

Análise da Instrumentação de uma Barragem de Terra Antes e Após a Recuperação dos Piezômetros Tipo Tubo Aberto ou Standpipe

Adriana Verchai de Lima Lobo
SANEPAR, UFPR, Curitiba, Brasil, verchai.adriana@gmail.com

Luiz Gustavo Fortes Westin
NEOENERGIA, Rio de Janeiro, Brasil, lwestin@neoenergia.com

RESUMO: Neste artigo apresentamos um estudo que avaliou a instrumentação piezométrica reinstalada e comparou os resultados antes e depois da reinstalação, fazendo análise das leituras e suas variações ao longo do tempo. Como resultado dessa análise e verificação em campo das condições dos instrumentos reinstalados, foram apresentadas as principais anomalias encontradas no processo de reinstalação piezométrica da barragem Passaúna e feitas recomendações para minimizar tais variações em futuros projetos de reinstalação piezométrica de barragens de terra tornando mais eficaz as ações de auscultação de barragens

PALAVRAS-CHAVE: Segurança de barragem, Piezômetros, instrumentação, recuperação da instrumentação, barragem de terra, instrumentação geotécnica.

1 INTRODUÇÃO

A instrumentação de barragem é de grande importância para a sociedade, uma vez que a sua aplicabilidade está na potencialização da segurança da vida da comunidade a jusante, a qual pode alertar antecipadamente problemas na barragem reduzindo danos potenciais associados por identificar antecipadamente não conformidades com risco de levar a estrutura ao seu colapso evitando, assim, seu rompimento. O rompimento de uma barragem traz consequências graves para o meio ambiente e ações emergenciais bem estruturadas podem minimizar os danos causados por sinistros na barragem, a exemplo do acidente ocorrido em Minas Gerais em 2015 com o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão.

Buscando contribuir com a Política Nacional de Segurança de Barragens, instituída pela Lei Federal nº 12.334/2010, entende-se que a excelência nos procedimentos de

instrumentação é essencial no acompanhamento do ciclo de vida de uma barragem, desta forma, o presente artigo terá importante relevância em divulgar as melhores práticas na condução dos serviços de reinstalação de piezômetros em barragem de terra em operação. O estudo de caso do presente artigo foi realizado com foco na barragem Passaúna situada na região Sul do Brasil, onde foram instalados instrumentos de medição cujos procedimentos de instalação e dados de leitura serão aqui debatidos. Esta barragem teve seu projeto desenvolvido na década de 70, mas a sua construção se deu na década de 80. No ano de 2013 contava com 56% da instrumentação instalada inoperante. Em 2014, ocorreu a reinstalação dos piezômetros desta barragem em posições aproximadas àquelas previstas no projeto e na construção. Assim, o presente estudo objetiva demonstrar se a nova instrumentação seguiu o mesmo padrão das leituras piezométricas quando comparadas com seu comportamento

anterior e identificar origens de possíveis variações diagnosticadas. Então, buscou-se identificar algumas recomendações pertinentes que minimizem as principais consequências de erros comuns registrados em processos de reinstalação de instrumentos similares aos adotados nesta barragem. Neste estudo foi feito: um comparativo entre leituras da instrumentação antiga com os novos piezômetros reinstalados; verificando quais instrumentos variaram, com base nas informações obtidas nas inspeções e análise dos documentos de projeto; recuperação do histórico das leituras e documentos relacionados com a construção da barragem. Para a avaliação das leituras dos dados piezométricos, foram analisadas as séries históricas da instrumentação piezométrica instalada na barragem Passaúna, análises das leituras da instrumentação instalada na fase de construção em comparação com os resultados obtidos na reinstalação dos piezômetros, utilizando-se planilhas e gráficos fornecidos pela Companhia de Saneamento do Paraná, empresa que opera a barragem para abastecimento da cidade de Curitiba e Região Metropolitana, no Estado do Paraná, empresa responsável também pela atividade de reinstalação dos piezômetros.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

A maior parte dos proprietários de barragens possui planos de monitoramento que incluem inspeções visuais periódicas das estruturas civis e acompanhamento da instrumentação das barragens por eles operadas e mantidas. Em geral, a leitura da instrumentação é feita periodicamente, mas há fragilidade generalizada em termos das análises dos dados coletados. Para que a instrumentação assuma papel importante na manutenção da segurança, é imprescindível não apenas que todos os instrumentos estejam funcionando bem e que a informação adequada seja coletada e documentada, mas, acima de tudo, que seja analisada em tempo hábil (Fusaro, 2007). Uma vez que projeto e construção adequados são fundamentais, mas não suficientes para garantir a continuidade da operação segura das

barragens, deve ser estabelecido processo de acompanhamento e avaliação permanentes do desempenho destas estruturas. Este processo é usualmente denominado de auscultação de barragens, e engloba as atividades de observação, detecção e caracterização de eventuais deteriorações que possam aumentar o potencial de risco de uma estrutura (Fonseca, 2003).

3 INSPEÇÕES E MONITORAMENTO

A barragem Passaúna é constituída de maciço de material argiloso compactado, com perfil tipo homogêneo dotado de filtro chaminé vertical e filtro horizontal tipo sanduíche. O volume total do maciço compactado é de 1.740.000 m³, a altura máxima da barragem é 22 metros e desenvolve-se em extensão total de 1.325 metros, dividida em dois trechos pelo vertedouro: o trecho principal, do lado esquerdo com cerca de 800 m de comprimento, e o trecho secundário, do lado direito do vertedouro com cerca de 500 m de comprimento, ambos no coroamento. O talude montante é protegido com rip-rap, tipo convencional, e o de jusante, com revestimento vegetal. À jusante, a barragem dispõe de berma na cota 882,00 com 3,5 m de largura. O coroamento está situado na cota 892,00 m e possui 8 m de largura.



Figura 1. Barragem do Passaúna na época de enchimento.

O plano de instrumentação da barragem Passaúna que previu em seu projeto executivo a monitoração, através de 18 medidores de recalque, com designações de MR e PR e 76 piezômetros tipo tubo aberto ou *standpipe* com designações de PG, PM e PF, de acordo com os

desenhos de base. Não foram encontradas referências à instalação de medidores de vazão. Em julho de 2010, no resultado da campanha de leituras apresentado no Relatório Final do Diagnóstico do Comportamento e Segurança da Barragem Passaúna (SANEPAR, 2010), consta que todos os medidores de recalques da barragem Passaúna se encontram danificados ou inoperantes, e, dos 76 piezômetros tipo tubo aberto ou *standpipe* instalados apenas 33 (trinta e três) foram encontrados em condições operacionais. Assim, em julho de 2014, iniciaram-se obras de reinstalação de instrumentos da Barragem Passaúna por meio da instalação de piezômetros tipo tubo aberto ou *standpipe* e de medidores de vazão que permitam melhor acompanhar o desempenho da barragem. A recuperação dos piezômetros *standpipe* no maciço compactado foi realizada conforme projeto, através de furos de sondagem mista – à percussão e rotativa sem utilização de lamas estabilizadoras e sem lavagem. A perfuração foi realizada até 0,30 m abaixo da cota de instalação solicitada, e após o término dos furos, foram preenchidos com camada de areia grossa até a cota de instalação do piezômetro. Após este procedimento, foram introduzidos tubos de 25,4 mm (1”), com 0,80 m das suas ponteiros devidamente perfuradas e revestidas com tela filtrante, nas cotas de instalação. A partir destas cotas, os furos foram preenchidos até altura de 0,95 m com areia graduada, sendo que nos 0,20 m seguintes, foram preenchidos com lama, constituída por mistura de bentonita e argila, e o restante dos furos preenchidos com solo compactado.

As caixas de proteção superficial de todos os instrumentos de auscultação operantes foram substituídas por caixas construídas utilizando tubo de PVC – De fofo DN150mm e Tampa Plástica Passeio (TPP) de polipropileno, padrão SANEPAR, identificadas com plaqueta metálica com nomenclatura do instrumento de auscultação. Segue a Figura 2 e Figura 3 que ilustra os procedimentos de instalação.



Figura 2- Proteção nova dos instrumentos



Figura 3 - Plataforma utilizada para perfuração

As Figuras 2 e 3 mostram que devido à dificuldade de execução ao fazer furos para instalar piezômetros no maciço, houve a necessidade de construir uma plataforma para apoio da perfuratriz, isso onera o custo da instrumentação. Portanto, é recomendável que sejam instalados preferencialmente nas bermas. Seguindo este procedimento, foram reinstalados 28 instrumentos dos 43 inoperantes, sendo selados outros que não foram recuperados, em conformidade com o histórico apresentado no Relatório do monitoramento geotécnico para o diagnóstico e monitoramento do comportamento de segurança da barragem Passaúna (SANEPAR, 2015) que recomendou a reinstalação dos piezômetros desta barragem, com os resultados analisados a seguir.

4 METODOLOGIA

Inicialmente foram analisados gráficos com monitoramento das séries históricas provenientes da auscultação dos piezômetros tipo tubo aberto ou *standpipe* em que foi orientada faixa previsível para leituras para cada instrumento e definido no Relatório da Etapa

Final-8493/001(SANEPAR,2000).Estas leituras foram relacionadas, com base no Relatório do monitoramento geotécnico para o diagnóstico e monitoramento do comportamento de segurança da barragem Passaúna (SANEPAR, 2015). Todas essas leituras dos instrumentos reinstalados na barragem permitiram selecionar os instrumentos que mantiveram a acurácia dos dados, após reinstalação, e compará-los com as leituras anteriores a essa intervenção. Foram analisados 8 PF's, 12 PM's e 8 PG's, por seções e por instrumento, e todas as leituras dos instrumentos reinstalados na barragem, selecionando os instrumentos que mantiveram a acurácia dos dados após a reinstalação, com a seguinte metodologia: Foram calculadas as médias das leituras antes e após a reinstalação; calculadas as diferenças de cota de instalação entre o instrumento original e o instrumento reinstalado; somadas as diferenças das cotas de instalação à média das leituras após a reinstalação dos instrumentos, corrigindo as leituras posteriores a reinstalação; calculado também a variação entre as médias anteriores e posteriores corrigidas; por fim foi calculado o desvio padrão das leituras anteriores e foi comparado a módulo das variações entre as médias das leituras antes após a instalação. Definiu-se como critério de acurácia aquelas séries que apresentaram módulo das variações entre as leituras, antes e depois, valores inferiores ao desvio padrão calculado na antiga série histórica de leitura e para cada instrumento. Assim, verificou-se que, dos 28 piezômetros reinstalados, 7 apresentaram-se com as leituras aderentes, 11 apresentaram leituras anômalas e 10 sem leitura ou com leitura seca, dos 10 sem leituras, 7 estavam com leituras corretas (leitura seca) e 3 com leituras anômalas. Desse modo, foram avaliadas as causas prováveis de cada leitura anômala, a fim de tentar identificar as origens destes desvios e verificar quais procedimentos de instalação poderiam ser adotados para minimizar erros de leituras identificados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os piezômetros de tubo aberto avaliados e instalados na barragem de terra, para monitoramento das pressões piezométricas na

fundação, corpo do maciço compactado e na região da galeria da tomada d'água. Assim, dos 28 instrumentos reinstalados na Barragem Passaúna em 2014, foram avaliados os resultados por grupos de piezômetros de acordo com o local de instalação na barragem e identificados como: PF (piezômetros de fundação), PM (piezômetro de maciço) e PG (piezômetro de galeria). 8 PF's, 12 PM's e 8 PG's: Os 8 (oito) piezômetros de fundação reinstalados em 2014 foram: PF04A, PF-06A, PF15F-A, PF15T-A, PF33A (apresentou artesianismo), PF34A, PF35A e PF36A.

Tabela 1 – Piezômetros de Fundação reinstalados

Piezômetro	σ_{LA} [m]	ΔMI_{AP}^{**} [m]	Comparação de leituras	Recomendação/ Observação
PF04	1,1	1,87	Leitura atual correta	Leituras antigas estavam erradas por obstrução do equipamento.
PF06	0,59	0,3	Leitura correta	Diferença de cota de instalação entre instrumento antigo e novo é de 0,70 metros
PF15F	3,87	0,33	Leitura correta	Em alguns períodos os leituras confundem leitura com piezômetro seco, deve-se intensificar treinamento.
PF15T			Leitura correta	Leitura sempre seca
PF33	0,11	0,7	Leitura anômala	Altura do tubo aberto era insuficiente
PF34	0,09	0,04	Leitura correta	-
PF35	0,15	0,59	Leitura atual correta	Verificado Lama no fundo do piezômetro.
PF36	1,11	1,17	Leitura anômala	Insuficiência de comprimento de tubo e teve que ser alteado e agora leituras coerentes

* σ_{LA} [m] - Desvio Padrão das leituras anteriores [m].

** ΔMI_{AP} [m] - Módulo variações entre as médias leituras anterior e posterior.

Tabela 2 – Piezômetros de Maciço reinstalados

Piezômetro	σ_{LA} *[m]	$I\Delta MI_{AP}^{**}$ [m]	Comparação de leituras	Recomendação/ Observação
PM02	Erro do instrumento		Leitura atual correta	Anteriores anômalas/ obstrução
PM03	0,1	1,64	Leitura anômala	Leitura seca correta/ anteriores anômalas / obstrução
PM04	0,43	0,4	Leitura correta	-
PM11	Erro do instrumento		Leitura atual correta	Leitura seca e correta, anteriores anômalas / obstrução
PM12	0,9/0,2***		Não há como comparar leituras	Diferença significativa na profundidade de instalação.
PM13	Erro do instrumento		Leitura atual correta	Anteriores anômalas obstrução
PM14	Erro do instrumento		Leitura atual correta	Anteriores anômalas / obstrução
PM16	2,66	7,8	Leitura atual correta	Anteriores anômalas entupimento do instrumento
PM20	0,33	0,37	Leitura anômala	Lama no fundo interferindo na leitura.
PM21	Erro do instrumento		Leitura atual correta	Leitura atual seca e correta, anteriores anômalas / obstrução do instrumento
PM22	Erro do instrumento		Leitura atual correta	Leitura seca e correta, anteriores anômalas / obstrução do instrumento
PM23	0,2	0,07	Leitura correta	Diferença de 0,48m na cota de instalação reflete na diferença de aderência com as leituras anteriores,

* σ_{LA} *[m] - Desvio Padrão das leituras anteriores [m].**
 $I\Delta MI_{AP}^{**}$ [m] – Módulo variações entre as médias leituras anteriores e posteriores .

Tabela 3 – Piezômetros de galeria reinstalados

Piezômetro	σ_{LA} *[m]	$I\Delta MI_{AP}^{**}$ [m]	Comparação de leituras	Recomendação/ Observação
PG07	Erro do instrumento		Leitura atual correta	Leitura seca e correta, anteriores anômalas/ obstrução do instrumento
PG09	Erro do instrumento		Leitura anômala	Pio estava agarrando, na posição anotada pelos leituristas.
PG10	Erro do instrumento		Leitura atual correta	Anteriores retratam erros por obstrução do instrumento.
PG11	0,51	1,52	Leitura anômala	Perda de função do instrumento deveria estar no contato, afastado galeria em 2 metros.
PG15	0,69	2,63	Leitura anômala	Instalado na mesma cota, em posição diferente ocasionou perda de função deste instrumento.
PG19T	Erro do instrumento		Leitura atual correta	Instrumento deslocado comparado a posição original
PG21F	0,2	1,36	Leitura anômala	Instrumento afastou contato 2,80m/provavelmente ocasionou perda de função.
PG21T	Erro do instrumento		Leitura anômala	Presença de lama no fundo.

* σ_{LA} *[m] - Desvio Padrão das leituras anteriores [m].**
 $I\Delta MI_{AP}^{**}$ [m] - Módulo variações entre as médias

Tabela 4 – Análise Bruta dos Piezômetros Reinstalados

Status após reinstalação	Nº de instrumentos
Leitura Correta	7
Leitura Anômala	11
Sem leitura do instrumento reinstalado	11

A parte indicada como sem leitura na Tabela 4, acima, pode representar anomalia do piezômetro ou não. Avaliou-se especificamente cada instrumento nesta situação, e, foram reclassificados os instrumentos sem leitura, separando-os em instrumentos com leitura anômala e instrumentos com leitura correta, gerando a Tabela 5 de análise consistida como segue:

Tabela 5 – Análise Consistida dos Piezômetros Reinstalados

Status após reinstalação	Nº de instrumentos
Leitura Correta	16
Leitura Anômala	12

Dentre os instrumentos que apresentaram leituras anômalas, como identificado na Tabela 5, acima, foram classificadas as não-conformidades e relacionadas em 6 grandes grupos a saber:

- Leituras anteriores erradas;
- Altura insuficiente do tubo do Piezômetro - Artesianismo;
- Erro das leituras atuais;
- Perda de função por instalação deslocada da posição original;
- Presença de lama no fundo do instrumento.

Tabela 6 – Diagnóstico das anomalias encontradas na reinstalação de piezômetros.

Diagnóstico das Anomalias Verificadas	Nº de instrumentos
Leituras Anteriores Erradas	2
Altura Insuficiente do Tubo do Piezômetro, Artesianismo.	2
Erro de Leitura pelo atual leiturista	1
Instalação Deslocada do Projeto Original, Perda de Função.	2
Lama no Fundo do Instrumento	5

Realizando análise crítica de cada ocorrência explicitada na Tabela 6, acima, e, também, as medidas mitigadoras que poderiam ser adotadas ao longo do processo de reinstalação dos referidos piezômetros têm-se:

Leituras anteriores erradas: 16,67% das anomalias se devem à incoerências das leituras antigas, seja pela inoperância do instrumento que culminou na recomendação de substituição; seja por erro de leitura do antigo leiturista. Verificou-se que muitas leituras coincidiam com a cota de instalação do instrumento, caracterizando leitura eventual do fundo do instrumento ou acúmulo de umidade de origem externa à barragem, como chuva, por exemplo. Neste caso, o erro pode ser evitado com melhoria no processo de instalação destes instrumentos e treinamento dos leituristas, fazendo-os entender o que leem e as implicações da leitura na segurança da barragem.

Altura insuficiente do tubo Piezométrico – Artesianismo: 16,67% dos piezômetros reinstalados, e, que apresentaram anomalias, encontram-se com água vazando pelo tubo aberto, indicando altura piezométrica maior que cota de topo do instrumento. Ao avaliar os dados de projeto e série histórica, verifica-se que a posição do topo do instrumento deveria ser maior, devido ao nível histórico de aumento

da linha de fluxo, registrada ao pé da barragem. Corrobora este argumento, o recente aumento da cota do topo do piezômetro PF-36A, imputando ao instrumento, leitura, em conformidade com características locais a que se pretende monitorar. Neste caso, deve-se estudar limites esperados e projetar a instalação da cota de topo em elevações superiores às aquelas possíveis de serem lidas.

Erro das leituras atuais: 8,33% das leituras anômalas dos instrumentos reinstalados: erros de leituras são muito comuns quando são avaliados os resultados. No presente caso, foi diagnosticado erro de leitura no piezômetro PG-09 A, em que se identificou, em campo, que o tubo fazia curva no lugar em que agarrava o pio elétrico, e, neste ponto, registrava leitura de forma equivocada. Neste caso, o erro da leitura se deve ao despreparo dos leituristas, e, também, ao erro de instalação do piezômetro que apresentava curva no tubo. Recomenda-se que sejam realizados treinamentos minimizando erros similares.

Perda de função por instalação deslocada da posição original: 16,67% foram diagnosticados com instalação deslocada da posição original, afastando-os dos contatos das estruturas de concreto com aterro compactado. Perdendo, assim, a principal função de monitoramento da pressão neutra no contato. Hoje, estes instrumentos não fornecem informações pré-estabelecidas no projeto original.

Presença de lama no fundo do instrumento: Na constituição dos bulbos dos piezômetros, são adotados procedimentos construtivos que blindam o bulbo da entrada de material terroso, deixando passar apenas água. O objetivo é possibilitar a leitura com pio elétrico, porém em 41,66% dos piezômetros anômalos reinstalados, foram verificadas camadas de lama próximo à cota de fundo do instrumento. Assim, esta camada de lama retém umidade de origem externa ao maciço e falseia leituras. Portanto, os instrumentos devem ser recuperados ou reinstalados para cumprir a sua função. Contabilizou-se que, as anomalias mais comuns para os piezômetros, instalados na fundação, são artesianismo e leituras anteriores erradas, devido à indicação de cota em que as leituras

estão secas.

6 CONCLUSÕES

A análise individualizada das anomalias identificadas evidencia que, em 16,67% dos instrumentos anômalos reinstalados, ocorrem erros nas leituras antigas relacionados ao próprio problema do piezômetro, ou erros nos processos de leitura adotados. Os erros de leitura registrados após a reinstalação respondem a 8,33% das anomalias diagnosticadas. Portanto, pode-se considerar que 25% do total das leituras anômalas se devem a erros de leitura por baixa capacitação dos leituristas. Esta informação traduz a relevância que o treinamento das equipes de segurança de barragens tem, na confiabilidade dos dados lidos e na segurança da estrutura.

Além disso, dentre as não-conformidades verificadas, 16,67% dos piezômetros apresentaram artesianismo por altura insuficiente dos tubos. Isso poderia ser identificado e solucionado por análises do comportamento da barragem ao longo do tempo, e, também, pela adoção de altura de segurança do piezômetro. Esta altura calculada a partir do nível d'água lido durante a instalação, e dos modelos de linha de fluxo nos pontos de instalação.

Por outro lado, as ocorrências registradas por mau dimensionamento ou instalação dos bulbos piezométricos respondem por 41,66% do total das anomalias diagnosticadas, principalmente, por apresentarem lama no fundo do instrumento, caracterizando ineficiência na retenção de sólidos pelos bulbos ou erros de instalação. Para redução na ocorrência deste problema será necessário elaborar norma técnica específica para fabricação e instalação de bulbos piezométricos, tipo tubo aberto ou *standpipe*, voltados ao monitoramento de barragens; padronizar a fabricação comercial destes bulbos; e controlar seus fabricantes com selos de qualidade. É aconselhável controle rigoroso dos processos de instalação dos piezômetros.

Além disso, as anomalias verificadas no presente estudo constataram que 16,67% destes

instrumentos eram instalados no contato entre estruturas de concreto e terra, porém, após o processo de reinstalação, identificou-se que estes piezômetros estavam afastados da posição original e do contato, portanto, não retornando mais as informações pré-estabelecidas em projeto, e perdendo a função original. Neste sentido, para minimizar ocorrência similar em outras reinstrumentações, deve-se locar instrumentos reinstalados, com equipamentos topográficos de precisão, e, a instalação deve ser monitorada pelo projetista. No tocante a barragem Passaúna, adotou-se reinstrumentar piezômetros que encontravam-se danificados nas mesmas cotas e posições do projeto original, o presente estudo sugere que alguns dos piezômetros reinstalados poderiam ter sido suprimidos do processo e novos instrumentos poderiam ter sido implantados, como por exemplo, piezômetros, medidores de nível de água e medidores de vazão, em regiões específicas, visando melhor monitorar alguma fragilidade verificada ao longo da sua operação, respondendo sempre aos questionamentos advindos dos modos de falha da barragem, e buscando verificar se as estruturas estão trabalhando conforme projetado. Silveira (2006) afirma que “todo instrumento em um empreendimento deve ser selecionado e instalado para responder a questões específicas: se não há perguntas, não deve haver instrumentação”, corroborando, assim, às afirmações do parágrafo anterior.

AGRADECIMENTOS

A Companhia de Saneamento do Paraná, que disponibilizou material técnico e possibilitou a execução deste trabalho, aos Professores Dra. Teresa Cristina Fusaro e Dr. Ricardo Aguiar Magalhães por suas valiosas contribuições.

REFERÊNCIAS

- AFFONSO, H. M. M. *Instrumentação para medir deslocamentos em barragens de enrocamento*. Dissertação de mestrado, PUC-Rio, Departamento de Engenharia Civil, 2004.
- BRASIL. Presidência da República, Casa Civil. Plano nacional de segurança de barragens. Lei Federal nº12.334 (2010).
- http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm acessado em 27 de junho de 2016.
- COBA, Relatório de Segurança da Barragem Passauna, (2010).
- CRUZ, Paulo Teixeira. *100 Barragens Brasileiras: Casos Históricos, Materiais de Construção, Projeto*. São Paulo: Oficina de Textos, 1996.
- FONSECA, A.R. (2003) *Ausculção por Instrumentação de Barragens de Terra e Enrocamento para Geração de Energia Elétrica – Estudo de Caso das Barragens da UHE São Simão*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, pp. 6-47.
- FUSARO, T.C. (2007). *Estabelecimento Estatístico de Valores de Controle para a Instrumentação de Barragens de Terra: Estudo de Caso das Barragens de Emborcação e Piau*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto.
- SILVEIRA, J. F. A. *Instrumentação de barragens de terra e enrocamento*. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2006.
- SANEPAR. Relatório Análise do Projeto e Levantamento dos Estudos anteriores (1998).
- SANEPAR. Relatório do monitoramento geotécnico para o diagnóstico e monitoramento do comportamento de segurança da barragem do Passaúna (2015).