

Identificação da RAA e monitoramento de estrutura afetada pela reação

Eng. Flávio Moreira Salles
Laboratório CESP de Engenharia Civil

Roteiro

- Identificação da RAA
- Monitoramento de estruturas afetadas

Condução do assunto // Estudo de caso

- UHE Jaguari – SP

Investigação da RAA

USINA UHE JAGUARI

Tomada D'Água

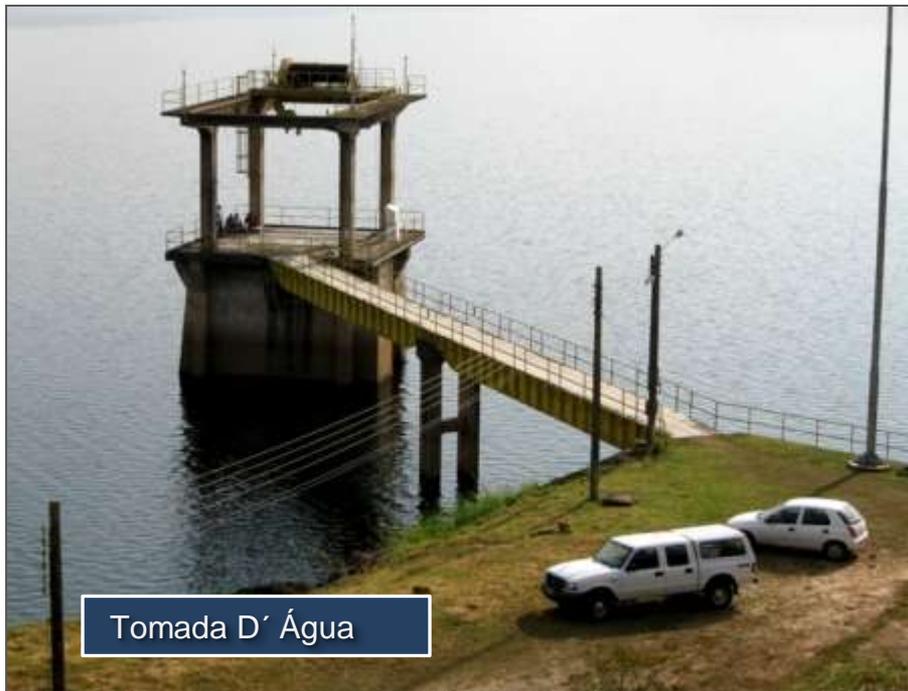
Vertedouro

Casa de Máquinas



Localização:





Tomada D' Água



Enrocamento



Casa de força

Vertedouro

Situação verificada na Tomada D'Água:



Fissurações laje



Fissurações contrafortes e paredes externas

Situação verificada:

- Intensa fissuração em mapa;
- Lixiviação dos produtos da pasta cimento hidratada com formação de precipitado branco;
- Trincas no concreto com aberturas pronunciadas;

Investigações implementadas:

- Inspeção visual;
- Extração de testemunhos de concreto;
- Análise petrográfica;
- Recuperação do traço de concreto;
- Ensaios físicos em laboratório.

Inspeção visual



Fissuras características em diferentes estruturas

Inspeção visual



Fissuras características em diferentes estruturas

Ensaio colorimétrico (mancha)



➤ Cobaltonitrito

USINA UHE JAGUARI

Ensaio colorimétrico (mancha)



➤ Rodamina

Extração de testemunhos de concreto



- Análise petrográfica;
 - Microscopia estereoscópica;
 - Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV;
 - Características dos agregados.

Microscopia estereoscópica do testemunho



Microscopia estereoscópica e óptica

Porosidade	Poros vazios ou parcialmente preenchidos por material branco (gel e/ou etringita)
------------	--

Feições características da RAA – Gel exsudado

Microscopia eletrônica de varredura

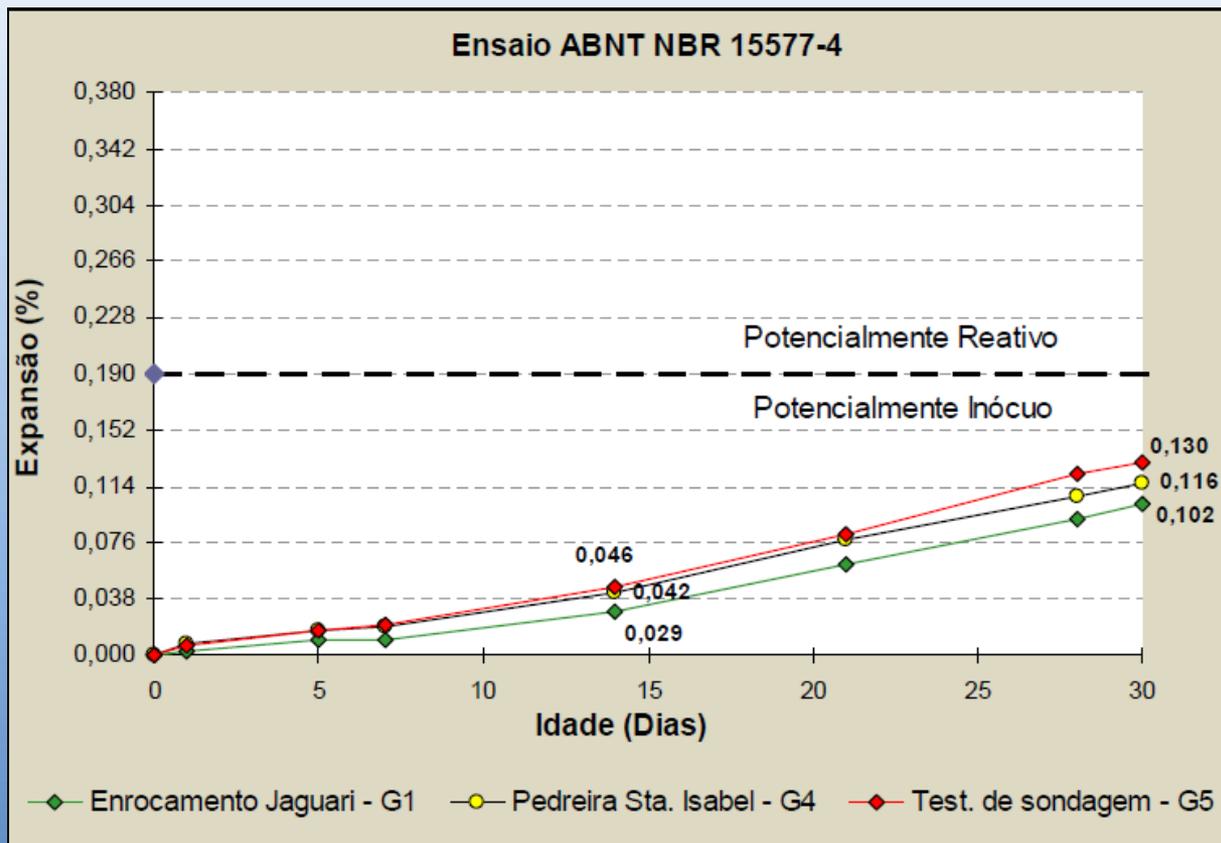
▪ Investigação no concreto

Comprovação RAA pela identificação de gel expansivo, amorfo, gretado.

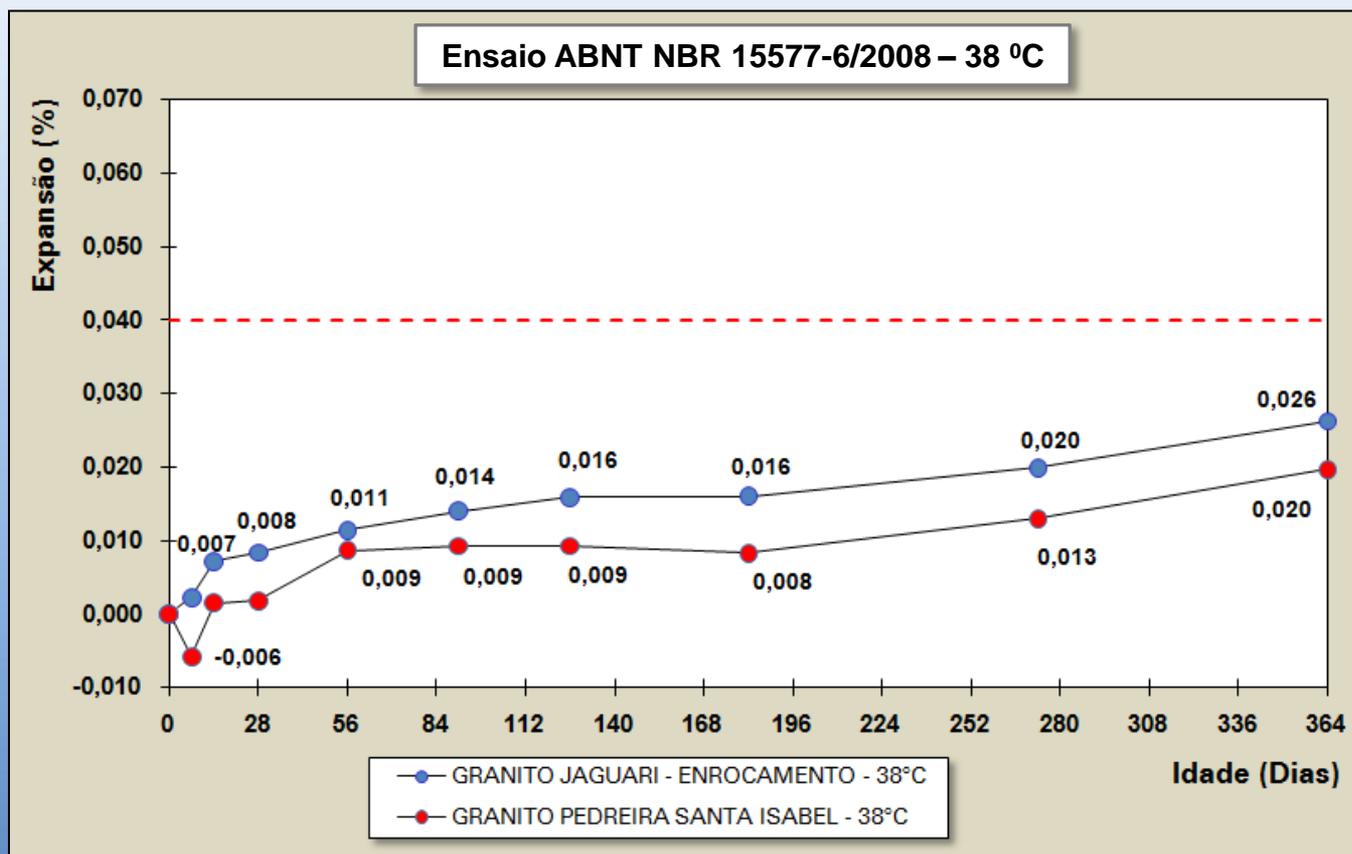
▪ Investigação no agregado graúdo

Mineralogia	Reativa/Deletéria	Quartzo e Feldspato com extinção ondulante
Bordas de reação	Presentes	
Tipo de rocha	Ígnea metamorfizada	
Reatividade Potencial	Agregado Potencialmente Reativo	

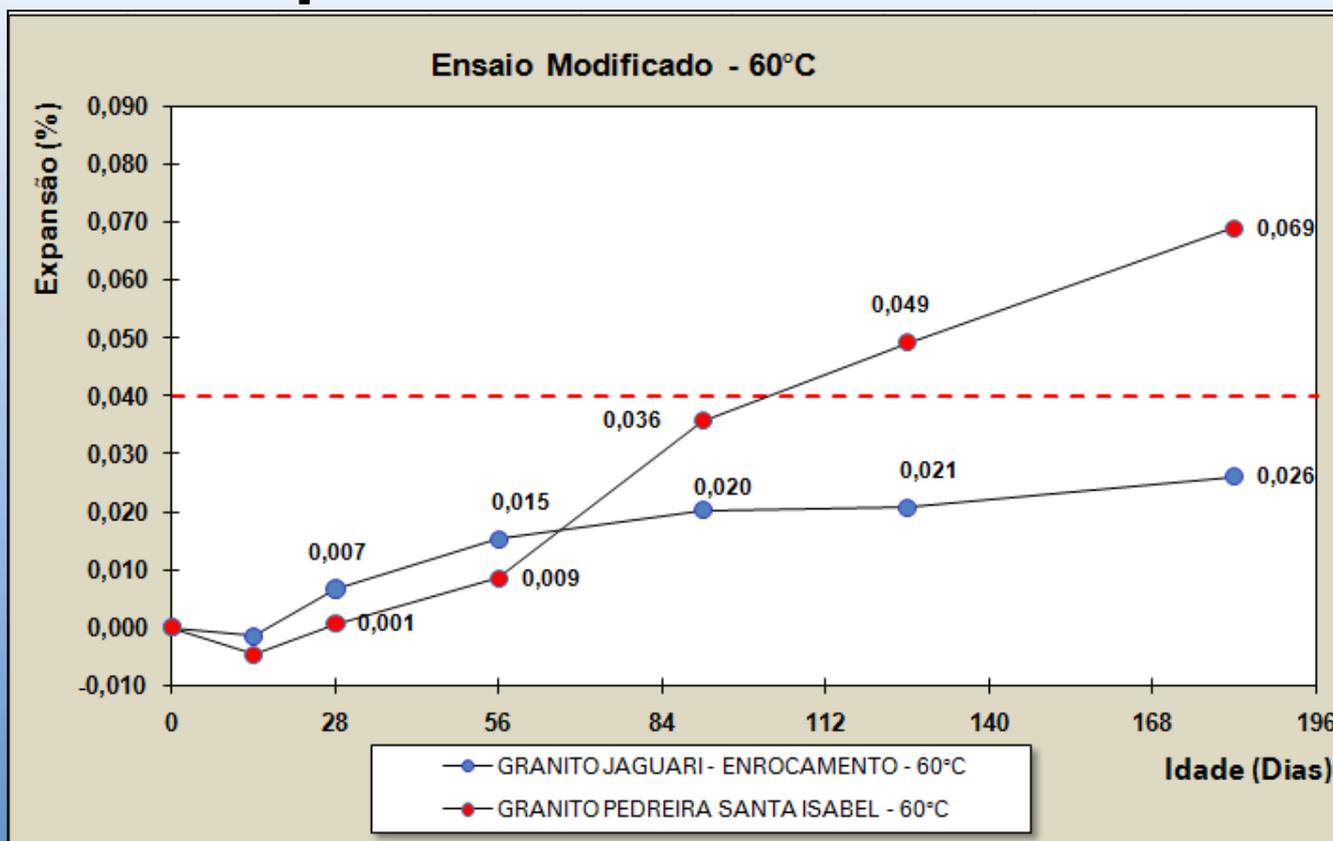
Ensaio em barra de argamassa – NBR 15577-4



Ensaio em prisma de concreto – NBR 15577-6

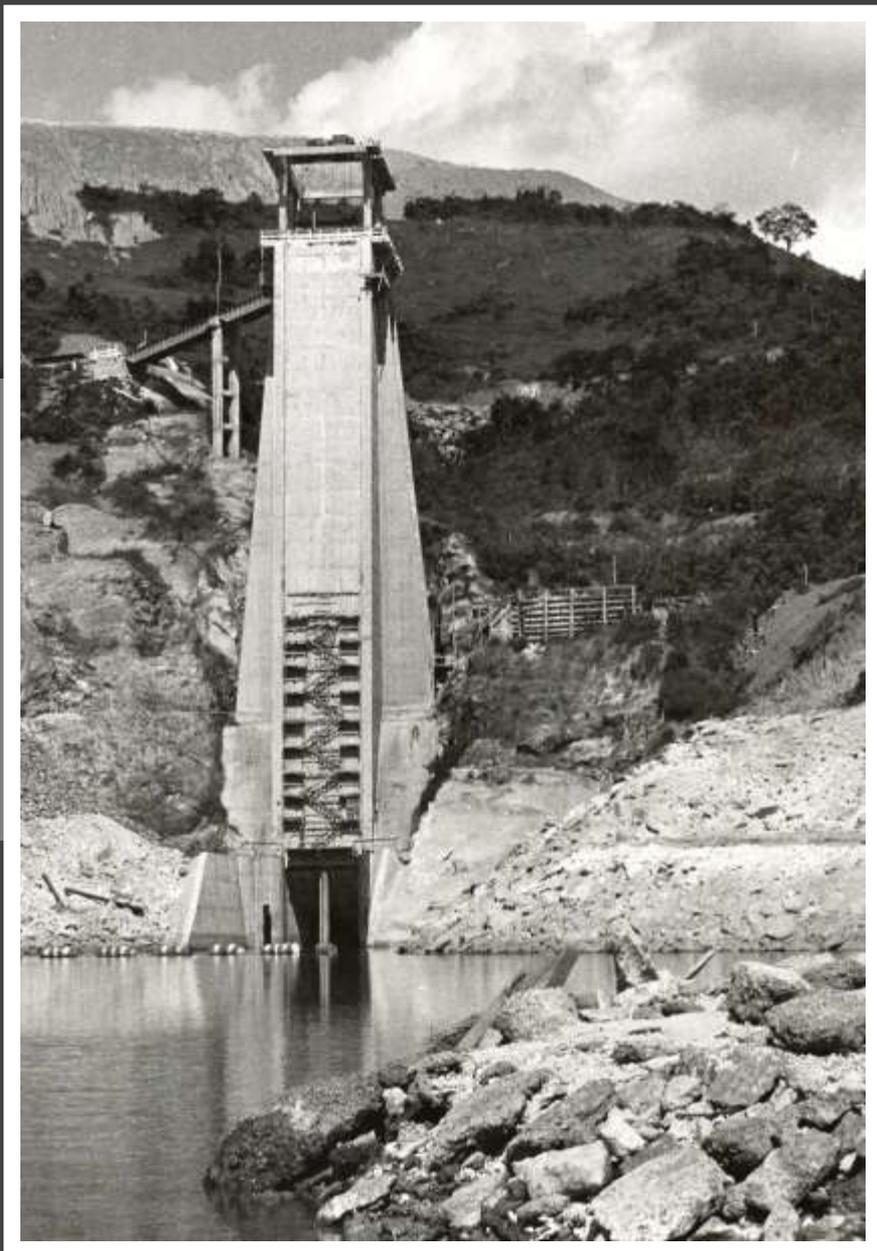


Ensaio em prisma de concreto – Modificado



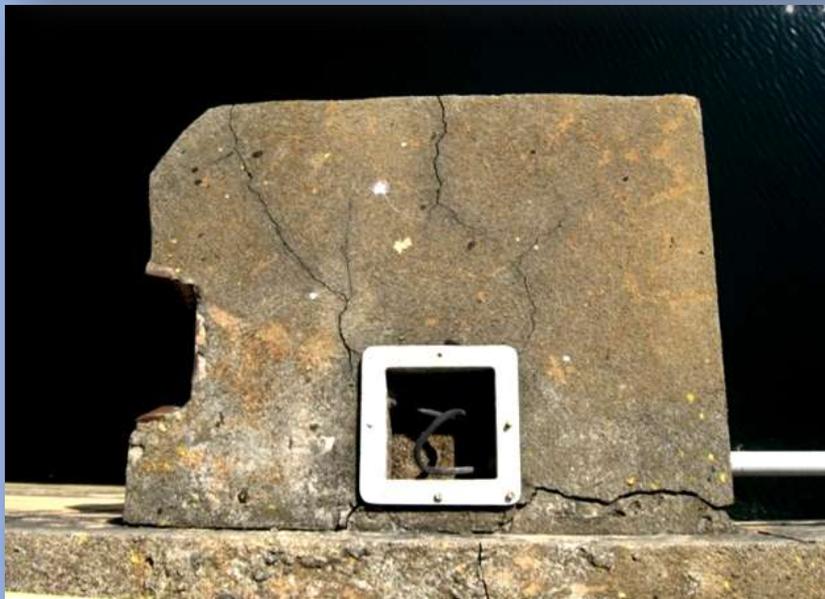
Considerações

- Estudos petrográfico e mineralógico no material extraído confirmam RAA;
- Análise MEV identificação de produtos típicos da RAA;
- Ensaio acelerado em barras de argamassa com agregado granítico negativo para RAA no período observado;
- Ensaio em prismas de concreto:
 - Normalizado – 38°C em 365 dias: → Negativo RAA
 - Acelerado – 60°C em 180 dias : → Positivo RAA



Monitoramento da tomada d'água da UHE Jaguari

Inspeção visual



Fissuras características em diferentes estruturas

Instrumentação recomendada na laje da tomada d'água:



Monitoramento das estruturas

Observações para plano de instrumentação:

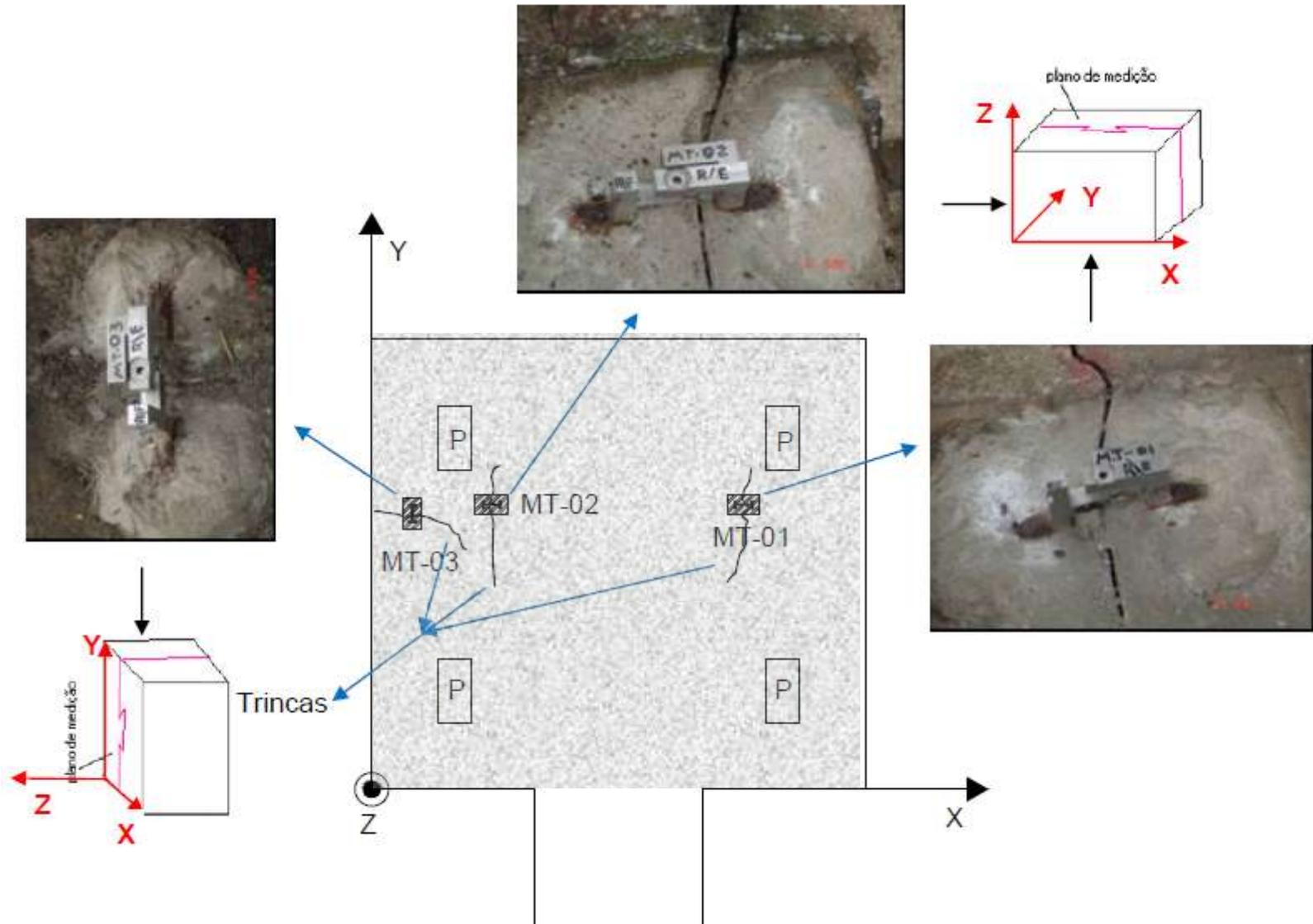
- Fase e taxa de expansão do concreto;
- Evolução taxa de expansão do concreto nas três direções ortogonais;
- Evolução da deformabilidade do concreto com o tempo;
- Modelo matemático de análise do comportamento da barragem;
- Eficiência das obras de reparo.

Monitoramento das estruturas

Grandezas para o plano de instrumentação:

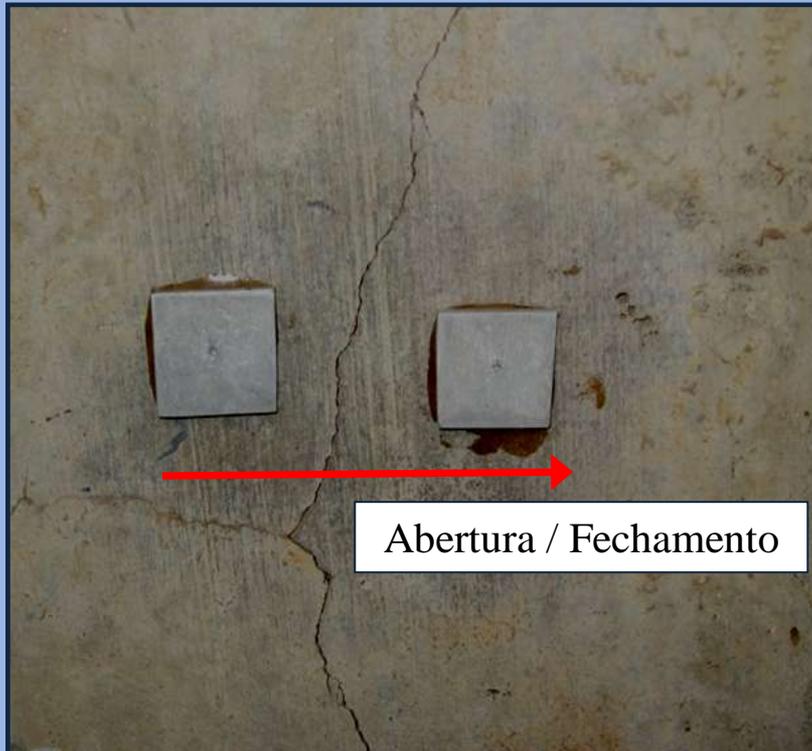
- Alçamento da crista da barragem;
- Deslocamentos horizontais da crista;
- Deformações internas da estrutura;
- Deslocamentos diferenciais entre blocos;
- Deslocamentos angulares da barragem;
- Subpressões na interface concreto/rocha e
- Vazões de drenagem.

Medidor triortogonal



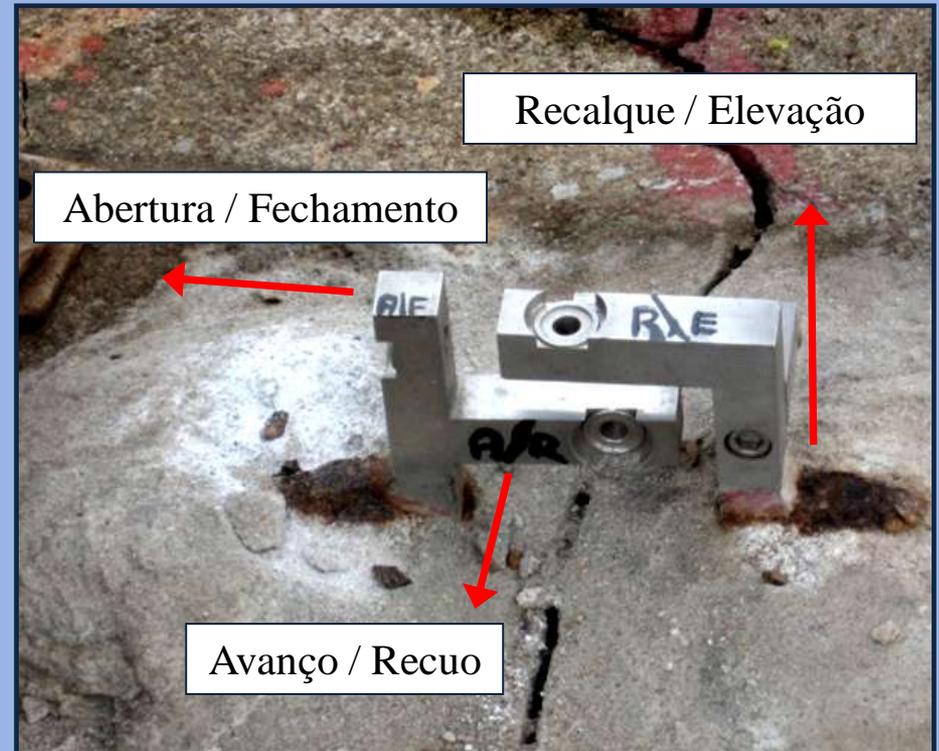
Posicionamento dos instrumentos na TA UHE Jaguari

INSTRUMENTAÇÃO - MEDIDORES



Abertura / Fechamento

Base de tensotast



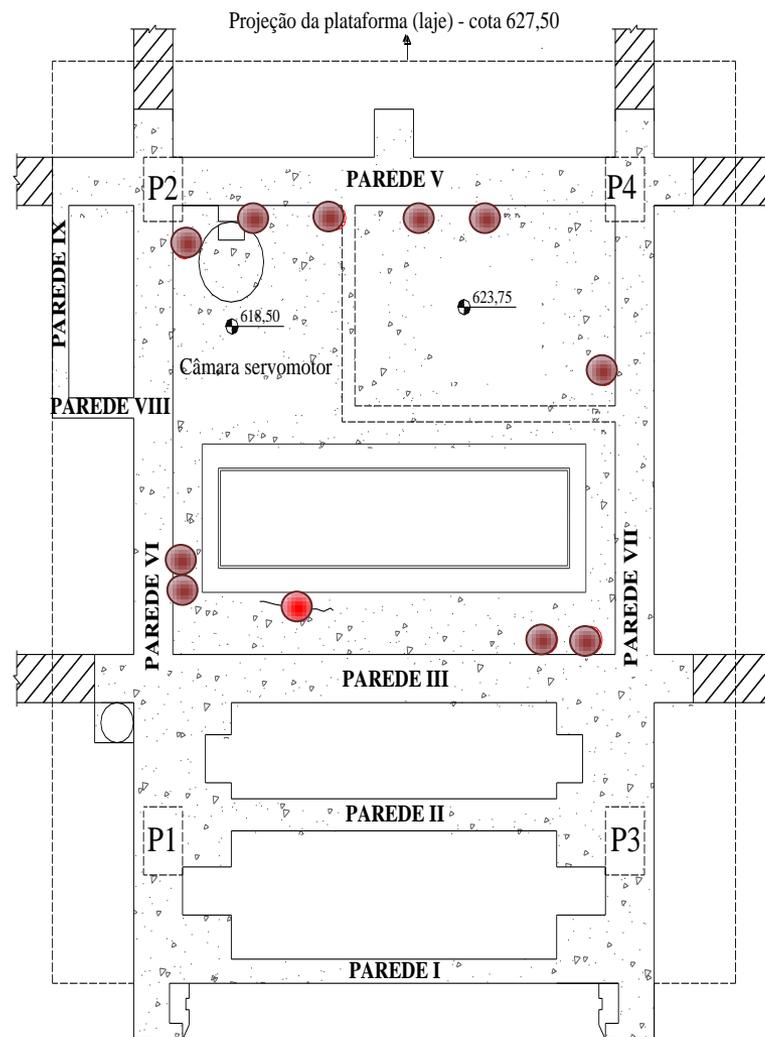
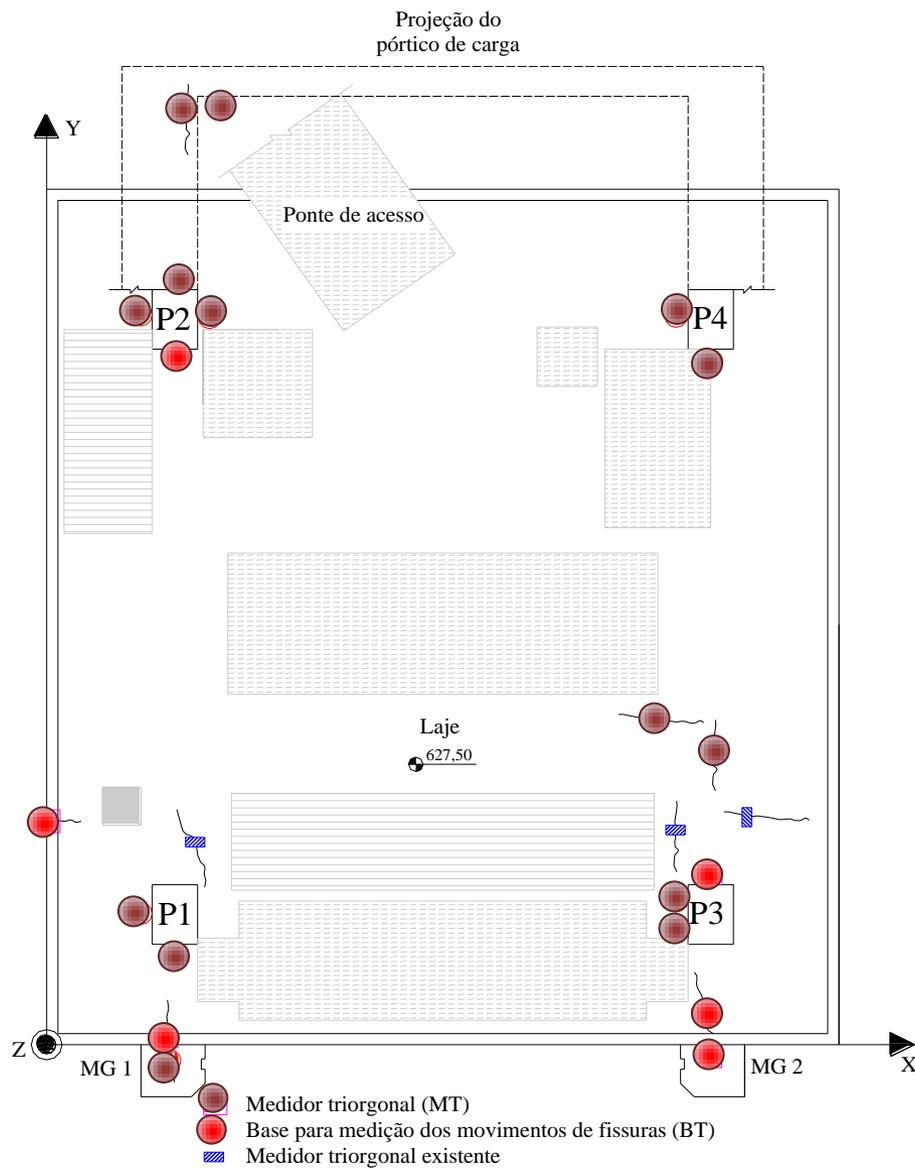
Recalque / Elevação

Abertura / Fechamento

Avanço / Recuo

Medidor triortogonal

Disposição dos medidores na Tomada D' Água

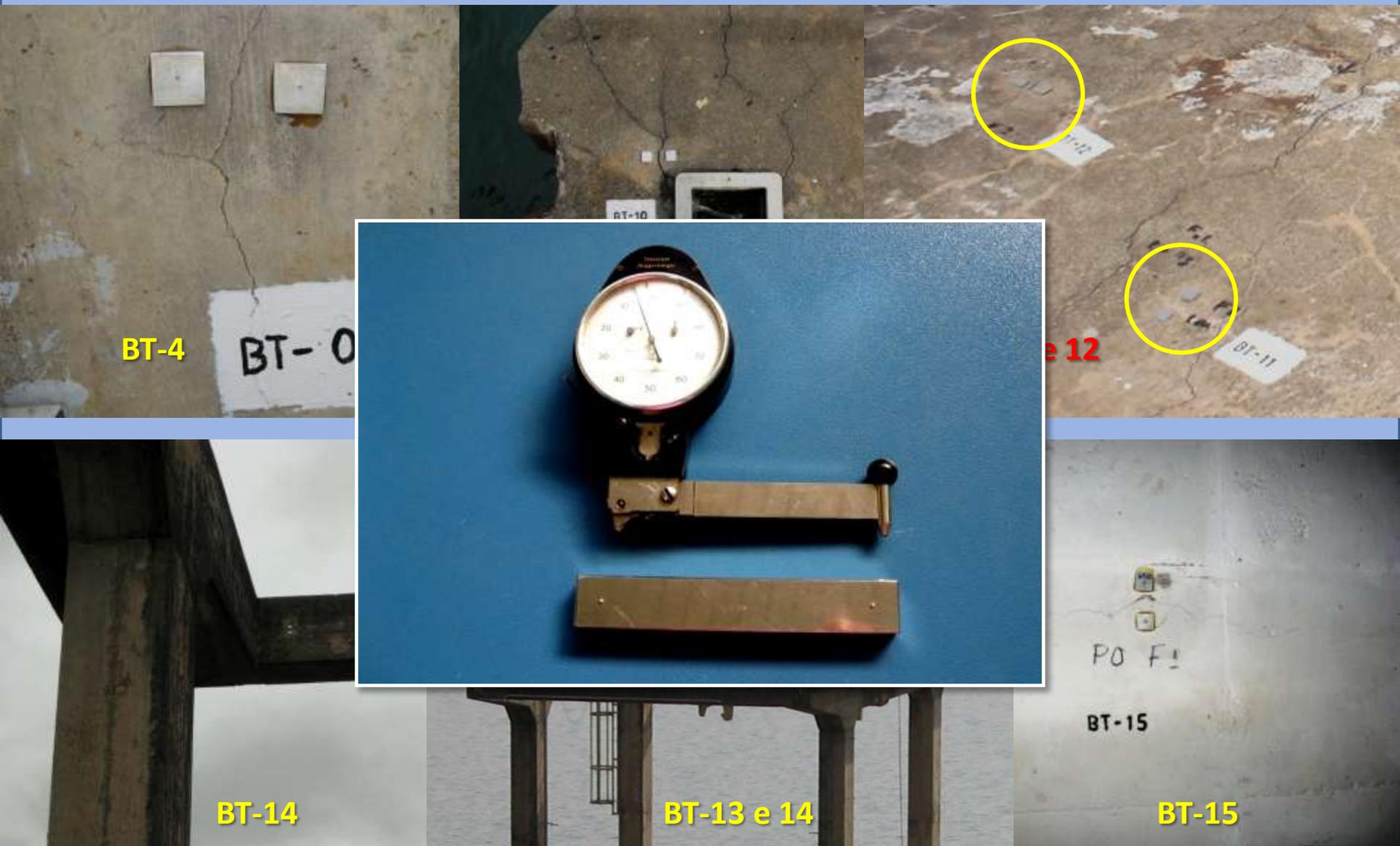


- 24 pares de bases de tensotast – BT;
- 07 medidores triortogonais – MT.

Disposição dos medidores na Tomada D' Água



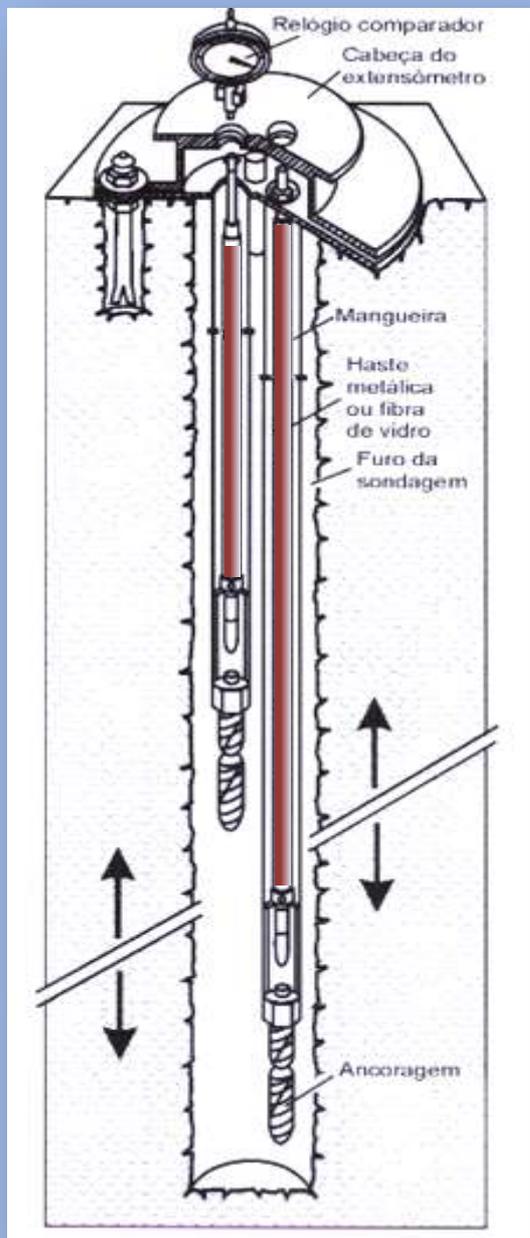
Disposição dos medidores na Tomada D' Água



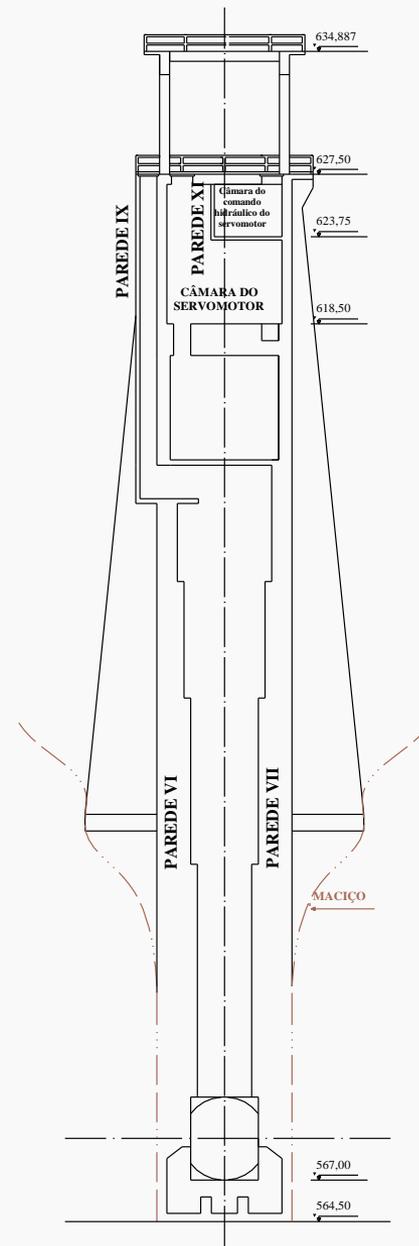
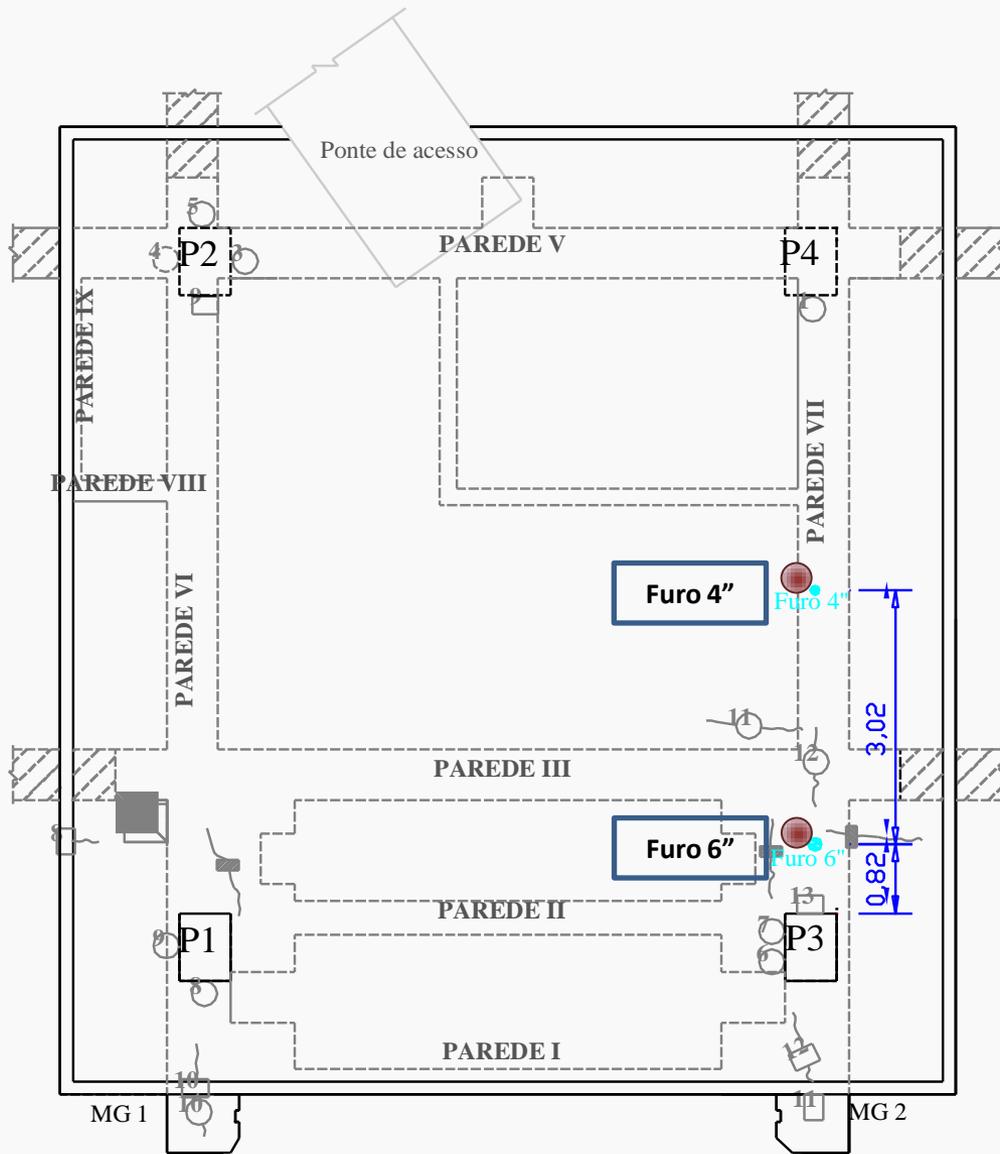
Monitoramento dos deslocamentos horizontais e verticais relativos

- Deslocamentos verticais relativos
 - **Extensômetro de haste**
 - Diferenças nas taxas de expansão do concreto por tensões confinantes
- Deslocamentos horizontais relativos
 - **Pêndulo invertido**
 - Deslocamentos cisalhantes na interface concreto/rocha

Extensômetro de haste



Fonte: Silveira (2003)



CORTE BB

Instalação do extensômetro de haste



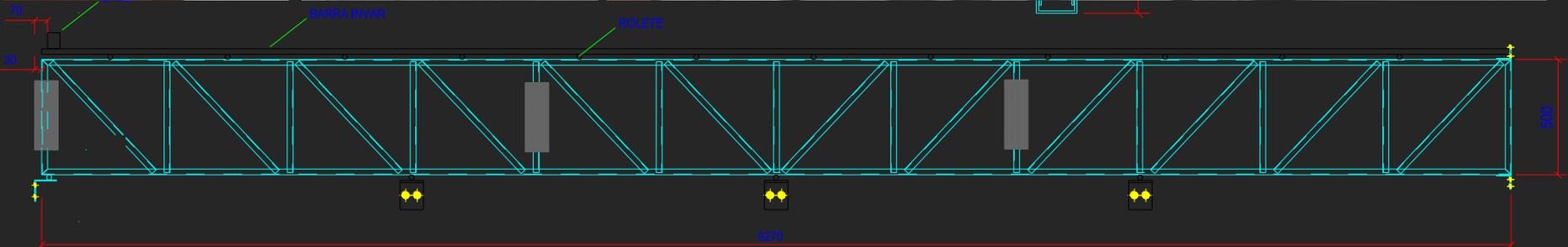
Pêndulo Invertido



Guia da comporta



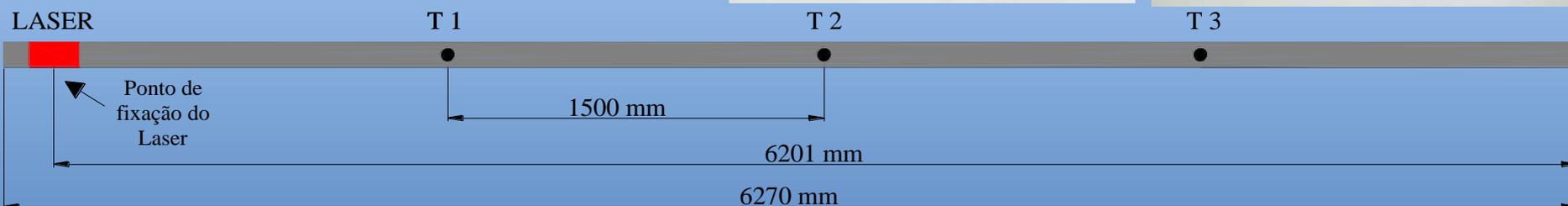
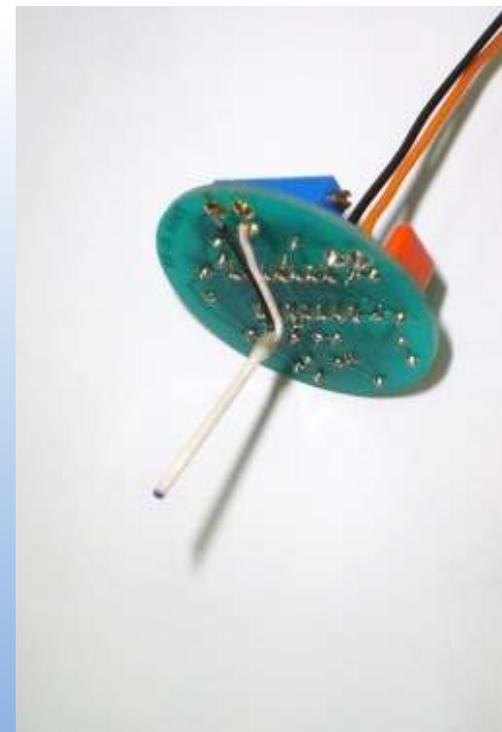
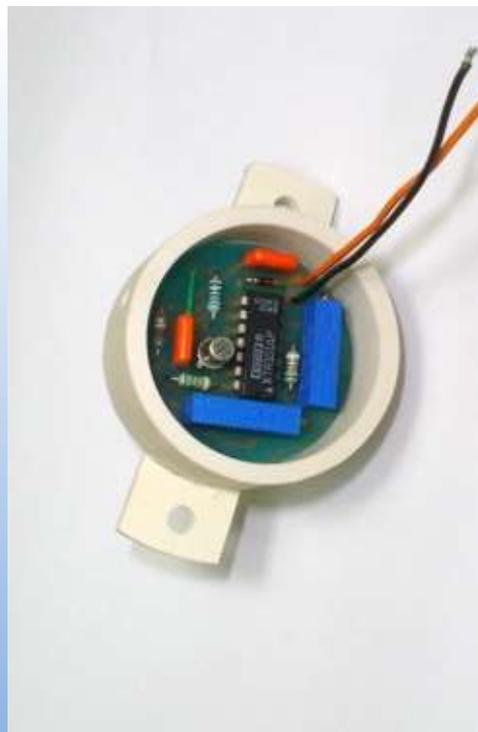
Deslocamento diferencial





– Sensor de temperatura

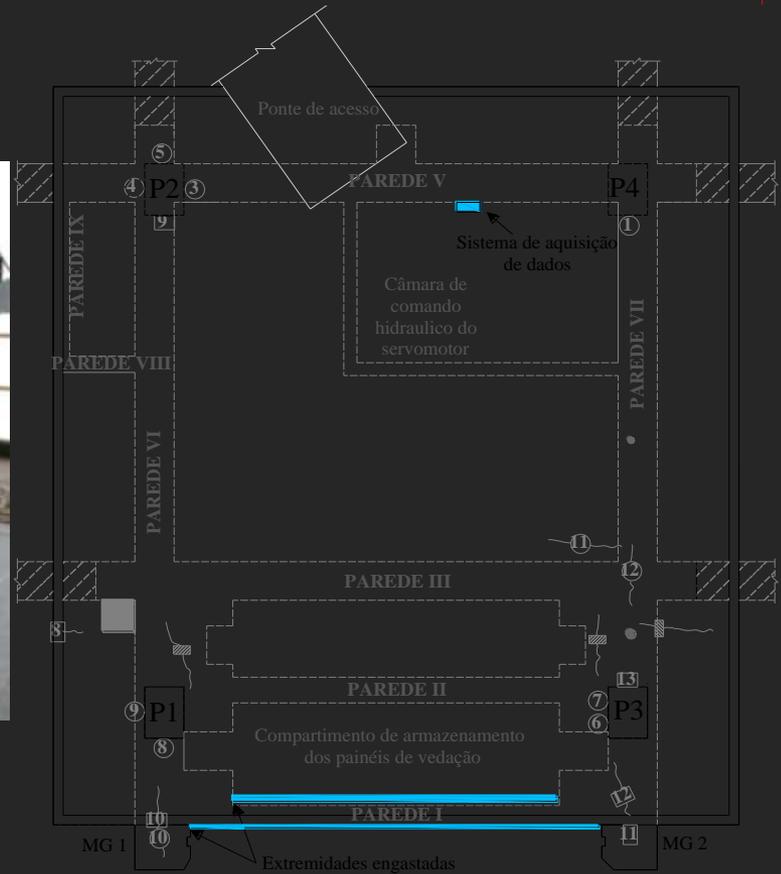
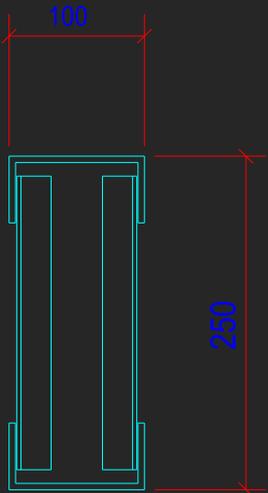
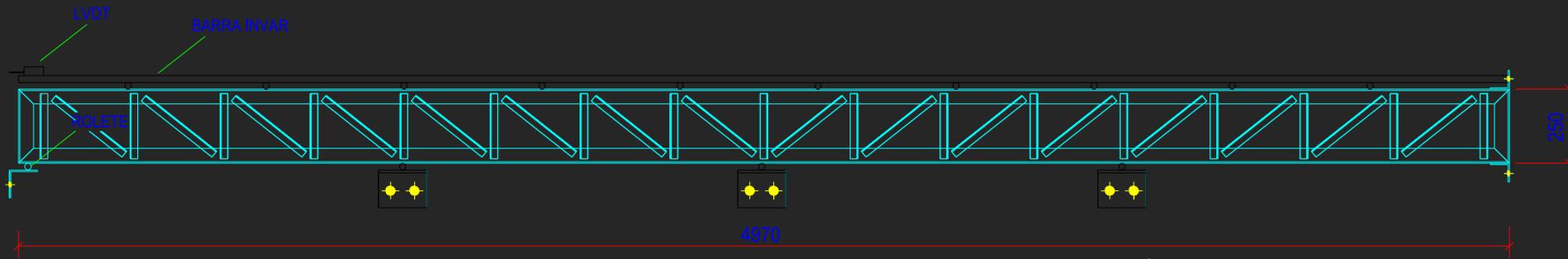
- » Desenvolvido no LCEC;
- » Automatização de leituras;
- » Interligado ao sistema de aquisição de dados;



- *Monitoramento dos deslocamentos relativos entre as paredes do compartimento de armazenamento dos painéis de vedação*
- Medida oposta ao laser com LVDT.



• Detalhamento do aparato de medição



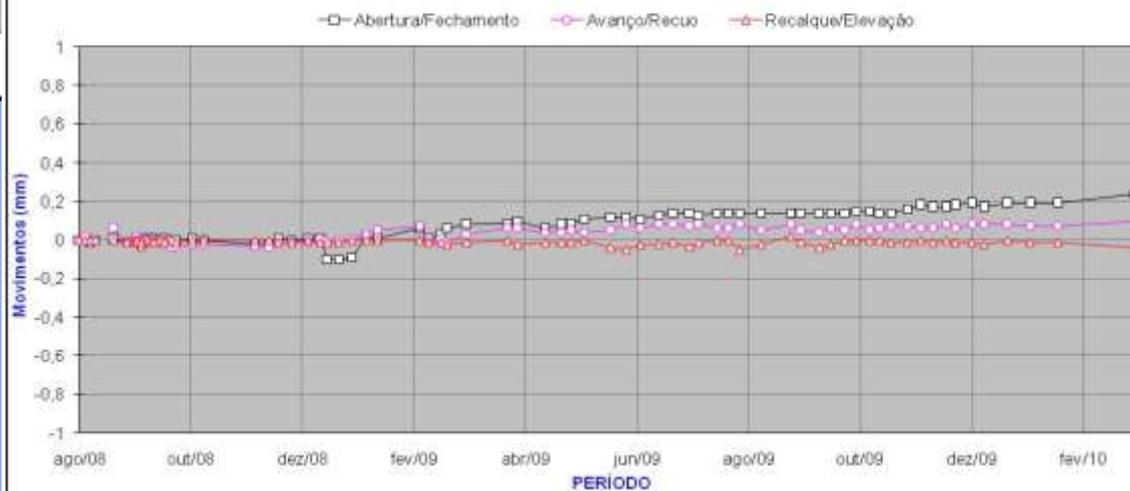
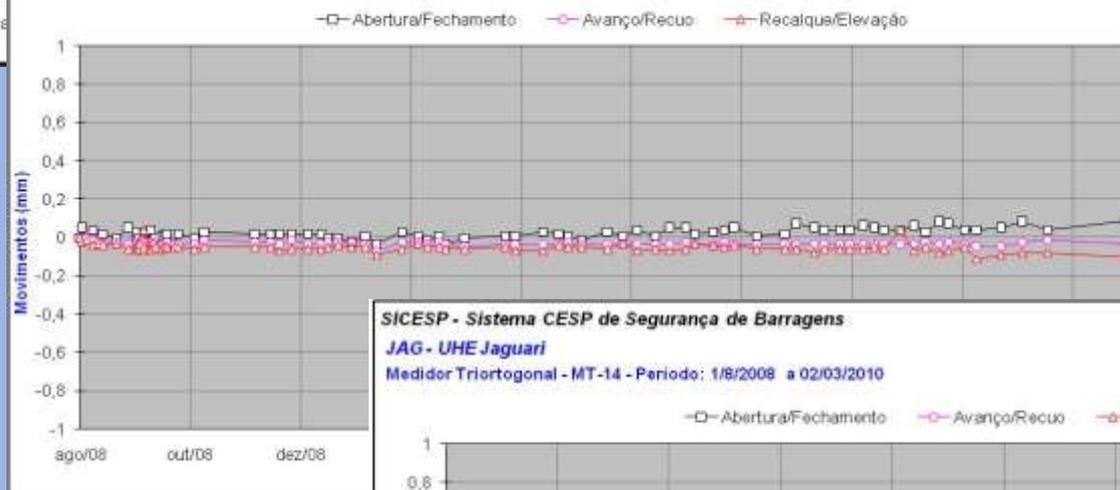
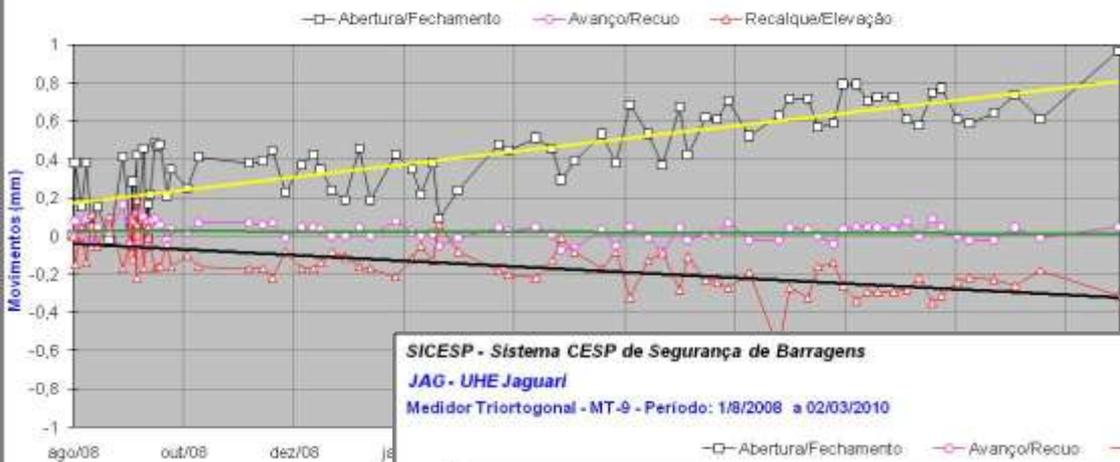
Instalação do equipamento em campo



- Sistema de aquisição de dados

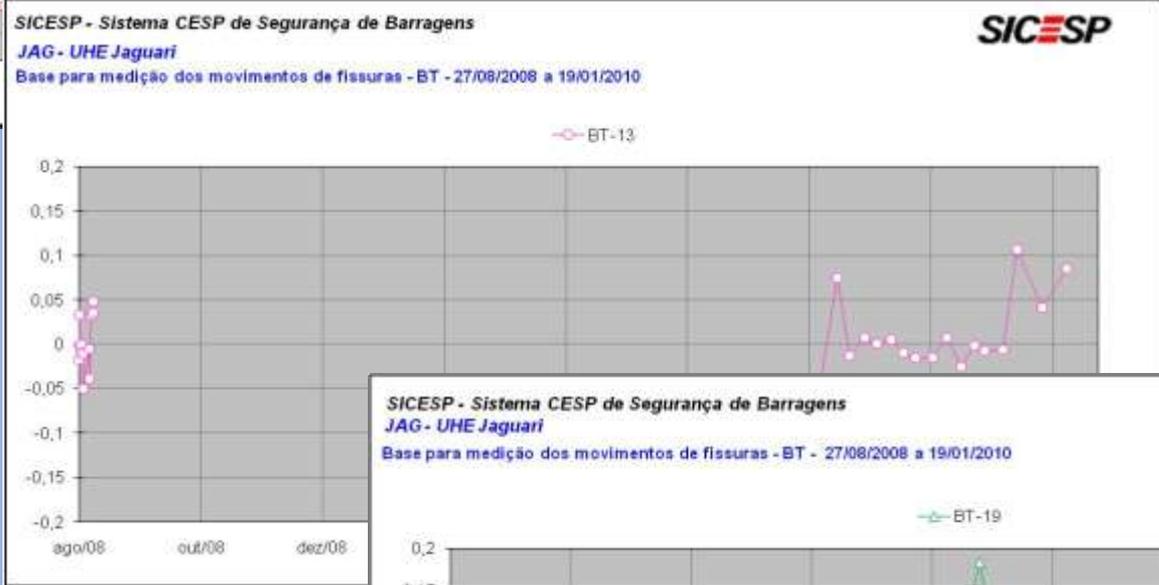


– Software de gerenciamento das leituras;





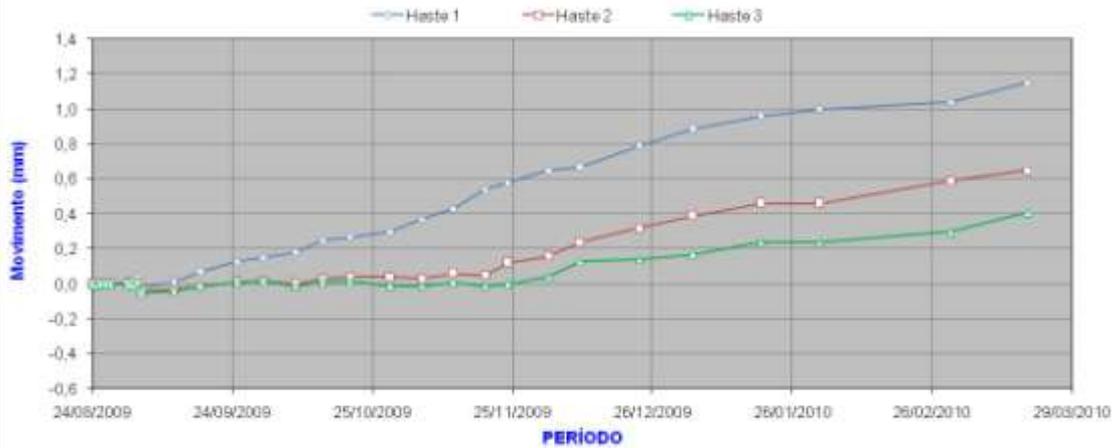
movimentos de



UHE JAGUARI

Extensômetro de Hastes EH - 1 - Período 24/08/2009 a 19/03/2010

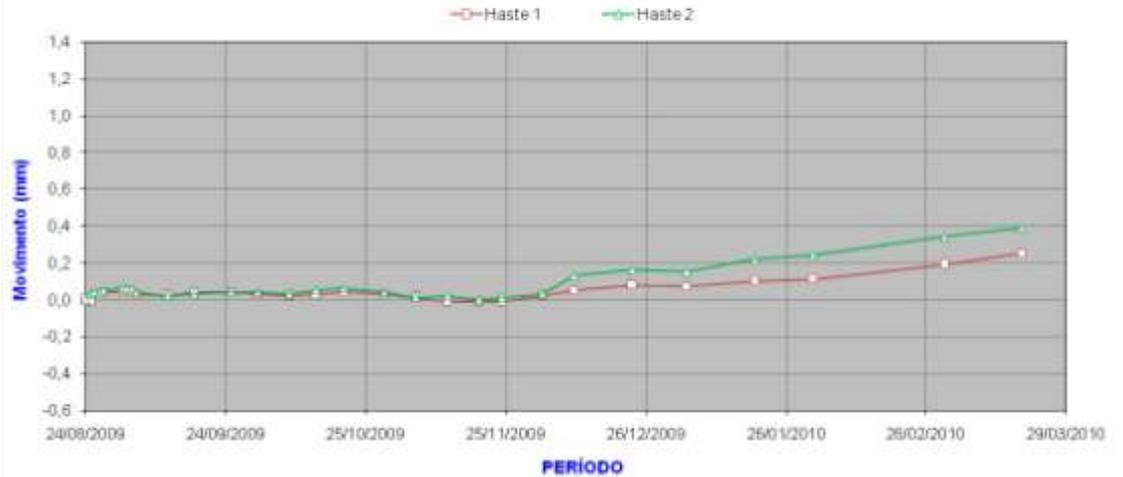
Elevação (+) / Recalque (-)



UHE JAGUARI

Extensômetro de Hastes EH - 2 - Período 24/08/2009 a 19/03/2010

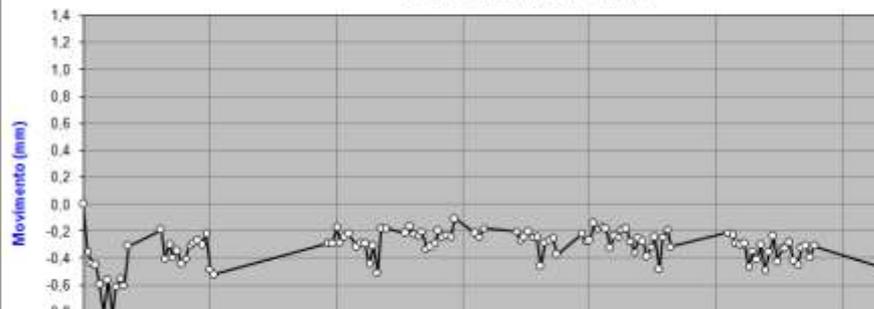
Elevação (+) / Recalque (-)



UHE JAGUARI

Aparato de medição com Laser - Período 24/08/2009 a 23/03/2010 - 05h00

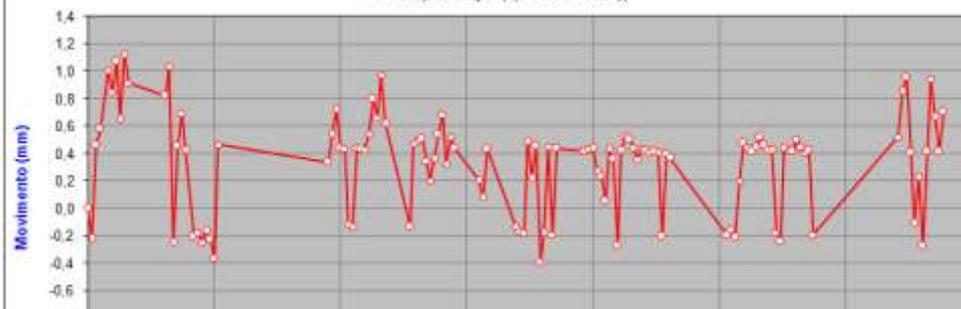
—○— Aproximação (+) / Afastamento (-)



UHE JAGUARI

Aparato de medição com Laser - Período 24/08/2009 a 23/03/2010 - 15h00

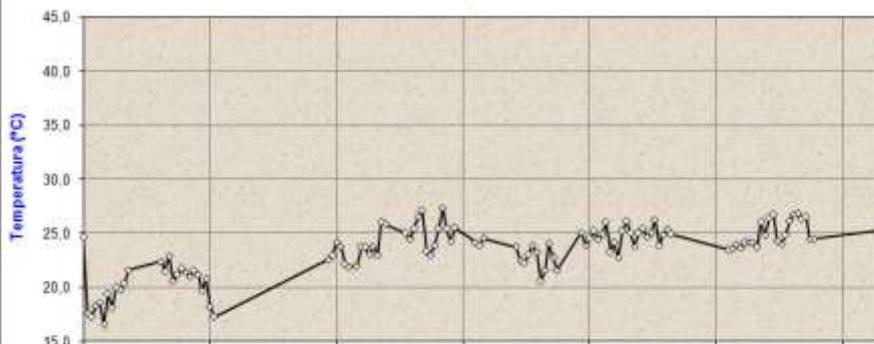
—○— Aproximação (+) / Afastamento (-)



UHE JAGUARI

Aparato de medição com Laser - Período 24/08/2009 a 23/03/2010 - 6h00

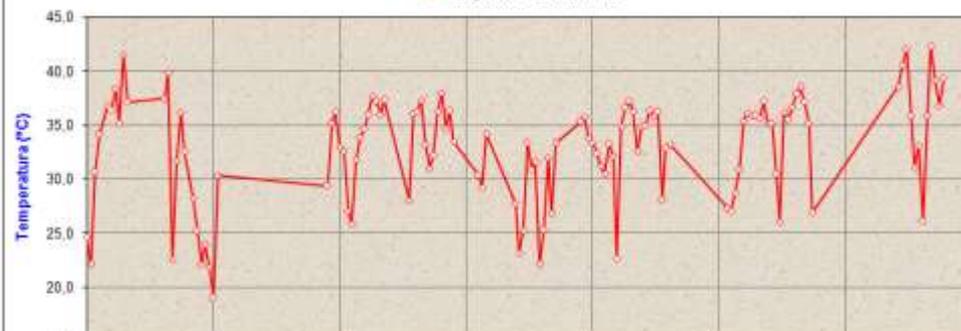
—○— Temperatura na barra invar



UHE JAGUARI

Aparato de medição com Laser - Período 24/08/2009 a 23/03/2010 - 15h00

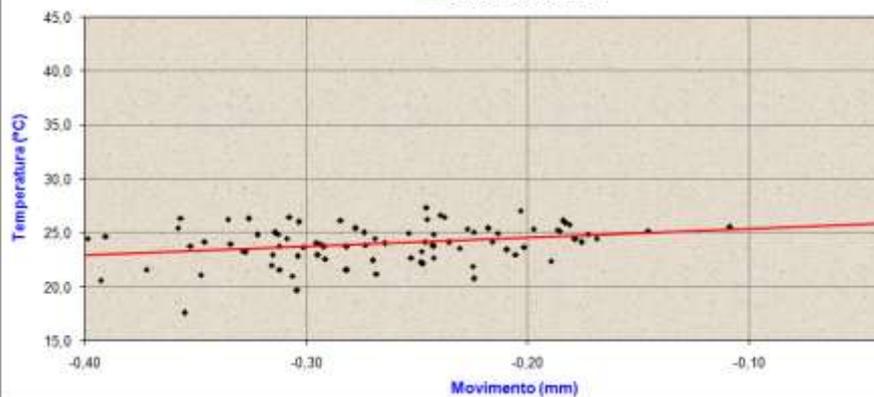
—○— Temperatura na barra invar



UHE JAGUARI

Aparato de medição com Laser - Período 25/08/2009 a 23/03/2010 - 6h00

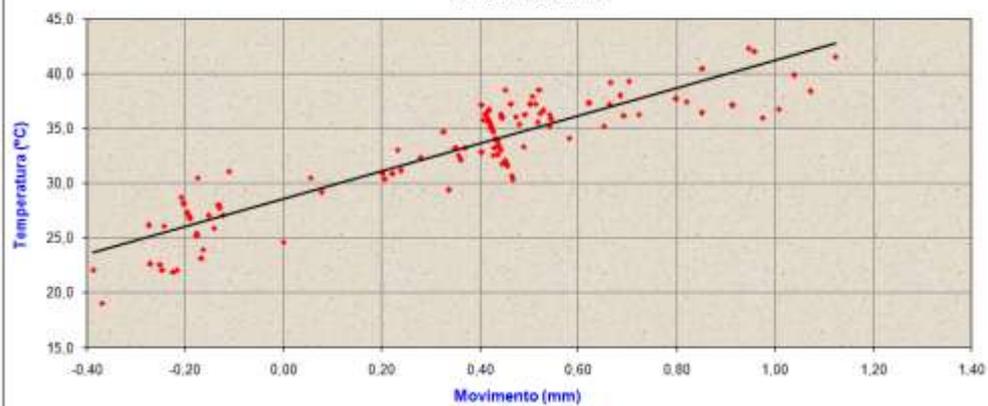
—○— Linha de tendência linear



UHE JAGUARI

Aparato de medição com Laser - Período 24/08/2009 a 23/03/2010 - 15h00

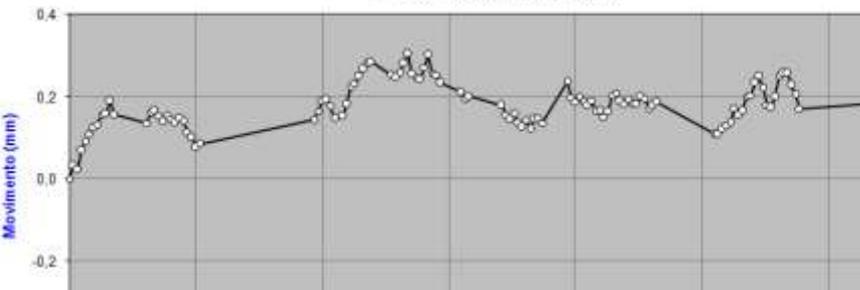
—○— Linha de tendência linear



UHE JAGUARI

Aparato de medição com LVDT - Período 24/08/2009 a 23/03/2010 - 6h00

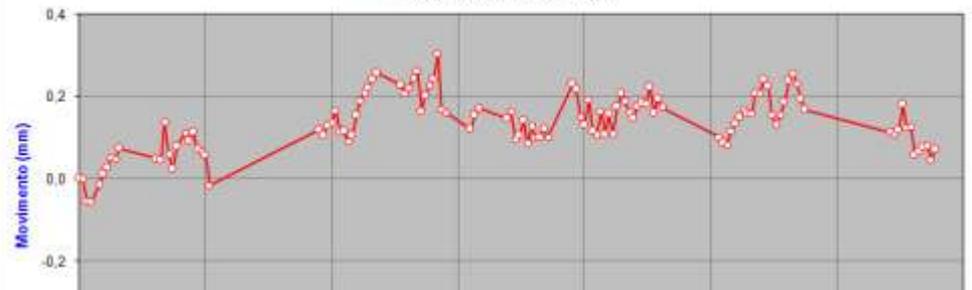
—○— Aproximação (+) / Afastamento (-)



UHE JAGUARI

Aparato de medição com LVDT - Período 24/08/2009 a 23/03/2010 - 15h00

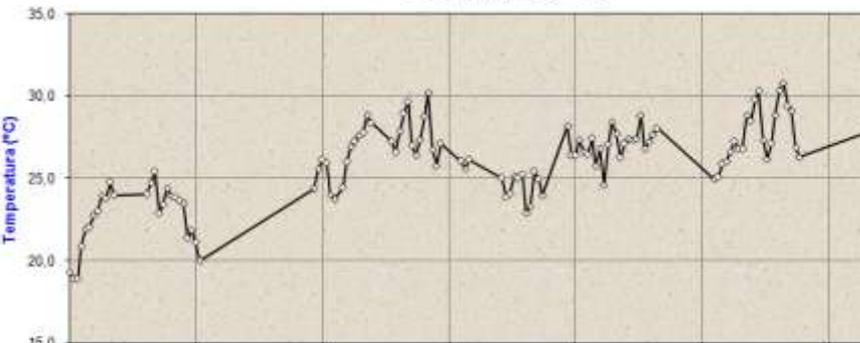
—○— Aproximação (+) / Afastamento (-)



UHE JAGUARI

Aparato de medição com LVDT - Período 24/08/2009 a 23/03/2010 - 6h00

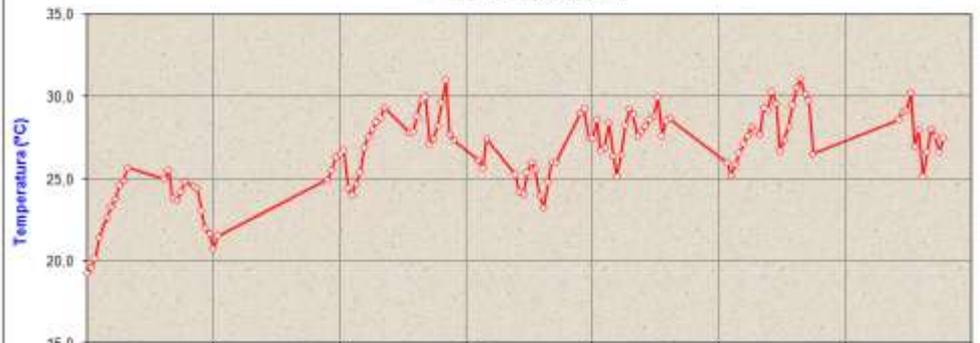
—○— Temperatura na barra invar



UHE JAGUARI

Aparato de medição com LVDT - Período 24/08/2009 a 23/03/2010 - 15h00

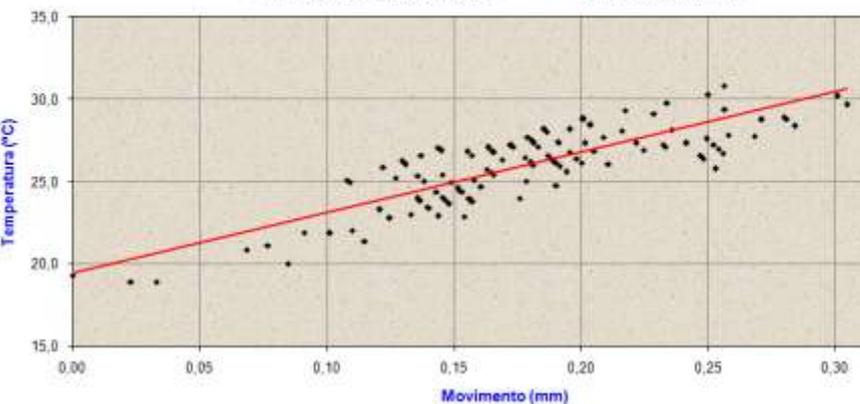
—○— Temperatura da barra invar



UHE JAGUARI

Aparato de medição com LVDT - Período 24/08/2009 a 23/03/2010 - 6h00

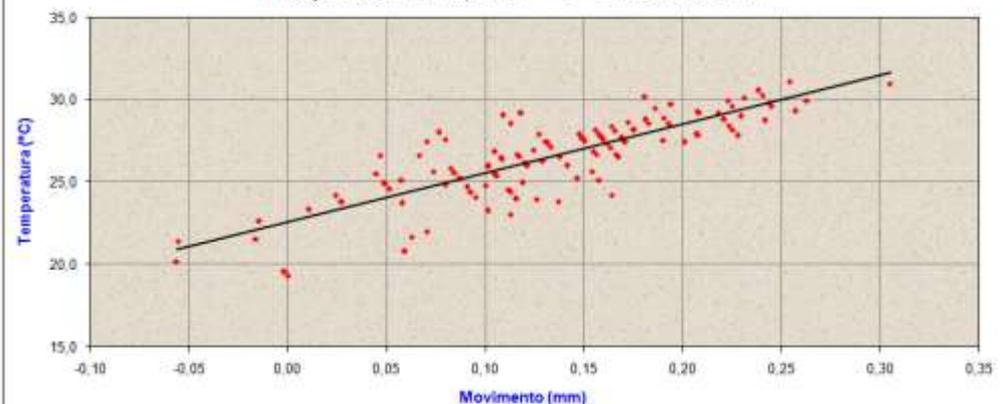
• Relação Deslocamento/Temperatura — Linha de tendência linear



UHE JAGUARI

Aparato de medição com LVDT - Período 25/08/2009 a 23/03/2010 - 15h00

• Relação Deslocamento/Temperatura — Linha de tendência linear



Considerações finais

- As análises qualitativas dos deslocamentos medidos indicam evolução do processo expansivo decorrente da RAA;
- Os instrumentos convencionais estão adequados às medições a que foram programados;
- O aparato de medição eletrônica tem coerência nas leituras demonstradas, variando linearmente com a temperatura;
- Os parâmetros de monitoramento e os locais determinados para as instalações demonstraram ser representativos diante das disponibilidades técnicas e econômicas.

Muito obrigado!

Eng. Flavio Moreira Salles

Laboratório CESP de Engenharia Civil
Ilha Solteira - SP

e-mail: flavio.salles@cesp.com.br

