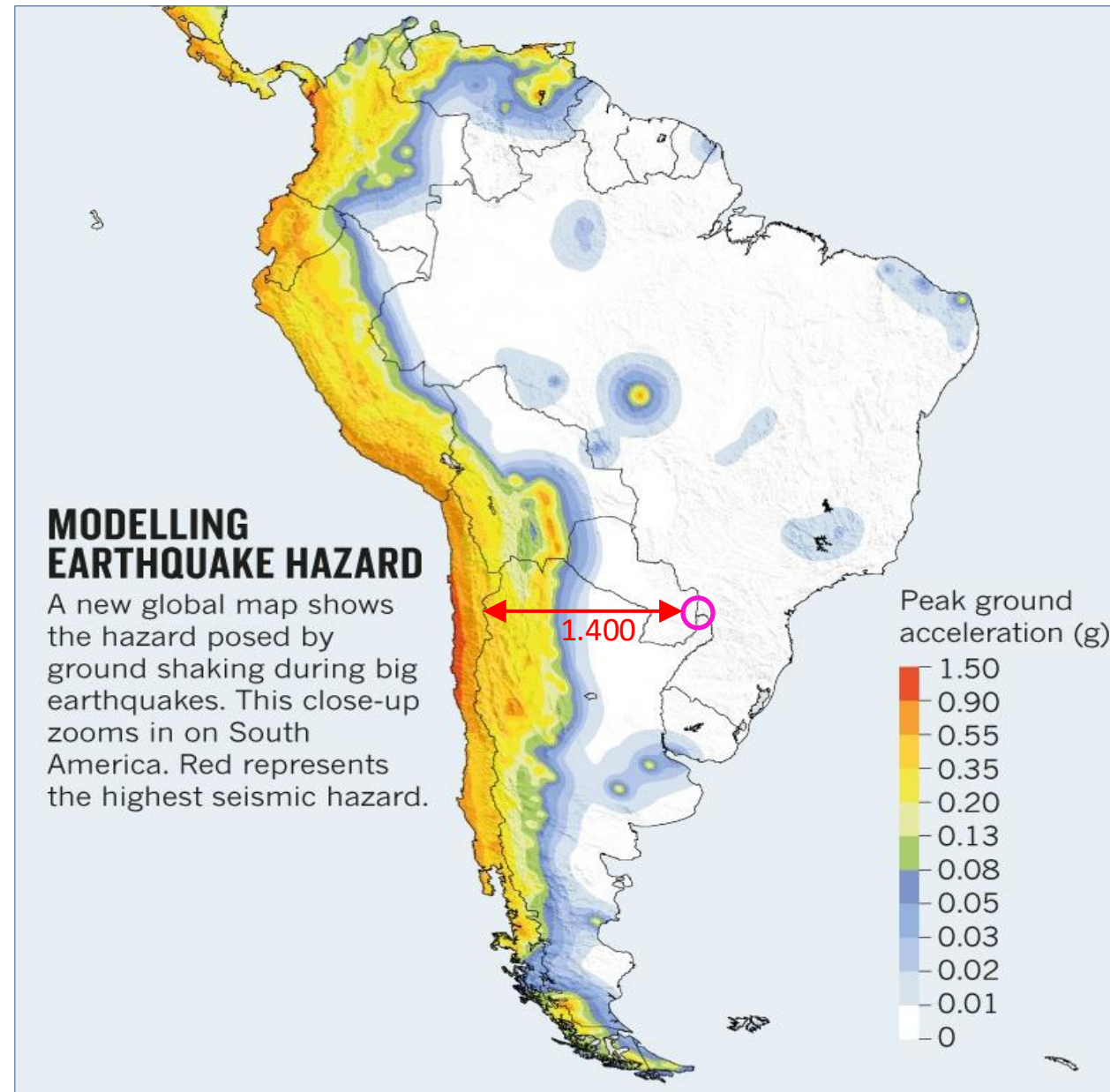
Geodésia (desloc. horizontal)

- Campanhas semestrais
- 8 pilares geodésicos
- 20 alvos



-

Sismologia



Mapa de risco de terremotos:

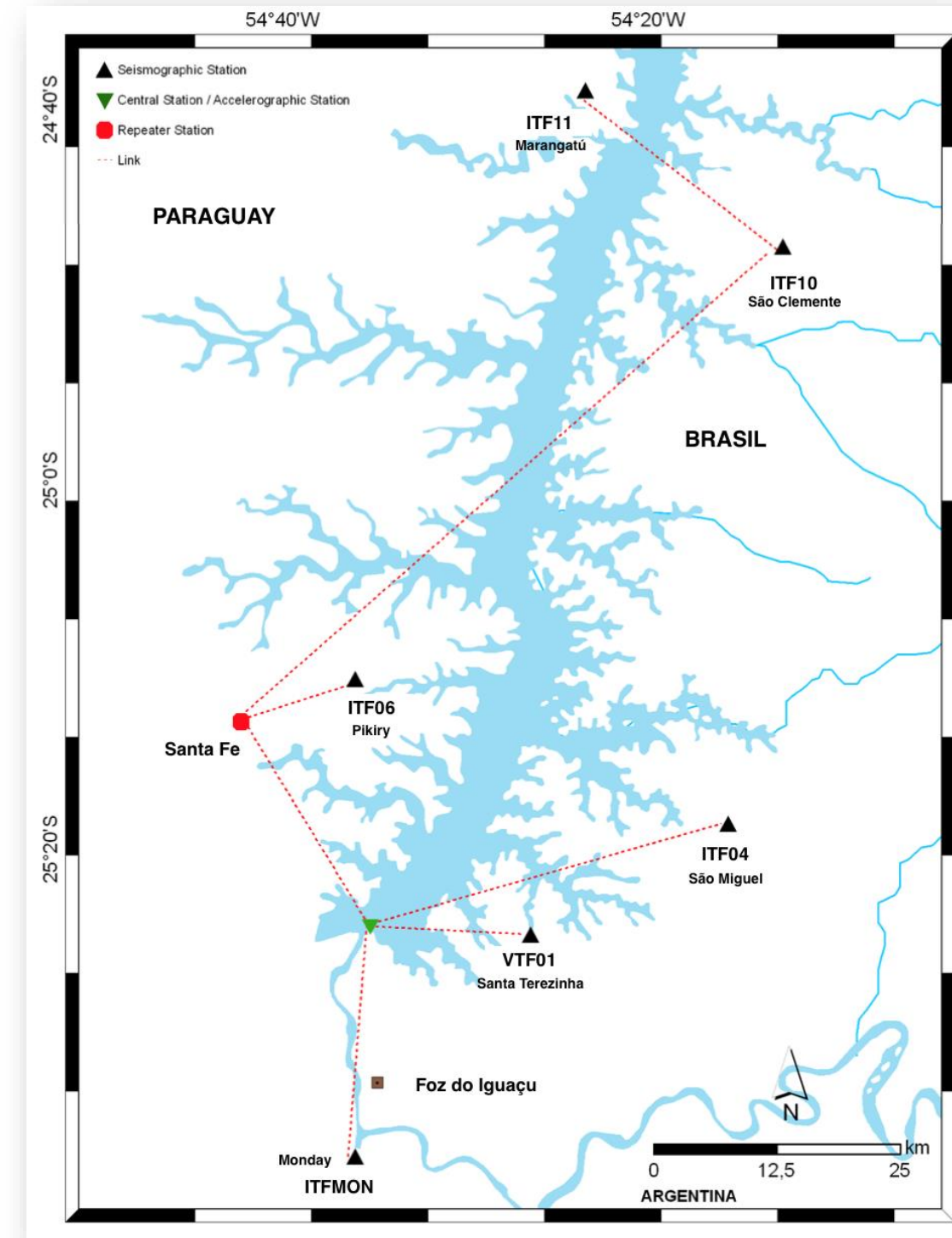
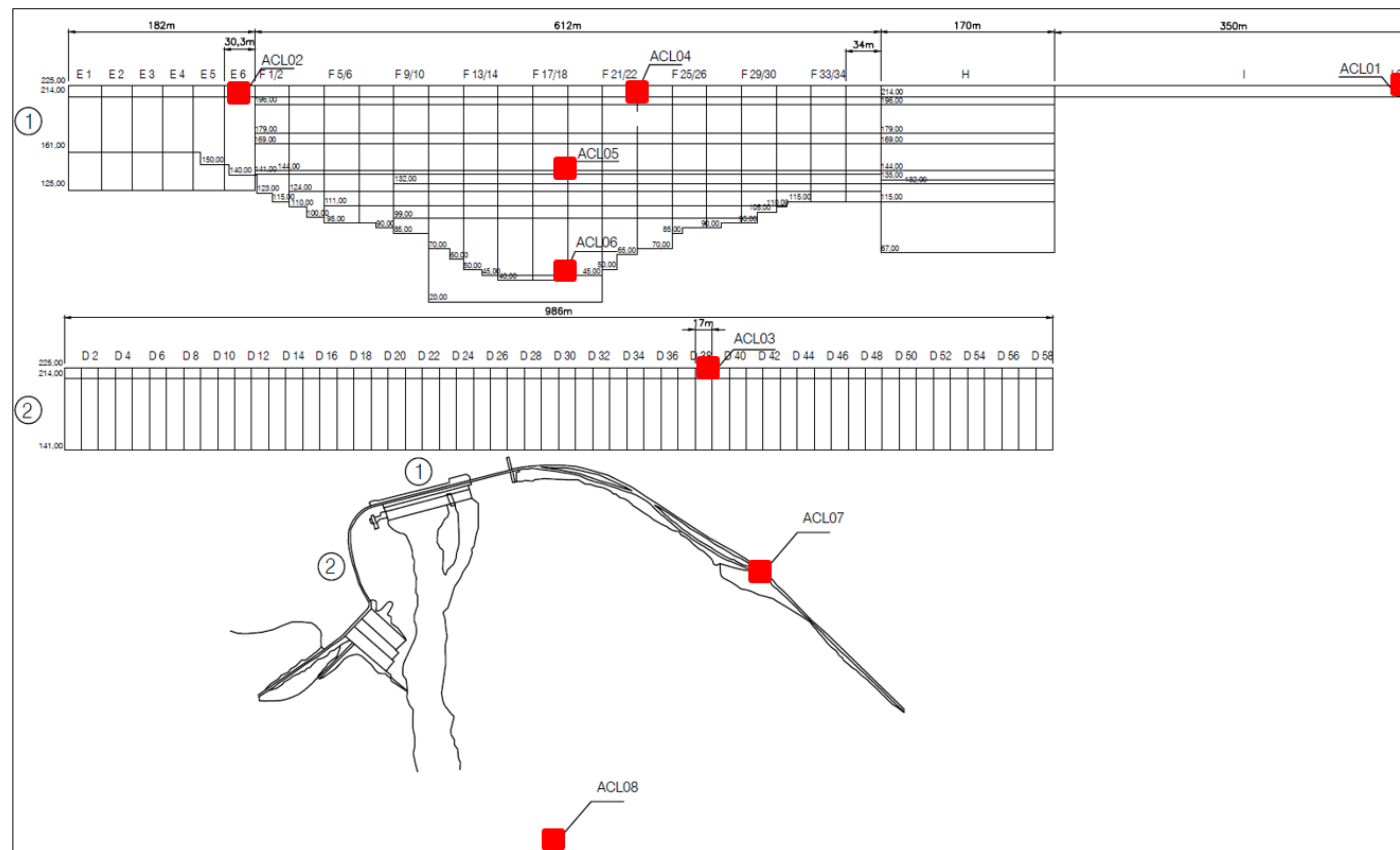
- Centro da placa tectônica
- ~1.400 km Cordilheira dos Andes
- Região “assísmica”

Nature, 2018.

<https://www.nature.com/articles/d41586-018-07705-2>

Sismologia

- Monitoramento sismológico próprio (modernizado em 2011)
- 06 estações sismográficas ao longo do reservatório e 01 estação central
- 08 acelerômetros na região da barragem
- Interpretação dos dados é feita por consultoria internacional
- Relatórios semestrais



Inspeções visuais



Tipos de inspeção

- Rotina - mensalmente, pelos técnicos de obras
- Regular - semestrais ou anuais, pelos engenheiros
- Especial - após eventos excepcionais, como cheias ou rebaixamentos do reservatório



Ponto nº	Locais incluídos para inspeção
RC-1	Trecho Q - Início E16+75 - p.
	Trecho Q - Abraço junto
	Trecho Q - Talude de montante
	Trecho Q - Área de alagados E1
	Trecho Q - Paramento de juso
	Trecho Q - Crista
	Trecho Q - Paramento de montante
	Trecho Q - Abraço montante
	Trecho A - Est. 100

Planejamento das inspeções

- Escalas
- Definição de trajetos (rotina e regular).
- Locais (bloco ou estaca; elevação, face etc.)



Anomalias

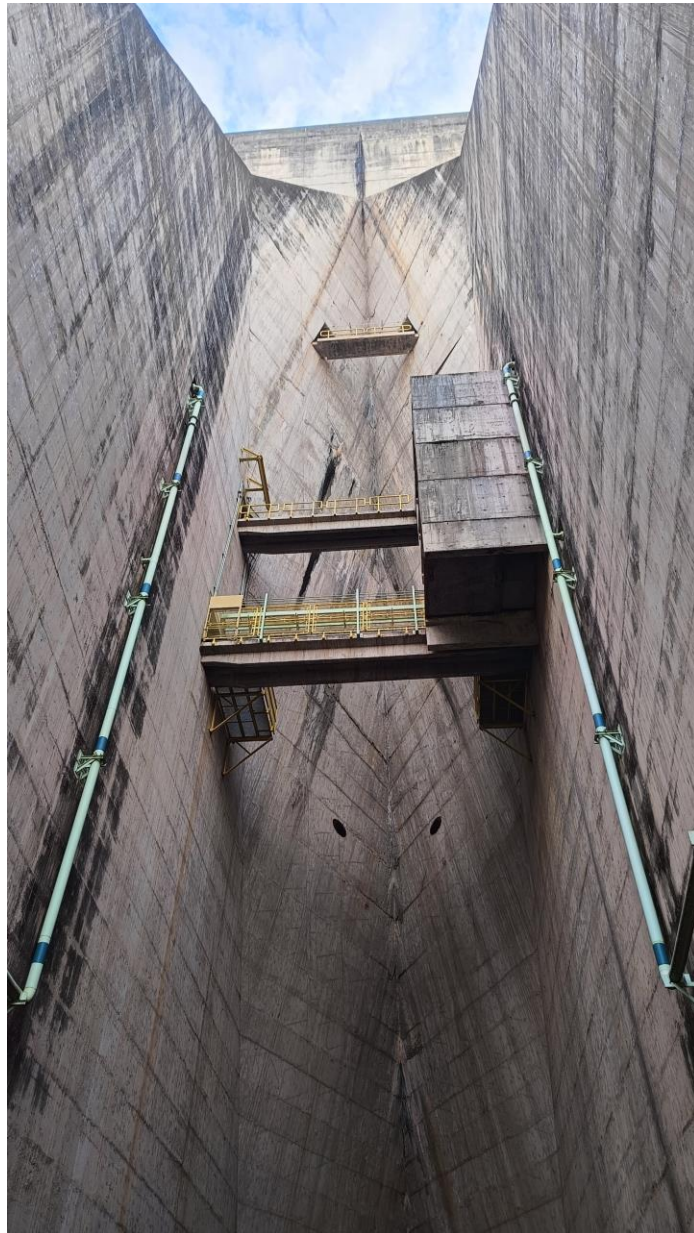
- Objetivo de detectar qualquer anomalia eventual



Classificação das anomalias

- Magnitude: insignificante, pequena, media ou grande
- Nível de perigo: nenhum, atenção, alerta, emergência

Inspeções visuais



Atividades de manutenção e conservação



Equipes binacionais

Superintendência de Engenharia

Engenheiros (7), Cartógrafo (1)

- Responsáveis Técnicos pelas estruturas;
- Relatórios de análise do comportamento estrutural da barragem;
- Inspeções regulares e especiais;
- Estudos específicos;
- Emissão de recomendações.



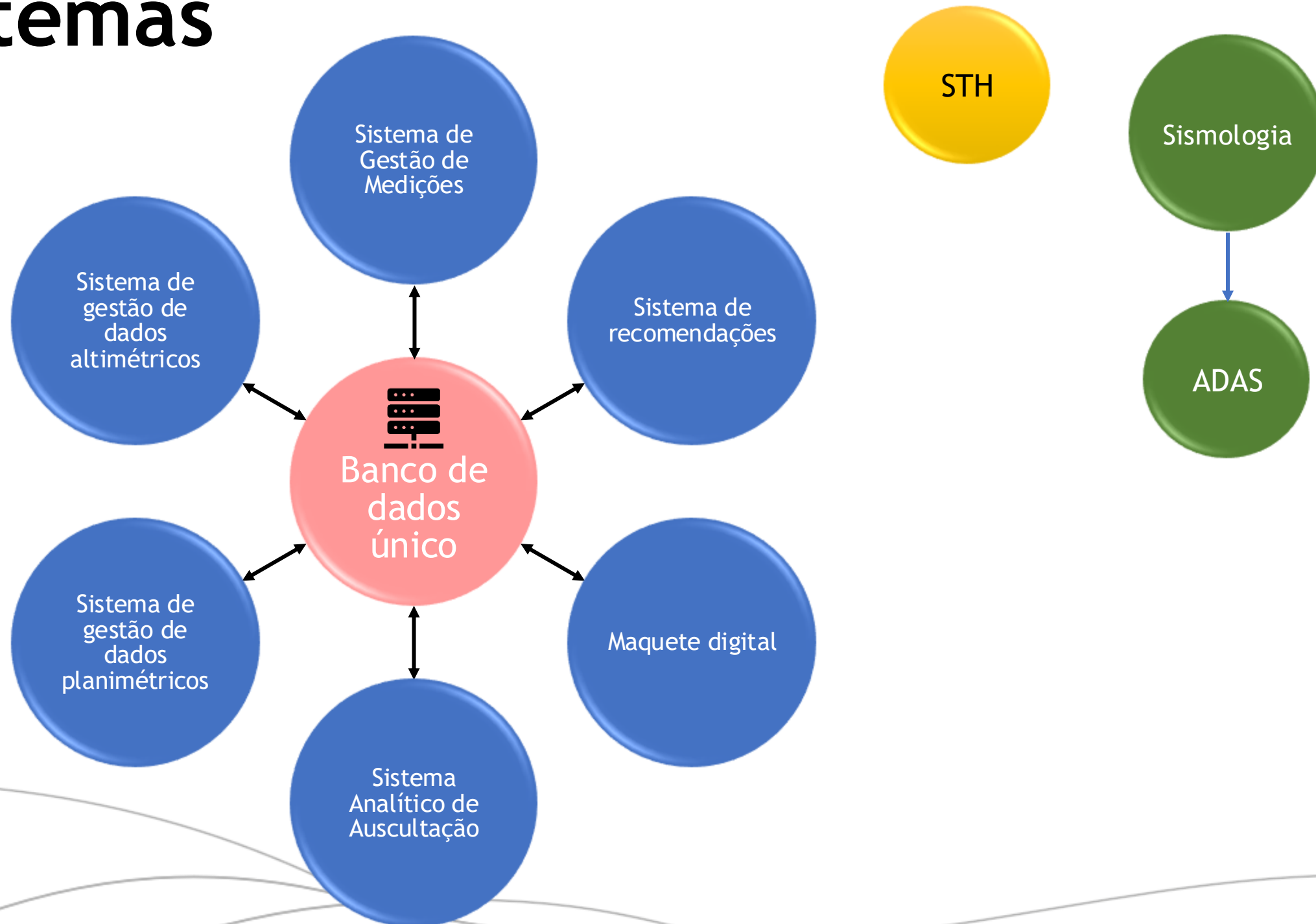
Superintendência de Obras

Engenheiros (3) e técnicos (15)

- Responsáveis pela coleta de dados da instrumentação e inspeções visuais rotineiras;
- Manutenção dos instrumentos;
- Relatórios semestrais de atividades;
- Atendimento das recomendações.



Sistemas





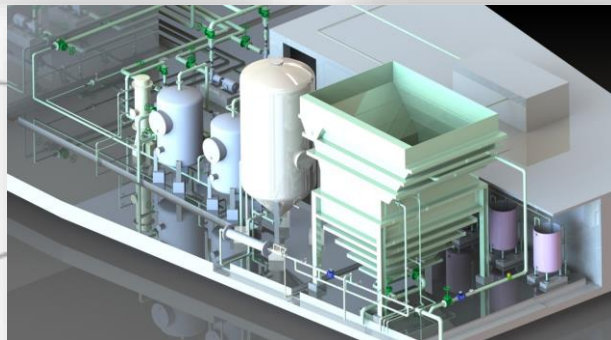
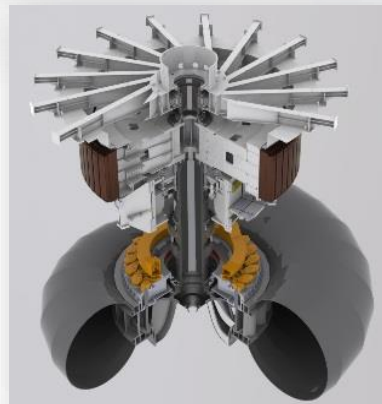
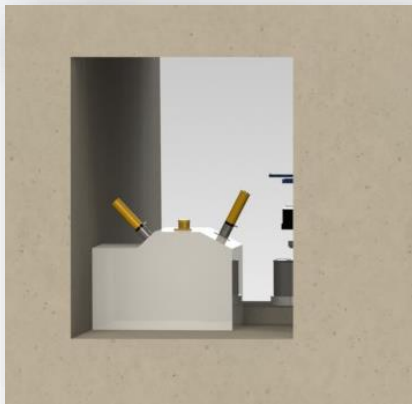
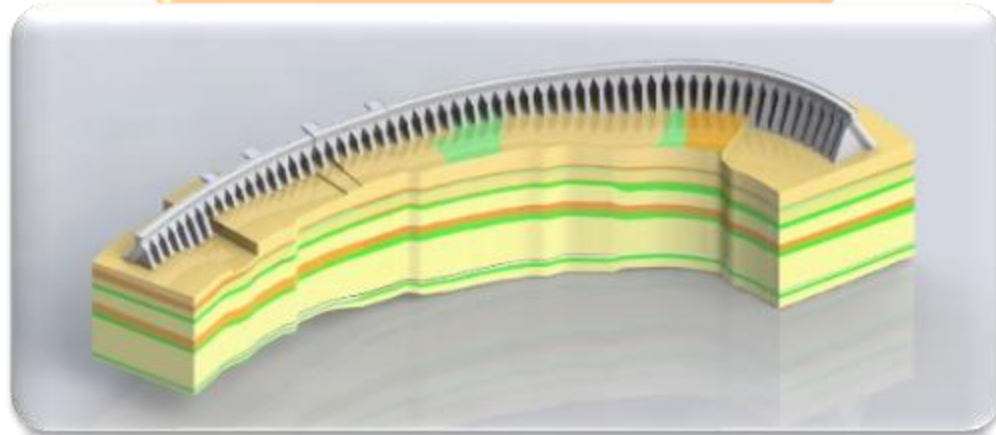
Board internacional de consultores civis

- Reunião a cada 4 anos
- 5 consultores:
 - 1 chairman
 - 4 consultores das especialidades de acordo com os assuntos a serem tratados
- Reunião com Diretores Técnicos para leitura do parecer final

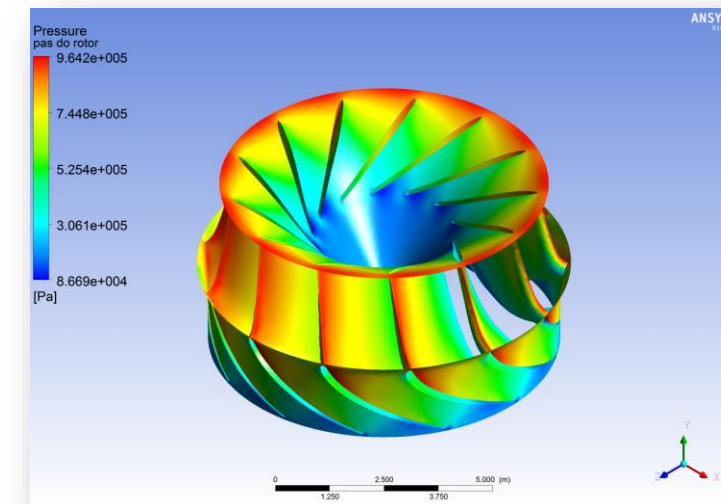
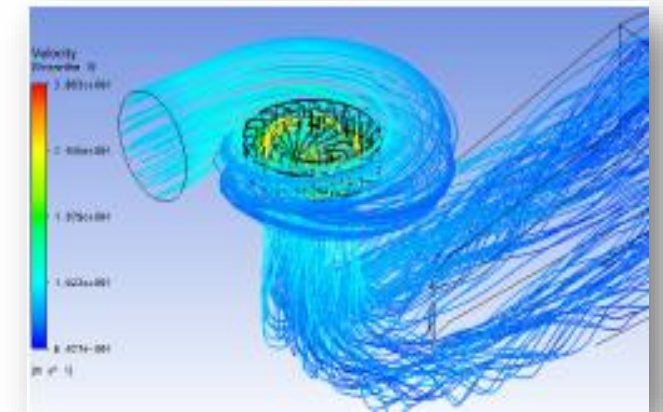
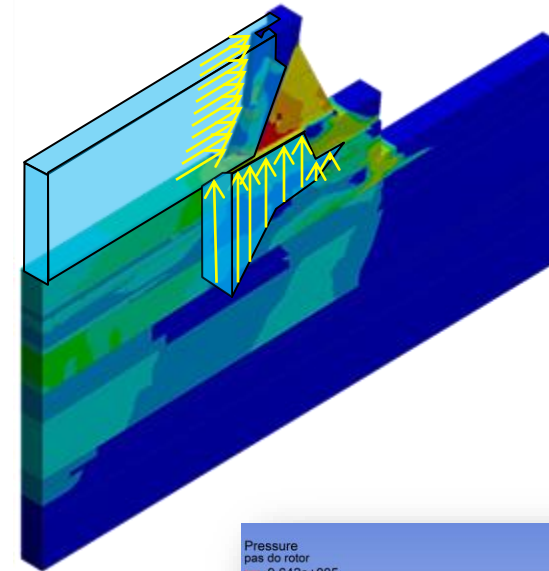


Pesquisa

Modelagem 3D



Simulações



EN.DT
Superintendência de Engenharia
Diretoria Técnica

Obrigado!
¡Gracias!

