



GGH/006

21 a 26 de Outubro de 2001  
Campinas - São Paulo - Brasil

**GRUPO I**  
**GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH**

**POÇOS DE ALÍVIO PARA RESTABELECEM OS CRITÉRIOS DE SEGURANÇA NA  
BARRAGEM DE SOBRADINHO**

Ricardo José Barbosa De Souza  
CIA. HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO

**RESUMO**

O trabalho apresenta o sistema de poços de alívio utilizado para restabelecer os critérios de segurança relativos aos níveis de subpressão na fundação do Dique "A" da barragem de Sobradinho.

Descreve-se a evolução da elevação das subpressões que, vinte anos após o primeiro enchimento do reservatório, registravam valores bem acima dos níveis críticos de segurança estabelecidos no projeto.

Apresenta-se as medidas adotadas para combater a elevação da subpressão, através de um sistema de poços de alívio, projetados para reduzir e controlar o nível piezométrico de jusante e evitar o carreamento de material. Adicionalmente foram instalados 26 novos piezômetros para acompanhar a longo prazo o desempenho da estrutura.

Analisa-se o desempenho do sistema de poços de alívio no controle do nível de subpressão da barragem e são fornecidos os principais resultados dos níveis piezométricos, durante os ciclos de enchimento e deplecionamento do reservatório ocorridos desde a implantação do sistema em 1997.

As medições atuais dos níveis piezométricos permitem concluir que a fundação do Dique apresenta um comportamento de subpressões dentro das previsões teóricas e que a situação é de normalidade estando restabelecidos os critérios de segurança do projeto.

**PALAVRAS-CHAVE:**

Sobradinho, Poços de alívio, Subpressão, Instrumentação, Segurança.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A Barragem Sobradinho está localizada no Rio São Francisco, 60Km a montante das cidades de Juazeiro - BA e Petrolina - PE. A Figura 1 mostra o arranjo geral das principais estruturas da UHE que é composta dos Diques "A", "B", "C", e "D"; Barragens Direita e Esquerda; Vertedouro de superfície e descarregador de fundo; Casa de Força a céu aberto com 06 unidades de 175 MW cada. O projeto inclui também Tomada d'água para irrigação e Eclusa para navegação. O reservatório tem capacidade de acumular cerca de 34 bilhões de m<sup>3</sup>, que assegura a regularização plurianual de uma vazão de 2.060m<sup>3</sup>/s, garantindo a geração nas usinas hidroelétricas do sistema pertencente à Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF.

As obras foram iniciadas em 1973 e em dezembro de 1977 começou o enchimento do reservatório, tendo a primeira unidade geradora entrado em operação em setembro de 1979. Operando na cota máxima normal, o reservatório acumula um volume de 34,1x10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> e apresenta um espelho d'água de 4.214 Km<sup>2</sup>. Para atender a demanda de geração na cascata do Rio, com uma potência instalada de 10.000 MW, o reservatório, no seu período crítico, chega a oscilar o nível em até 12 m.

A oscilação do nível d'água de montante, provocou grandes variações de subpressão na fundação da barragem, tendo sido constatado, como consequência, surgências em alguns pontos a jusante, na margem esquerda do barramento. Além disso, depois do início de operação do reservatório, observou-se nos piezômetros da fundação de jusante do Dique "A", para um mesmo nível do reservatório, uma evolução crescente e sistemática, ao longo dos anos, dos níveis de subpressão.

## 2.0 – CARACTERÍSTICAS DO DIQUE “A”

### 2.1 – Geologia da área e terreno de fundação

A área de implantação do Dique é formada por rochas metamórficas do pré-cambriano inferior, observando-se na fundação a presença de várias litologias. Intrusões de anfibólito, filito e xisto são recortadas de veios quartzo-feldspáticos, concordante com as direções gerais das rochas encaixantes, e com espessuras variáveis de centímetros até 5 metros. O local de implantação do dique é geologicamente bastante complexo com alto grau de metamorfismo e intemperismo das rochas. Na parte central e mais alta do dique, destaca-se uma intrusão de rocha ultrabásica extremamente alterada e decomposta. Os contatos com os xistos encaixantes, diferentemente dos veios quartzo-feldspáticos, são discordantes das direções gerais da rocha.

### 2.2 – Perfil típico

A seção transversal pela estaca 151,00 + 28 m, Figura 2, representa o perfil típico do dique. O maciço é constituído por uma estrutura de solo compactado com núcleo de areia silto argilosa plásticas e espaldares de cascalho silto argiloso com proteção dos taludes de enrocamento. O Dique tem 1.588 m de extensão e altura máxima de 20 m. Sob o núcleo e interceptando a camada de solo de alteração, foi executada uma trincheira tipo “cut-off” para controle da percolação pela fundação.

### 2.3 – Subpressão e limite de alerta

Para acompanhamento da evolução das subpressões, com a variação do nível d’água montante, durante o enchimento e no regime normal de operação do reservatório, foram instalados no maciço de fundação a jusante, logo após a construção, 06(seis) piezômetros tipo Casa Grande. Estes piezômetros foram distribuídos em seções transversais ao longo dos 1.588 m de extensão do Dique “A”.

Na Figura 2, observa-se a localização dos piezômetros PZ-2A e PZ-3A, estaca 151 + 28,00 m, instalados no solo de alteração a jusante do pé do dique, nas El. 382,42 m e El. 379,78 m respectivamente.

O limite crítico de alerta teórico, definido pelo projeto, para as subpressões na fundação no local dos piezômetros PZ-2A e PZ-3A é de 384,80 m. Desta forma o nível piezométrico estaria inferior ao nível do terreno natural e limitado pela cota superior do filtro horizontal.

## 3.0 – ELEVÇÃO DA SUBPRESSÃO

Em junho de 1997, vinte anos após o primeiro enchimento do reservatório, as subpressões na fundação do Dique “A” ultrapassaram de forma perigosa os limites de alerta, estabelecidos no projeto, inclusive com piezômetros apresentando artesianismo. As subpressões elevadas foram detectadas através da análise da instrumentação existente e de inspeções

visuais. As evoluções dos níveis piezométricos, na estaca 151 + 28,00 m, medidos pelos piezômetros PZ-2A e PZ-3A, no período 90/97, estão apresentados na Figura 3. Verifica-se que foram registrados níveis piezométricos de até 2,00 m de coluna d’água acima do limite de projeto. O gráfico da Figura 4 mostra que o nível piezométrico apresentava valores superiores ao limite de projeto e era cada vez maior sempre que o reservatório sofria um novo enchimento. As inspeções visuais mostraram surgências d’água, sob pressão, em vários locais junto ao pé do dique. Na oportunidade era visível a perda de resistência e da capacidade de suporte do terreno imediatamente a jusante do dique.

As análises dos resultados do monitoramento e das inspeções realizadas, indicaram que a situação era grave, que as subpressões tinham atingido valores bem acima dos níveis críticos de segurança do dique e que devido ao caráter evolutivo do problema não seria recomendável um novo enchimento do reservatório sem se efetuar uma intervenção para controlar as subpressões.

## 4.0 – SISTEMA DE POÇOS DE ALÍVIO

A solução adotada para restabelecer as condições normais de segurança na fundação à jusante, foi implantar um sistema de poços de alívio, interligados com uma trincheira drenante, paralela ao pé do talude de jusante do dique, de modo que as subpressões ficassem controladas e sempre abaixo do limite estabelecido no projeto.

Na parte central do dique, coincidindo com as seções de maior altura, entre as estacas 149,00 + 70,00 m e 154,00 + 10,00 m, correspondendo a 440 m de extensão, foram executados, junto ao pé de jusante do dique, 108 (cento e oito) poços de alívio. Os poços estão espaçados a cada 04 (quatro) metros, com uma profundidade média de 14 m e diâmetro externo de 4”. Para combater o carreamento de material devido à força de percolação, os poços foram preenchidos com areia lavada obedecendo a seguinte granulometria: 0,2 mm  $\varnothing$  2 mm e  $D_{85} > 1,6$  mm. Esta areia de preenchimento envolveu um tubo de PVC de 1/2”, perfurado a cada 1 cm em quatro geratrizes diametralmente opostas, com furos de diâmetro igual a 0,79 mm (1/32”). Esses valores foram definidos obedecendo aos critérios de filtro de Bertram-Terzaghi, considerando o solo a ser protegido, uma areia silto-argilosa, com uma faixa granulométrica resultante dos ensaios realizados para definição das jazidas na área, durante o período construtivo, tendo  $D_{15med} = 0,002$  mm,  $D_{15max} = 0,018$  mm,  $D_{85min} = 0,04$  mm,  $D_{85med} = 0,3$  mm. Com relação ao diâmetro dos furos no tubo central de alívio, foi utilizado como critério que, os mesmos, deveriam ser menor que metade do  $D_{85}$  da areia do filtro. Todos os poços estão interligados a uma canaleta de drenagem longitudinal, afastada 3,5 m do pé do talude, aliviando as pressões na EL. 384 m, abaixo portanto do nível crítico estabelecido no projeto (El. 384,80 m).

A Figura 5, mostra a seção típica esquemática do sistema de poços de alívio. A execução do sistema foi

iniciada em setembro/97 e já em dezembro/97 todos os 108 poços estavam perfurados e interligados a canaleta de drenagem.

#### 5.0 – MONITORAMENTO E DESEMPENHO

Para avaliação e acompanhamento a longo prazo do desempenho da estrutura e de sua fundação, foram instalados 26 novos piezômetros tipo Casa Grande, em 04 seções transversais ao dique, correspondentes as estacas 150 + 60,00 m; 151 + 28,00 m; 152 + 24,00 m e 153 + 52,00 m. A Figura 6 apresenta o posicionamento dos piezômetros instalados na estaca 151 + 28,00 m que era a seção mais crítica com relação a elevação de subpressões.

O monitoramento da fundação tem permitido uma reavaliação periódica do nível de segurança da estrutura e uma avaliação da eficiência do sistema de poços de alívio implantado para controle das subpressões. A Figura 7 mostra o gráfico com a variação dos níveis piezométricos registrados pelos novos piezômetros instalados na fundação jusante da estaca 151 + 28,00 m, desde setembro/97 até janeiro/01. Observa-se que após a implantação dos poços de alívio as subpressões máximas na fundação passaram a ser controladas pelo nível da trincheira drenante. A influência do sistema de poços de alívio alcança pontos afastados até 109 m do eixo do dique.

A Figura 8, mostra a influência do sistema de poços de alívio sobre os níveis piezométricos medidos pelos piezômetros PZ-2A e PZ-3A. Estes piezômetros, que antes registravam artesianismo e subpressões bem acima do nível crítico de projeto, sofreram uma redução brusca nos níveis piezométricos após a interligação dos poços de alívio com a canaleta de drenagem, ocorrida em novembro/97.

Os níveis piezométricos máximos permanecem controlados e estáveis, independente das oscilações do nível d'água do reservatório. Os valores estão abaixo do limite de alerta definido no projeto.

#### 6.0 - CONCLUSÃO

As análises das leituras da instrumentação de auscultação e os resultados das inspeções visuais, indicam que a implantação da solução de poços de alívio funcionou com pleno sucesso. Registra-se que imediatamente após a implantação do sistema de poços, houve uma redução brusca nas subpressões para níveis abaixo dos valores críticos, mantendo-se controladas, independente das oscilações do nível d'água do reservatório. Atualmente a fundação do Dique apresenta um comportamento de subpressões dentro das previsões teóricas e a situação é de normalidade sendo restabelecidos os critérios de segurança do projeto.

#### 7.0 AGRADECIMENTO

O autor agradece à Companhia Hidro elétrica do São Francisco - CHESF a autorização para publicação deste trabalho.

#### 8.0 - BIBLIOGRAFIA

- (1) SOUZA R. J. B., MAIA R. A. A., Tratamento de subpressões elevadas no Dique "A" da UHE Sobradinho; ( XXIII Seminário Nacional de Grandes Barragens ), Belo Horizonte, 1999.
- (2) HIDROSERVICE ENGENHARIA DE PROJETOS, Projeto Sobradinho; Relatório de construção e compactação do Dique "A"; ( REP117/78 ).
- (3) CIA. HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO CHESF, Relatório técnico da Divisão de Engenharia Civil de Geração; ( DECG-RT-SOB-99/010 )

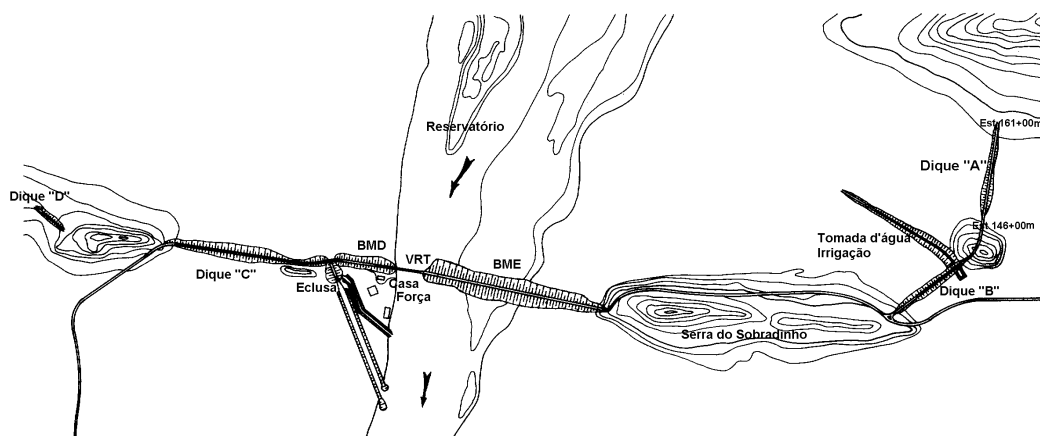


FIGURA 1 – Arranjo geral da UHE Sobradinho.

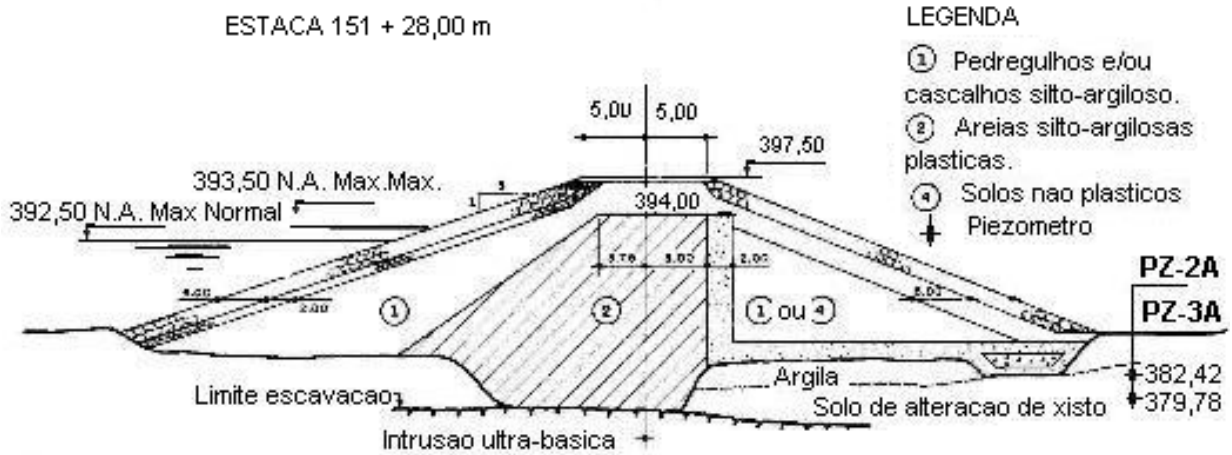


FIGURA 2 – Perfil típico do Dique “A” e piezômetros PZ-2A e PZ-3A .

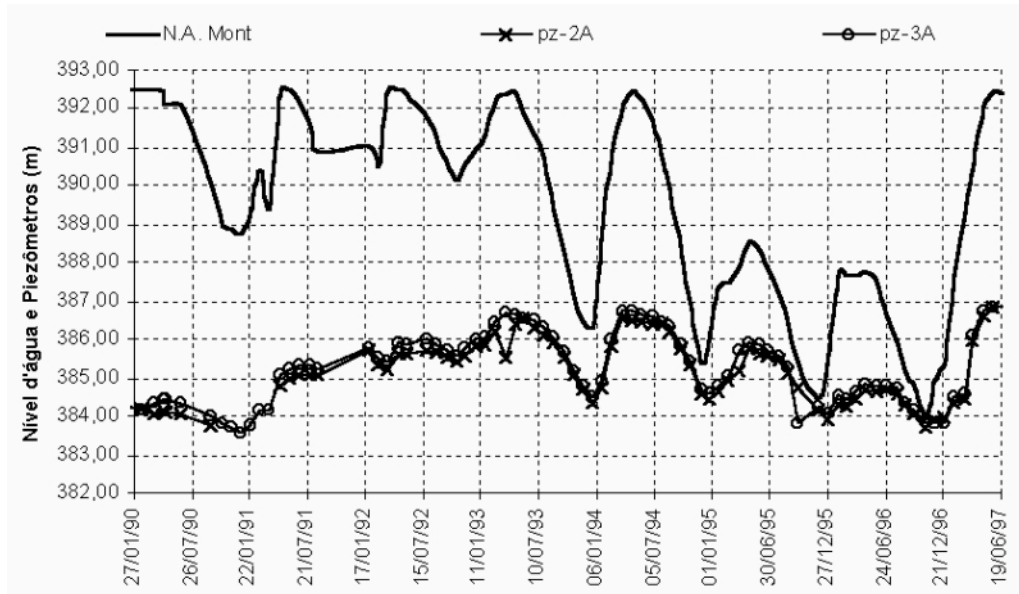


FIGURA 3 – Evolução leituras dos Piezômetros PZ-2A e PZ-3A no período 90/97.

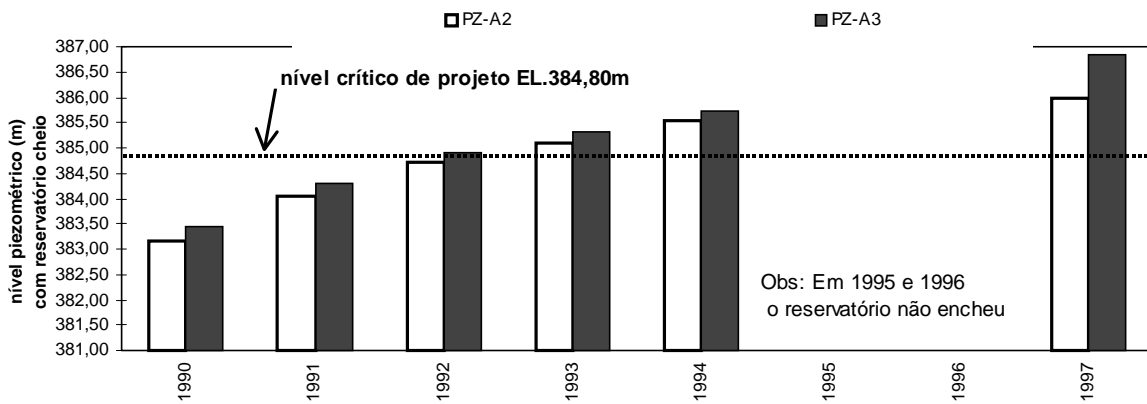


FIGURA 4 – Piezômetros PZ-2A e PZ-3A no período 90/97 com reservatório cheio.

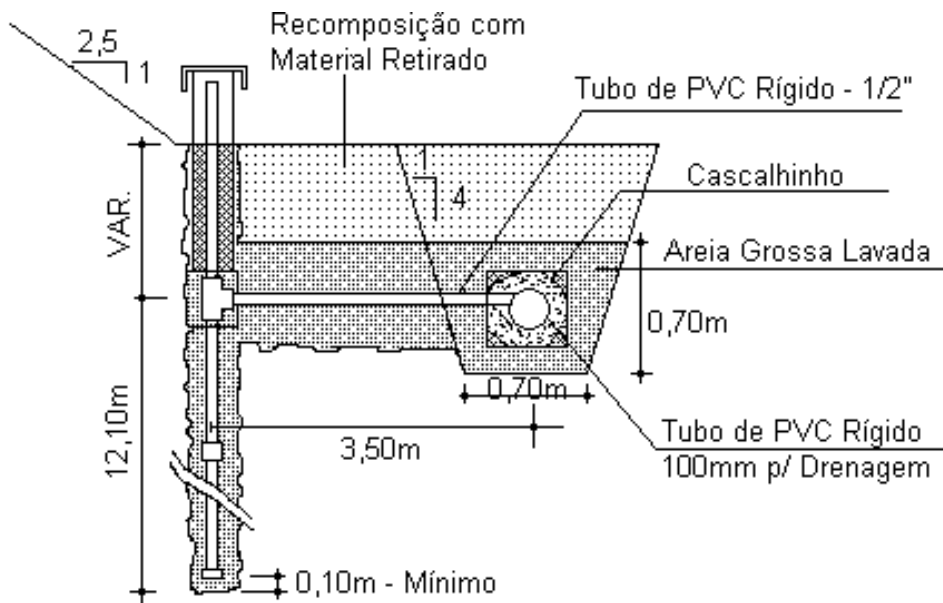


FIGURA 5 – Seção típica dos poços de alívio e canaleta de drenagem .

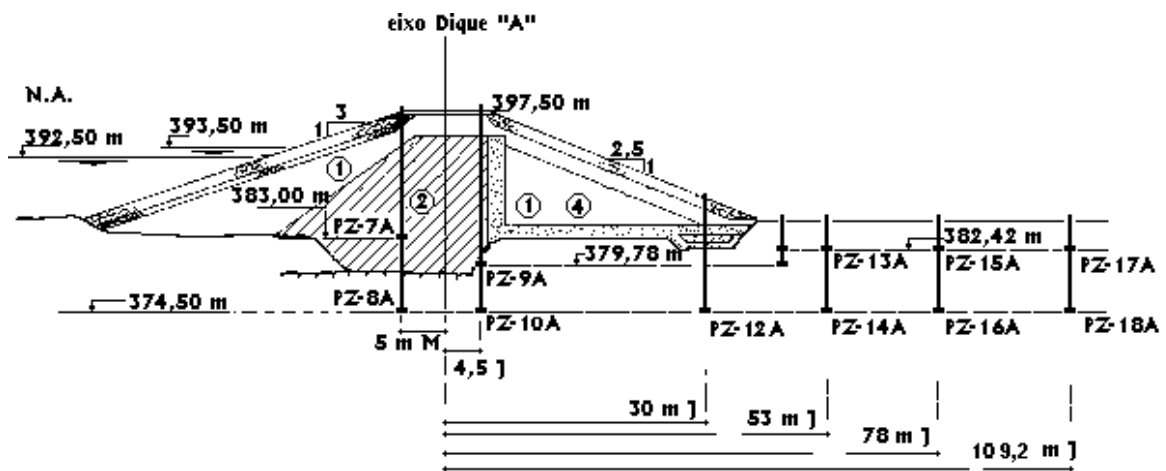


FIGURA 6 – Piezômetros da seção 151 + 28,00 m.

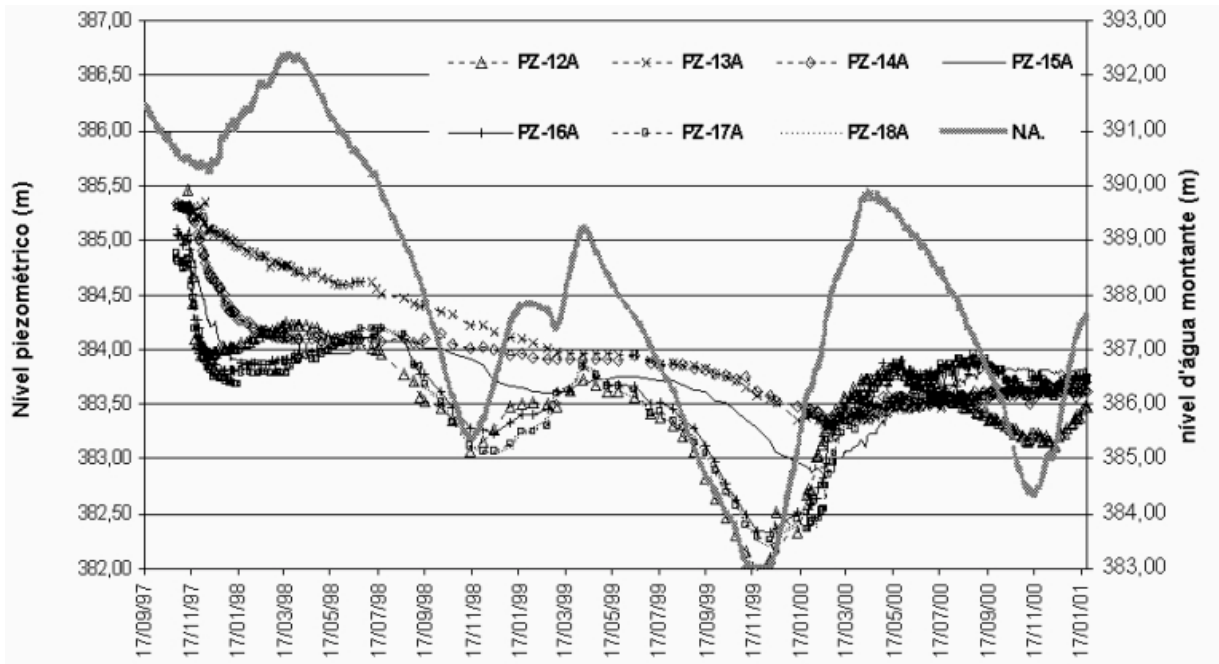


FIGURA 7 – Piezômetros de fundação da seção 151 + 28,00 m.

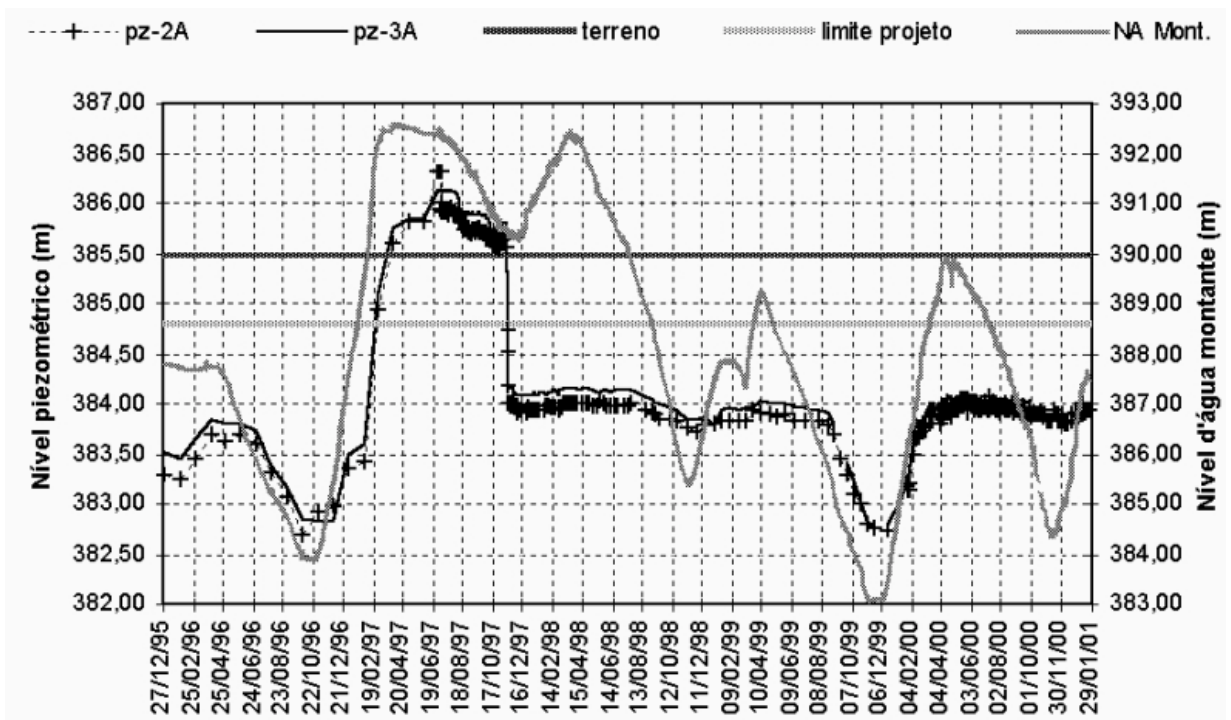


FIGURA 8 – Influência dos poços nos piezômetros PZ-2A e PZ-3A 151 + 28,00 m.