

RAVY DELATORRE COSTA

**MELHORIAS NO MONITORAMENTO ESTRUTURAL DA
BARRAGEM AUXILIAR DE PIUMHI**

Artigo Científico apresentado ao Curso de Especialização em Segurança de Barragens para Usos Múltiplos; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental; Escola Politécnica; Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista.

Orientador: Prof. MSc. Luís Edmundo Campos

Salvador
2024

Melhorias no Monitoramento Estrutural da Barragem Auxiliar de Piumhi

Ravy Delatorre Costa

Resumo

Neste artigo é apresentado uma forma de se melhorar o monitoramento estrutural de um barramento de água, quando, devido à idade, a instrumentação de auscultação de percolação (piezômetros e medidores de nível d'água) apresenta baixos níveis operacionais, ou mesmo se encontra com instrumentos danificados. Neste contexto é apresentado a forma de como foram recuperados os piezômetros e medidores de nível d'água que se encontravam danificados ou com baixo índice operacionalidade da Barragem Auxiliar de Piumhi, uma estrutura que faz parte da UHE Furnas. É apresentado os índices operacionais da instrumentação antiga, a qual optou-se pela recuperação com a instalação de novos instrumentos e com as mesmas características de instalação dos originais. É apresentado também os índices operacionais da nova instrumentação instalada, bem como um comparativo entre estes índices dos novos instrumentos com os antigos, onde se evidencia a melhora na qualidade do monitoramento estrutural da estrutura, evidenciando assim que a metodologia adotada para a instalação de novos instrumentos é adequada para o tipo de barramento em questão.

Palavras-chave: Instrumentação, Auscultação, Reinstalação, Piezômetros, Medidores de nível d'água

Abstract

This article presents a way to improve the structural monitoring of a water dam, when, due to age, the percolation instrumentation (piezometers and water level meters) presents low operational levels, or even finds itself with damaged instruments. In this context, it is presented how the piezometers and water level meters that were damaged or had a low operational level were recovered from the Piumhi Auxiliary Dam, a structure that is part of the Furnas HPP. The operational indices of the old instrumentation are presented, which were recovered with the installation of new instruments and with the same installation characteristics as the originals. The operational indices of the new installed instrumentation are also presented, as well as a comparison between these indices of the new instruments with the old ones, which highlights the improvement in the quality of the structural monitoring of the structure, thus showing that the methodology adopted for the installation of new instruments is suitable for the type of bus in question.

Keywords: Instrumentation, Auscultation, Reinstallation, Piezometers, Water level meters

1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste artigo é apresentar a melhoria do monitoramento da instrumentação de auscultação da Barragem Auxiliar de Piumhi, uma estrutura pertencente à UHE Furnas, por meio da instalação de novos instrumentos em substituição aos instrumentos antigos que estavam com suas operacionalidades comprometidas.

Foram instalados o total de vinte novos instrumentos, sendo nove medidores de nível d'água e onze piezômetros de tubo aberto. Estes instrumentos foram instalados dentro de um raio de um metro do instrumento original, de modo a garantir o monitoramento conforme as premissas originais de projeto.

Também é apresentado a classificação operacional dos instrumentos antigos pelo critério de Furnas, comparando-se com a classificação operacional dos novos instrumentos, de forma a indicar a melhoria da qualidade do monitoramento das subpressões atuantes na estrutura do barramento.

Por fim, espera-se que este trabalho apresente os resultados da recuperação de piezômetros e medidores de nível d'água que estejam danificados ou que tenham baixa responsividade através da metodologia de reinstalação adotada.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Silveira (2006) piezômetros e medidores de nível d'água apresentam perda de operacionalidade com o envelhecimento, que pode ser causada por colmatção dos orifícios dos seus bulbos ou do material filtrante com o passar do tempo.

Essa perda de operacionalidade também pode ser causada por obstrução parcial ou total do tubo de leitura do instrumento, conforme citado por Castro et al (2023).

Pieasentin (2005) sugere que deve existir um programa de verificação quanto ao bom funcionamento da instrumentação, com avaliações periódicas.

Hvorslev (1951) estipulou uma metodologia de determinação do *Basic Time Lag* em piezômetros, a qual foi adaptada por Furnas (2020) para execução dos ensaios de recuperação, buscando assim avaliar o funcionamento de piezômetros e medidores de nível d'água das usinas operadas pela Eletrobras Furnas.

Quando um piezômetro é instalado, a pressão hidrostática registrada por este raramente iguala a verdadeira pressão hidrostática vizinha. A água deve fluir para dentro ou fora do tubo até que sua carga iguale aquela do solo circunvizinho (Pereira et al, 2019).

A variação de leituras em um piezômetro e seu tempo de resposta dependem do material em que ele se encontra. Em solos mais permeáveis, tem-se um tempo de recuperação – ou de resposta - mais rápido do que em solos menos permeáveis. Esse período de recuperação que o instrumento leva para encher novamente o tubo após seu esvaziamento, ou esvaziá-lo após o seu enchimento, é conhecido como *time lag* (Pereira et al, 2019).

Pereira et al (2019) nos traz que para o ensaio de *Basic Time Lag* ser realizado, é necessário que os dados sejam aferidos com cuidado e checados os resultados com precisão. Isto se deve ao fato de que estes ensaios podem ser comprometidos por:

- Vazamento ao longo do tubo;
- Obstrução devido à colmatação do material regular;
- Aprisionamento de ar no solo ou água; e
- Abertura de fissuras pela excessiva carga no ensaio.

A Eletrobras Furnas executa testes de operacionalidade nos piezômetros e medidores de nível d'água com periodicidade decenal, buscando identificar instrumentos que apresentam baixo índice de operacionalidade, para desta forma elaborar um plano de recuperação destes instrumentos.

Para o plano de recuperação dos piezômetros e medidores de nível d'água da barragem em questão, optou-se por reinstalar os instrumentos em novos furos de sondagem, seguindo as características de instalação dos instrumentos originais (profundidade), de modo a manter os critérios de monitoramento originais da estrutura.

2.2 METODOLOGIA

Com os rompimentos ocorridos com as barragens de Mariana e Brumadinho todas as estruturas de barramento de água e rejeito ficaram em evidência perante a sociedade, e consequentemente a segurança destas estruturas passaram a ser questionadas, causando reformas políticas, legais e sociais em relação a qualquer estrutura de barramento, seja para retenção de água ou de rejeitos. Nesse contexto foi feita a Lei Nº 14.066/2020 que altera e substitui a Lei Nº 12.334/2010 a qual estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens.

Como resposta à sociedade ocorreram fiscalizações em todas as barragens de mineração e de geração de energia no país, e por consequência destas fiscalizações diversas ações de melhoria na qualidade do monitoramento de segurança de barragens foram implementadas, seja por atuação do órgão fiscalizador ou por recomendações constantes nos relatórios de inspeções destas estruturas.

Para se monitorar a estabilidade de uma barragem, deve-se ter um bom sistema de instrumentação de auscultação instalado, de forma que se possa acompanhar o comportamento do barramento ao longo de sua vida útil. Entretanto observa-se que muitos dos instrumentos instalados durante a construção de uma barragem possuem vida útil menor do que a do próprio barramento, causando assim, uma piora da qualidade do monitoramento do comportamento conforme o envelhecimento da estrutura e por consequência da sua instrumentação de auscultação.

Com o envelhecimento das barragens, também ocorre o mesmo na instrumentação, necessitando procedimento de manutenção ou até mesmo substituição. Os instrumentos de monitoramento da percolação de água pela estrutura, geralmente piezômetros e medidores de nível d'água, também passam por este envelhecimento, reduzindo suas capacidades de representar o comportamento real de uma barragem em relação às subpressões e níveis freáticos atuantes.

O bom funcionamento da instrumentação é importante já que é a partir dos dados obtidos com as leituras dos piezômetros e medidores de nível d'água que se verifica se a barragem está suportando adequadamente os esforços que a percolação de água pelo maciço causa, e que caso estes esforços estejam em níveis acima do previsto em projetos ou em estudos

de estabilidade podem causar danos irreparáveis no barramento, como erosão interna (*piping*) os quais podem até mesmo provocar a sua ruína.

A seguir é apresentado a metodologia usada nos piezômetros e medidores de nível d'água da Barragem Auxiliar de Piumhi para verificar seus níveis operacionais, bem como o processo usado para a instalação dos novos instrumentos em substituição aos antigos.

2.2.1 Método Furnas de classificação da operacionalidade de piezômetros e medidores de nível d'água.

Furnas (2020) traz em sua Instrução de Trabalho IT.AS.001 uma metodologia de realização de testes de operacionalidades em piezômetros de tubo aberto e medidores de nível d'água na qual basicamente consiste na determinação no tempo em que o nível d'água em um instrumento de tubo aberto (piezômetros ou medidor de nível d'água) retorna à uma carga correspondente à 90% da leitura inicial do instrumento após o acréscimo ou decréscimo de carga hidráulica no tubo de leitura do instrumento ensaiado.

Assim, Furnas (2020) classifica o instrumento de acordo com este tempo de resposta para o retorno à 90% da carga hidráulica inicial. A Tabela 2.1 apresenta esta classificação.

Tabela 2.1. Classificação do instrumento (Furnas, 2020)

Tempo de resposta para 90% de recuperação	Classificação
De 0,00 minuto a 1,00 minuto	Instantâneo
De 1,01 minuto a 600 minutos (10 horas)	Rápido
De 600 minutos a 10080 minutos (uma semana)	Lento
Acima de 10080 minutos (uma semana)	Extremamente lento

2.2.2 Perfuração e reinstalação dos piezômetros e medidores de nível d'água

A atividade de instalação dos novos instrumentos iniciou-se em abril de 2023, com duração de 6 meses para sua conclusão. Para a instalação desses novos instrumentos foram adotados os seguintes critérios e procedimentos, conforme apresentado por Castro et al (2023).

- Mobilização de sondas rotativas e de tripés para sondagens SPT, empregados na execução dos furos para instalação dos piezômetros e medidores de NA. Furnas especificou que esses furos deveriam ser executados com lentidão, empregando

mínima injeção de água, com a menor pressão possível, para não causar rupturas hidráulicas, e prevendo-se o revestimento dos furos durante o processo de perfuração, para os instrumentos a serem instalados no aterro e ombreiras da barragem, e com perfuração a seco nas elevações próximas aos filtros vertical e horizontal da barragem. Os furos em solo foram realizados com sondagem SPT e em rocha com sondagem rotativa (SR), com recuperação de testemunhos e amostras dos furos de sondagem, para descrição dos perfis geológico-geotécnicos encontrados, e a realização de ensaios de perda d'água (EPA), quando necessário, para dirimir dúvidas quanto ao ponto de instalação dos piezômetros. A execução dos furos de sondagem e ensaios de perda d'água seguem as metodologias descritas na NBR-6484/2020 e nos Boletins nº 03 e 04 da ABGE;

- Os novos piezômetros e medidores de NA foram instalados em um raio de um metro distantes dos instrumentos a serem substituídos, desde que não ocorressem restrições físicas. Estes novos instrumentos receberam nova identificação, diferente da identificação original;
- Os furos executados com sondagem rotativa possuem diâmetro de 3" (Diâmetro NW);
- Os bulbos dos piezômetros de tubo aberto e tubos perfurados dos medidores de NA foram confeccionados em tubos de PVC rosqueável, com diâmetro de 1", perfurados com furos de 6,0 mm, distribuídos a cada 2,5 cm em 8 linhas diametralmente opostas, sendo posteriormente revestidos com tela tipo mosqueteiro;
- As composições de tubos de leitura foram fornecidas em segmentos de 6 m cada, sendo emendadas entre si por luvas, no momento da instalação dos instrumentos;
- A instalação dos instrumentos foi executada imediatamente após a finalização de cada furo, inserindo-se a composição dos bulbos e tubos de leitura em seu interior, emendando-os com luvas. No caso dos piezômetros, o primeiro segmento a ser inserido nos furos é o bulbo;
- Após a descida da composição bulbo+tubos de leitura, inseriu-se areia grossa lavada no interior os furos para execução dos filtros dos piezômetros e medidores

de nível d'água. Os trechos dos filtros arenosos dos bulbos dos piezômetros possuem uma extensão de 1,0 m;

- Para os piezômetros, acima do filtro de areia executou-se um selo impermeável constituído de cimento, bentonita e solo coesivo limpo e peneirado, traço 1:1:8. Acima desse trecho, preencheu-se o resto do furo com solo-cimento até o nível do terreno;
- Para os medidores de nível d'água, o filtro de areia se estendeu ao longo de toda a extensão do furo, sem confecção do selo impermeável;
- Os tubos de leitura prolongam-se 1,10 m acima do nível do terreno, e recebem proteção metálica dotada de tampa, concêntrica aos mesmos, e bases de proteção de formato prismático, confeccionadas em concreto. A Eletrobras Furnas adota o referido prolongamento nos terminais de leitura de medidores de nível d'água e piezômetros somente em locais livres do trânsito de veículos e equipamentos, de modo que os terminais dos citados instrumentos não estejam suscetíveis a ocorrência de choques e possíveis abalroamentos que poderiam comprometer o seu selo superior. Destaca-se ainda, que esse terminal de leitura prolongado favorece à execução das leituras no que tange a questões ergonômicas e também evita erros de paralaxe devido ao posicionamento do leiturista durante a operação de leitura.

2.3 OBJETIVOS

Na Barragem Auxiliar de Piumhi, existem trinta e quatro piezômetros e vinte um medidores de nível d'água como instrumentação de monitoramento das subpressões e percolação da estrutura.

Estes instrumentos foram submetidos a ensaios de recuperação nos anos de 2015 e 2019, onde foi verificado que onze piezômetros e nove medidores de nível d'água estavam com baixo índice de recuperação, danificados ou obstruídos.

A Tabela 2.2 apresenta a os tempos de recuperação e a classificação destes instrumentos em função do tempo de recuperação pelo método de Furnas (2020) de realização de ensaios de tempo de recuperação de piezômetros de tubo aberto e medidores de nível d'água.

Tabela 2.2– Tempos de Recuperação e Classificação dos instrumentos.

Tipo de Instrumento	Identificação do Instrumento	Status Operacional	Tempo de Recuperação de 90% da carga hidráulica	Classificação
Piezômetros	PIUBA22SPC002	Operante	81% de equalização em 24 dias	Extremamente lento
	PIUBA22SPC005	Obstruído	-	-
	PIUBA22SPC007	Obstruído	-	-
	PIUBA22SPC009	Operante	30125 minutos	Extremamente lento
	PIUBA22SPC010	Operante	58% de equalização em 22 dias	Extremamente lento
	PIUBA22SPC011	Obstruído	-	-
	PIUBA22SPC012	Operante	70% de equalização em 21 dias	Extremamente lento
	PIUBA22SPC014	Obstruído	-	-
	PIUBA22SPC023	Operante	1456 minutos	Lento
	PIUBA22SPC026	Danificado	-	-
	PIUBA22SPC030	Operante	1153 minutos	Lento
Medidores de Nível d'água	PIUBA22SPN002	Operante	5728 minutos	Lento
	PIUBA22SPN003	Operante	74% de equalização em 7 dias	Extremamente lento
	PIUBA22SPN006	Operante	7708 minutos	Lento
	PIUBA22SPN008	Operante	33% de equalização em 8 dias	Extremamente lento
	PIUBA22SPN010	Operante	915 minutos	Lento
	PIUBA22SPN012	Operante	3960 minutos	Lento
	PIUBA22SPN014	Operante	1038 minutos	Lento
	PIUBA22SPN017	Obstruído	-	-
	PIUBA22SPN001	Operante	71% de equalização em 6 dias	Extremamente lento

Foi feita a lavagem do interior destes instrumentos, inserindo uma mangueira de diâmetro menor que o tubo do instrumento, com a ponta chanfrada, e fazendo a circulação de água de baixo para cima como tentativa de melhorar as operacionalidades dos mesmos, mas sem eficácia.

Assim optou-se em reinstalar estes instrumentos. Os novos instrumentos foram instalados próximo aos originais, dentro de um raio máximo de um metro, mas receberam novas

identificações. Também optou-se por manter os terminais dos instrumentos originais, permanecendo ao final, o novo instrumento ao lado do antigo.

2.4 . RESULTADOS

Após a instalação dos novos instrumentos, aguardou-se o tempo de cura dos selos dos piezômetros, para a realização dos ensaios de recuperação. Adotou-se o tempo de cura de no mínimo 14 dias para então realizar novamente os ensaios de recuperação.

A Tabela 2.3 apresenta os tempos de recuperação, bem como a classificação dos novos instrumentos instalados.

Tabela 2.3 – Tempos de Recuperação e Classificação dos novos instrumentos.

Tipo de Instrumento	Identificação do Instrumento	Status Operacional	Tempo de Recuperação de 90% da carga hidráulica	Classificação
Piezômetros	PIUBA22SPC035	Operante	351,51 minutos	Rápido
	PIUBA22SPC036	Operante	12,87 minutos	Rápido
	PIUBA22SPC037	Operante	4,89 minutos	Rápido
	PIUBA22SPC038	Operante	334,00 minutos	Rápido
	PIUBA22SPC039	Operante	1,99 minutos	Rápido
	PIUBA22SPC040	Operante	1,69 minutos	Rápido
	PIUBA22SPC041	Operante	6,62 minutos	Rápido
	PIUBA22SPC042	Obstruído	3,66 minutos	Rápido
	PIUBA22SPC043	Operante	1,73 minutos	Rápido
	PIUBA22SPC044	Operante	1,27 minutos	Rápido
	PIUBA22SPC045	Operante	0,49 minutos	Instantâneo
Medidores de Nível d'água	PIUBA22SPN025	Operante	1203,74 minutos	Lento
	PIUBA22SPN026	Operante	154,70 minutos	Rápido
	PIUBA22SPN027	Operante	230,00 minutos	Rápido
	PIUBA22SPN028	Operante	1318,49 minutos	Lento
	PIUBA22SPN029	Operante	256,32 minutos	Rápido
	PIUBA22SPN030	Operante	144,75 minutos	Rápido
	PIUBA22SPN031	Operante	13,94 minutos	Rápido
	PIUBA22SPN032	Operante	36,20 minutos	Rápido
	PIUBA22SPN033	Operante	78% de equalização em 13 dias	Extremamente lento

Observa-se que todos os piezômetros tiveram sua classificação como “Rápido” ou “Instantâneo”, indicando que os níveis operacionais destes instrumentos encontram-se adequados para o monitoramento das subpressões atuantes na estrutura.

Nos medidores de nível d’água tiveram dois instrumentos com a classificação de “Lento” e um com a classificação “Extremamente Lento”. Os demais tiveram a classificação “Rápido” como tempo de reposta, indicando boa operacionalidade.

O medidor de nível d’água identificado como PIUBA22SPN033, foi instalado no núcleo impermeável compacto da barragem, o que justifica a baixa responsividade obtida durante os ensaios de recuperação. Já os instrumentos PIUBA22SPN025 e PIUBA22SPN028 foram instalados em zonas de argila arenosa, em profundidades maiores que 20 metros, que causam altas tensões confinantes e podem justificar essa baixa responsividade destes instrumentos.

Na Tabela 2.4 é apresentada a correlação entre os instrumentos antigos e os novos, e entre suas classificações conforme o tempo de recuperação.

Tabela 2.4 – Correlação entre a classificação dos instrumentos novos e antigos

Tipo de Instrumento	Identificação do Instrumento antigo	Identificação do instrumento novo	Classificação do instrumento antigo	Classificação do instrumento novo
Piezômetros	PIUBA22SPC002	PIUBA22SPC035	Extremamente lento	Rápido
	PIUBA22SPC005	PIUBA22SPC036	Danificado/Obstruído	Rápido
	PIUBA22SPC007	PIUBA22SPC037	Danificado/Obstruído	Rápido
	PIUBA22SPC009	PIUBA22SPC038	Extremamente lento	Rápido
	PIUBA22SPC010	PIUBA22SPC039	Extremamente lento	Rápido
	PIUBA22SPC011	PIUBA22SPC040	Danificado/Obstruído	Rápido
	PIUBA22SPC012	PIUBA22SPC041	Extremamente lento	Rápido
	PIUBA22SPC014	PIUBA22SPC042	Danificado/Obstruído	Rápido
	PIUBA22SPC023	PIUBA22SPC043	Lento	Rápido
	PIUBA22SPC026	PIUBA22SPC044	Danificado/Obstruído	Rápido
	PIUBA22SPC030	PIUBA22SPC045	Lento	Instantâneo
Medidores de Nível d’água	PIUBA22SPN002	PIUBA22SPN025	Lento	Lento
	PIUBA22SPN003	PIUBA22SPN026	Extremamente lento	Rápido
	PIUBA22SPN006	PIUBA22SPN027	Lento	Rápido
	PIUBA22SPN008	PIUBA22SPN028	Extremamente lento	Lento

Tabela 2.4 – Correlação entre a classificação dos instrumentos novos e antigos

Tipo de Instrumento	Identificação do Instrumento antigo	Identificação do instrumento novo	Classificação do instrumento antigo	Classificação do instrumento novo
	PIUBA22SPN010	PIUBA22SPN029	Lento	Rápido
	PIUBA22SPN012	PIUBA22SPN030	Lento	Rápido
	PIUBA22SPN014	PIUBA22SPN031	Lento	Rápido
	PIUBA22SPN017	PIUBA22SPN032	Danificado/Obstruído	Rápido
	PIUBA22SPN001	PIUBA22SPN033	Extremamente lento	Extremamente lento

Ao comparar as classificações dos instrumentos fica clara a melhora na qualidade do monitoramento da Barragem Auxiliar de Piumhi.

Dentre os piezômetros onde os instrumentos tinham classificação de “Lento”, “Extremamente Lento”, ou ainda estavam obstruídos, todos passaram para a classificação “Rápido” ou “Instantâneo”.

Dentre os nove medidores de nível d’água, seis deles tiveram a classificação “Rápido” para o tempo de resposta, onde anteriormente eram “Lentos”, “Extremamente Lento” ou ainda estava obstruído, indicando uma melhora operacional. No caso do novo medidor de nível d’água PIUBA22SPN025, quando se compara a classificação com o seu antecessor (PIUBA22SPN002), nota-se que a classificação continuou como sendo lenta, porém ao observar-se os tempos de respostas (Tabelas 2.2 e 2.3) nota-se que houve uma redução no tempo de reposta de 5728 minutos para 1203 minutos. Da mesma forma, comparando-se os tempos de respostas entre os medidores de nível d’água PIUBA22SPN028 e PIUBA22SPN008, nota-se a mudança de classificação de “Extremamente Lento” para “Lento”, sendo que o instrumento antigo atingiu apenas 33% de equalização em 8 dias e o novo equalizou com 1318 minutos.

Por fim, comparando-se os medidores de nível d’água PIUBA22SPN001 e PIUBA22SPN033, nota-se que praticamente não houve melhora operacional, provavelmente pelo fato de ambos estarem instalados no núcleo impermeável compacto da barragem.

2.5 . FOTOS DOS SERVIÇOS

As Figuras de 1 a 10 seguir apresentam as fotos com as etapas de realização dos serviços de instalação dos novos instrumentos



Figura 1 – Talude de Jusante da Barragem



Figura 2 – Perfuração a trado/SPT no talude de jusante



Figura 3 – Perfuração com sondagem rotativa.



Figura 4 – Montagem do bulbo do piezômetro para inserção no furo.



Figura 5 – Inserção do bulbo do instrumento no furo de sondagem.



Figura 6 – Mistura da calda de solo/cimento/bentonita para confecção do selo impermeável.



Figura 7 – Aplicação do selo de solo/cimento/bentonita.



Figura 8 – Aplicação do selo de solo/cimento/bentonita.



Figura 9 – Terminal do novo instrumento finalizado (sem pintura) ao lado do instrumento antigo.



Figura 10 – Novo instrumento instalado e com pintura nova ao lado do instrumento antigo.

As Figura 11 e 12 a seguir apresentam um croqui de referência de instalação de um piezômetro e de um medidor de nível d'água respectivamente.

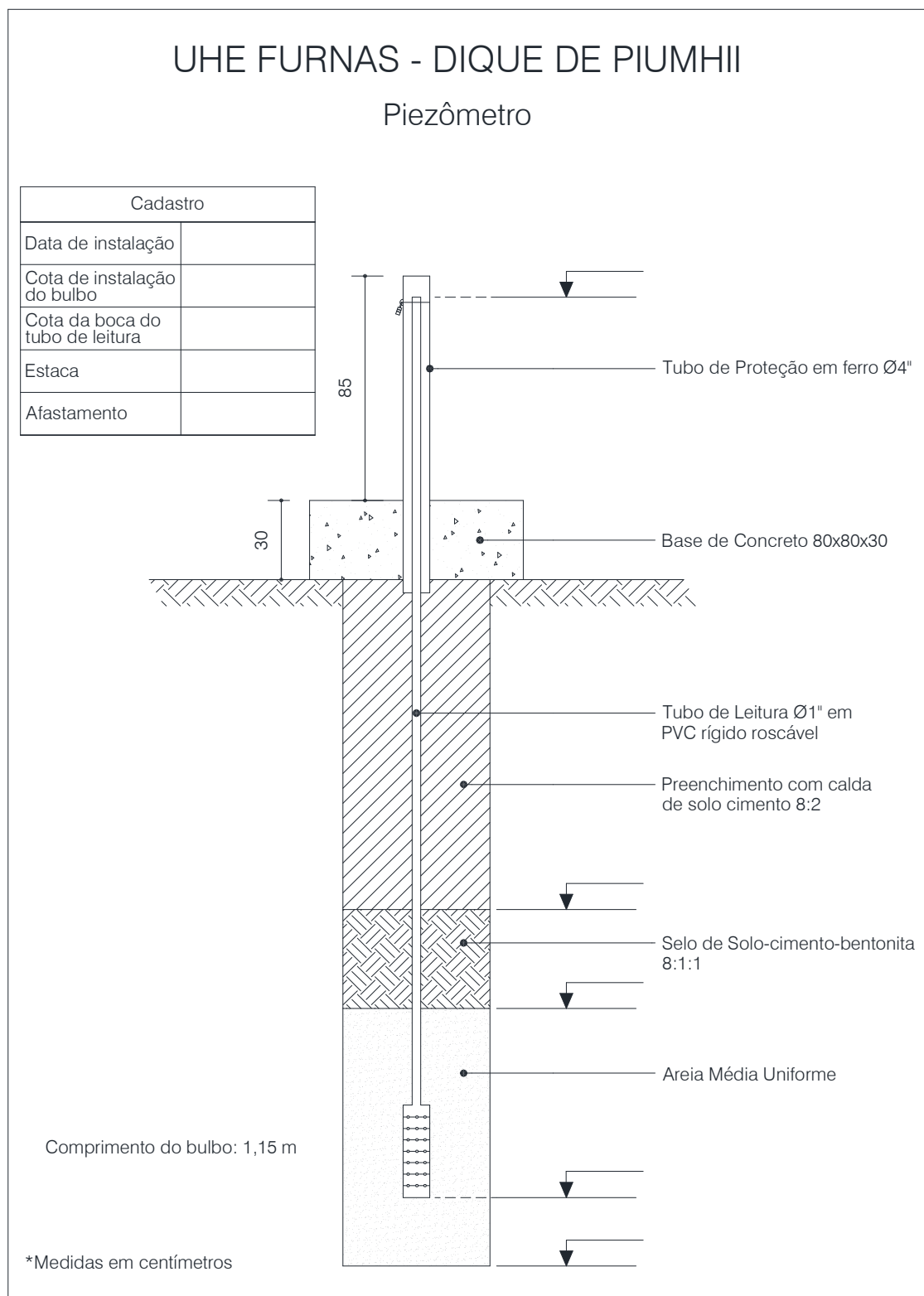


Figura 11 – Croqui de instalação de um Piezômetro.

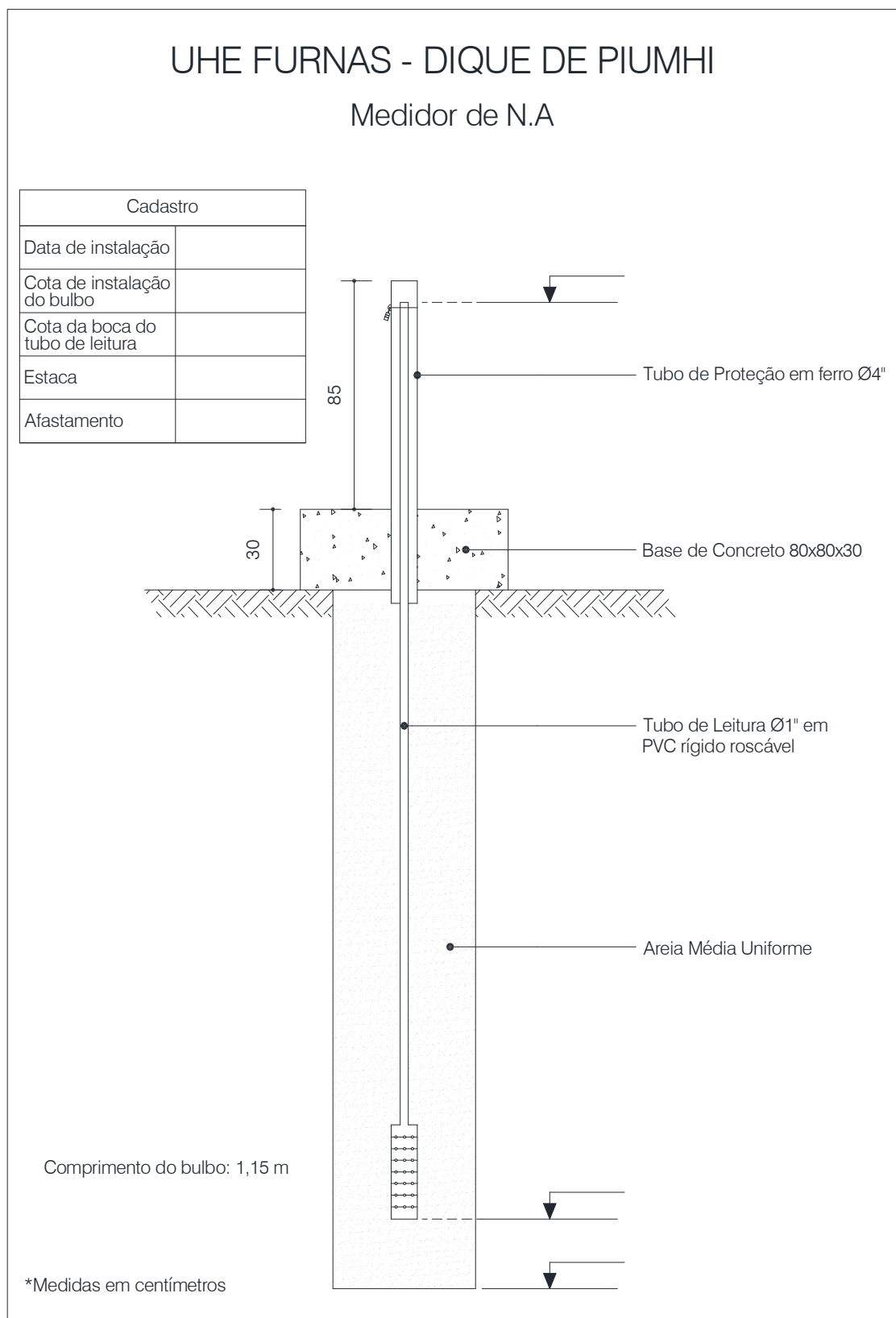


Figura 12 – Croqui de instalação de um Medidor de Nível d'Água.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo fica evidente a importância de se manter uma instrumentação de auscultação que seja capaz de apresentar dados que sejam os mais fidedignos possível do que se passa realmente com o barramento.

Assim, buscou-se com este trabalho apresentar os resultados da recuperação de piezômetros e medidores de nível d'água da Barragem Auxiliar de Piumhi, os quais já apresentavam danificados ou com baixos níveis operacionais devido à idade ou à falta de manutenção adequada.

Assim, conclui-se após a recuperação da instrumentação de monitoramento das subpressões da Barragem Auxiliar de Piumhi que o procedimento de instalação de novos instrumentos em substituição aos antigos é uma forma eficaz de se recuperar a qualidade do monitoramento estrutural de uma barragem no que se refere a esforços de poropressão.

A metodologia de recuperação de piezômetros e medidores de nível d'água apresentada por Castro et al (2022), a qual foi seguida para todo o trabalho de perfuração e instalação dos novos instrumentos na Barragem Auxiliar de Piumhi se apresentou eficaz para a recuperação destes instrumentos de auscultação.

Esta eficácia é evidenciada quando se observa a tabela comparativa de tempos de repostas dos instrumentos antigos com os novos instalados (Tabela 2.4), onde notou-se uma melhora na classificação de quase todos os instrumentos, e comparando-se as Tabelas 2.2 e 2.3, nota-se a diminuição do tempo de resposta de todos os instrumentos, exceto o medidor de nível d'água PIUBA22SPN033. Ressalta-se que alguns instrumentos antigos estavam obstruídos ou danificados, e não apresentavam classificação pelo tempo de resposta.

Verificou-se também que o instrumento PIUBA22SPN033 não apresentou melhora operacional, provavelmente devido ao seu local de instalação, que foi no núcleo impermeável da barragem. Assim entende-se que a baixa responsividade em instrumentos instalados no núcleo impermeável é esperada, não sendo recomendável a instalação de novos instrumentos em núcleo impermeável de barragens.

Notou-se também, que em alguns medidores de nível d'água a classificação em função do tempo de resposta não mudou, permanecendo ainda como “Lento”. É necessário olhar para os tempos de resposta para observar a melhora operacional destes instrumentos. O medidor de nível d'água PIUBA22SPN025 teve uma redução de 79% no seu tempo de resposta quando comparado com seu antecessor (PIUBA22SPN002). Já comparando o medidor de nível d'água PIUBA22SPN028 e seu antecessor (PIUBA22SPN008) houve uma melhora ainda maior, de um instrumento que recuperou apenas 33% em 8 dias para um instrumento que recuperou 90% em 1318 minutos.

Espera-se este artigo possa contribuir para a segurança de barragens evidenciando que a instalação de novos piezômetros e medidores de nível d'água é uma forma adequada de recuperação da instrumentação de auscultação de uma barragem, e que a metodologia apresentada por Castro et al (2022) é adequada para se executar esta recuperação.

4 REFERÊNCIAS

SILVEIRA, J. F. A. (2006) – **“Instrumentação e segurança de barragens de terra e enrocamento”**, São Paulo, SP, Brasil.

CASTRO, M. D., COSTA, R. D., RUIS, C. R. (2023) – **“Recuperação da Instrumentação de Auscultação da Barragem Auxiliar de Piumhi.”** Anais do XXXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens – SNGB, p.1 – 14, Foz do Iguaçu – PR, Brasil.

PIASENTIN, C. (2005) – **“Um índice para avaliação do nível de auscultação de barragens”**, anais do XXVI Seminário Nacional de Grandes Barragens – SNGB, p.1- 12, Goiânia, GO, Brasil.

PEREIRA, L. F., RIBEIRO, D. R., FERNANDES, T. C., ANDREETTA, A. B. (2019) – **“Cálculo basic time lag (btl) para determinação do coeficiente de permeabilidade de solos.”** Anais do XXXII Seminário Nacional de Grandes Barragens – SNGB, p.1 – 11, Salvador – BA, Brasil.

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS (2020) – **“Ensaaios de Equalização e tempo de estabilização em piezômetros de tubo aberto, tubo fechado e medidores de nível d’água – IT.AS.001”**, Aparecida de Goiânia, GO, Brasil.

HVORSLEV, M. J. (1951) – **“Time lag and soil permeability in groundwater observation”**, Vicksburg, Mississippi, USA.