

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
CURSO DE GEOLOGIA**

HONN WAY CHAO

**BANCO DE DADOS DE CONDICIONANTES GEOLÓGICOS E SUAS
IMPLICAÇÕES EM PROJETOS DE OBRAS CIVIS**

CURITIBA

2016

HONN WAY CHAO

**BANCO DE DADOS DE CONDICIONANTES GEOLÓGICOS E SUAS IMPLICAÇÕES
EM PROJETOS DE OBRAS CIVIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Geologia da Universidade Federal do
Paraná como requisito parcial à obtenção do
grau de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Prof.^aDr.^a Geane Carolina
Gonçalves Cavalcante

Co-orientador: Geólogo MSc Antonio Marrano

CURITIBA

2016

A todos que se fizeram presentes em minha vida nessa caminhada, fazendo cada segundo vivido valer a pena.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Paraná por toda a estrutura oferecida nesses cinco anos de graduação.

A empresa Intertechne Consultores S.A por ter possibilitado a execução de boa parte desse trabalho em suas dependências.

Aos colegas da Intertechne Consultores S.A por todas as dúvidas sanadas.

A todo o corpo docente de Geologia da UFPR ao qual tenho profunda admiração.

A minha família em especial aos meus pais, Chao Tsu Yai e Zulene Martinelli da Silva por todo carinho e suporte.

Aos meus amigos os quais são uma parte muito importante da minha vida.

A minha namorada Ana Paula pela atenção e carinho.

A minha orientadora Geane Carolina Gonçalves Cavalcante por toda a paciência e dedicação ao me ensinar.

Ao meu co-orientador Antonio Marrano pela generosidade intelectual e pelos sábios conselhos.

RESUMO

Existem dois tipos de conhecimento, o prático e o teórico. Ambos são igualmente importantes e necessários para evolução do saber e sem os quais estamos fadados a um processo de tomada de decisão sem método. A vertente do conhecimento prático, que é a que esse trabalho se dedica, fica situada na posição em que é possível testar e comprovar ideias e assim incorporá-las ou rejeitá-las ao dinâmico escopo do conhecimento. Neste trabalho foi feita a compilação de 20 casos brasileiros onde a Geologia de Engenharia atua de modo decisivo na execução de obras civis. O principal objetivo é, portanto, facilitar o acesso a esse conhecimento prático, que já existe, porém está disperso e desorganizado. Os casos selecionados são mostrados em um banco de dados com duas arquiteturas: uma é um ambiente SIG onde pode-se ver os casos georreferenciados em mapas do Brasil (com a divisão dos estados ou com a geologia), e a outra é um ambiente Excel a qual tem o intuito de possibilitar a busca por palavras-chaves. É importante ressaltar que esse banco de dados tem um grande potencial para expansão, tanto do ponto de vista da compilação de novos exemplos de casos, podendo contemplar tipos de obras que não foram abordadas nesse trabalho (estabilidade de taludes rodoviários, por exemplo), como também incrementar as arquiteturas de maneira a facilitar a busca por informações.

Palavras chave: banco de dados, Geologia de Engenharia, obras civis, conhecimento prático.

ABSTRACT

There are two types of knowledge, the practical and theoretical. Both are equally important and necessary to the evolution of knowledge and without them we are doomed to a process of making decision without method. The way of practical know, which is the focus of this work, is in the position where is possible test and proven ideas and then reject or include them to the dynamic scope of knowledge. We performed a compilation of 20 Brazilian cases where the Geological Engineering actuates on a decisive way in civil works. The main objective is, therefore, make easy the access to the practical knowledge that already exist, but are scattered and disorganized. The cases are showed in a data base with two platforms: one is a SIG environment where the user can see the cases georeferenced in maps of Brazil (with the state's division or the geology). And the other one is an Excel environment where is possible search for key-words. It is important to say that this data base has a big potential to expansion, compiling new cases, some that was not contemplate in this work (like slope stability, for example), and also improve the platforms to became easier to search for the information.

Keywords: data base, Geological Engineering, civil work, practical knowledge.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: (A) Mapa do Brasil com a divisão dos estados e a localização das obras; (B) Mapa do Brasil com a geologia simplificada e a localização das obras.....	03
Figura 2: Mapa do Brasil com a geologia e a localização das obras.....	04
Figura 3: Banco de dados no Excel com instruções de utilização.....	04
Figura 4: Banco de dados no ArcGis com instruções de utilização.....	05
Figura 5: Fluxograma para criação do banco de dados.....	05

SUMÁRIO

Resumo.....	i
Abstract.....	ii
Lista de figuras.....	iii
Sumário.....	iv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTO E PROBLEMA.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
2. REVISÃO TEÓRICA	2
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	2
4. RESULTADOS	5
5. DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES	33
6. CONCLUSÕES	33
REFERÊNCIAS.....	35

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO E PROBLEMA

Para os profissionais que trabalham na área da Geologia de Engenharia é muito comum em reuniões com a engenharia do seguro ou do proprietário surgirem indagações sobre as soluções adotadas em projetos; um argumento muito forte é o embasamento de que aquela solução apresentada já foi executada com sucesso em alguma outra obra com arcabouço geológico similar. Adicionalmente, antes do início de qualquer projeto de engenharia, busca-se na bibliografia obras que tenham sido realizadas em contextos geológicos similares podendo assim se antecipar aos possíveis condicionantes geológicos.

Visto isso percebe-se que existe uma demanda no meio técnico por informação de cunho prático, mais especificamente de condicionantes geológicos e suas soluções de engenharia, e é nesse contexto que este trabalho se justifica.

É importante deixar claro o conceito de condicionante geológico, pois é o tema central deste trabalho (bem como as soluções para tais condicionantes). Condicionante geológico pode ser definido como uma característica geológica presente em um maciço e que controla, de maneira inequívoca, o comportamento do mesmo, interferindo, portanto, na proposição das soluções de projeto (AZEVEDO, 2002). Dessa maneira, os estudos geológico-geotécnicos devem ser desenvolvidos de modo a identificar os condicionantes geológicos ainda nas fases de investigação, para que sejam incorporados adequadamente aos respectivos projetos de engenharia. Em geral, as feições geológicas que podem se constituir em condicionantes geológicos são aquelas relacionadas a falhas ou zonas de cisalhamento rúptil, dobras, planos de acamamento e de foliação, sistemas de juntas e fraturas, feições cársticas (cavernas, cavidades e dolinas), solos moles e compressíveis, rochas desagregáveis e/ou friáveis, rochas de resistência extremamente elevada, tensões virgens elevadas, pressões e vazões elevadas de água subterrânea, entre outras (PASTORE, 2009). Portanto, os condicionantes geológicos têm o poder de interferir nas proposições das soluções de projeto de uma obra de engenharia e, quando não identificados, sobretudo nas fases de investigação, podem acarretar riscos à estabilidade das estruturas e/ou prejuízos

financeiros, decorrentes da sua incorporação tardia ao projeto, a fim de manter a obra dentro de critérios adequados de segurança.

1.2. OBJETIVOS

Buscar casos de obras em que a Geologia de Engenharia tem grande intervenção e apresentar as soluções encontradas para as solicitações. Organizar esses casos de modo que possam servir como ferramenta de consulta rápida para o conhecimento prático existente.

2. REVISÃO TEÓRICA

Não se tem conhecimento de nenhum banco de dados digital como o aqui proposto. O que se tem de mais similar é o livro, “Geologia de Engenharia: conceitos, métodos e prática” de SANTOS (2002), o qual se baseia em depoimentos por meio de 20 relatos de casos reais no Brasil onde a Geologia de Engenharia contribuiu para o entendimento de problemas associados a condicionantes geológicos em projetos, e para a adoção de soluções pertinentes.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a criação do banco de dados, foi realizada uma extensa pesquisa bibliográfica feita na biblioteca da empresa Intertechne consultores S.A, e principalmente na internet, com o intuito de selecionar casos pertinentes aos objetivos do trabalho, focando, sobretudo, em casos localizados na região sul-sudeste do Brasil.

Esses casos foram escritos utilizando o *software Word 2010* seguindo a metodologia baseada em SANTOS (2002), que consiste em separar a informação em tópicos, sendo esses: **Obra; Localização; Informação técnica; Circunscrição do problema; Investigação do problema; Formulação de soluções; Desempenho das soluções.**

Os casos foram resumidos tendo como intuito passar uma ideia sintética da problemática bem como das soluções. A bibliografia utilizada para a elaboração de cada caso está citada ao final da mesma, podendo servir para consulta, e assim, eventualmente, possibilitar a obtenção de mais detalhes sobre algum tópico.

Esses casos foram organizados em duas arquiteturas: (1) ambiente SIG (software Arcgis 10.3) onde o utilizador pode visualizar os casos dispostos em um mapa do Brasil em três versões: com os estados (Figura 1A), com a geologia simplificada (somente separado em rochas ígneas vulcânicas, ígneas plutônicas, metamórficas, sedimentares e coberturas) (Figura 1B), e uma versão com a geologia mais detalhada (Figura 2), retirada do mapa um para milionésimo da CPRM-Serviço Geológico do Brasil.

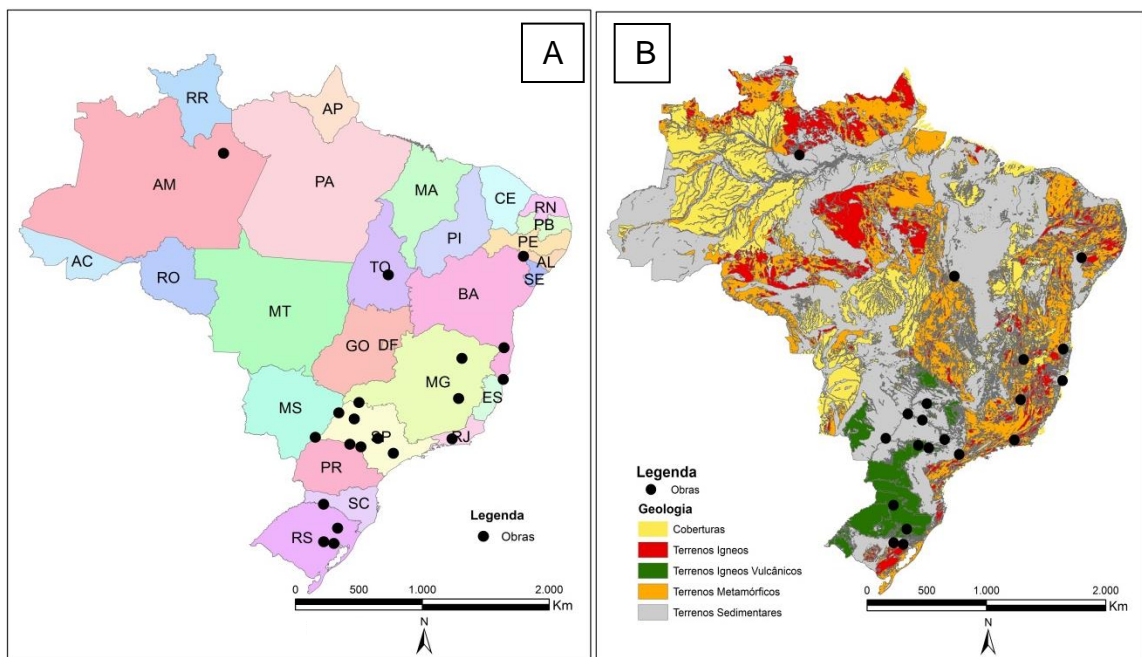


Figura 1- (A) Mapa do Brasil com a divisão dos estados e a localização das obras; (B) Mapa do Brasil com a geologia simplificada e a localização das obras.

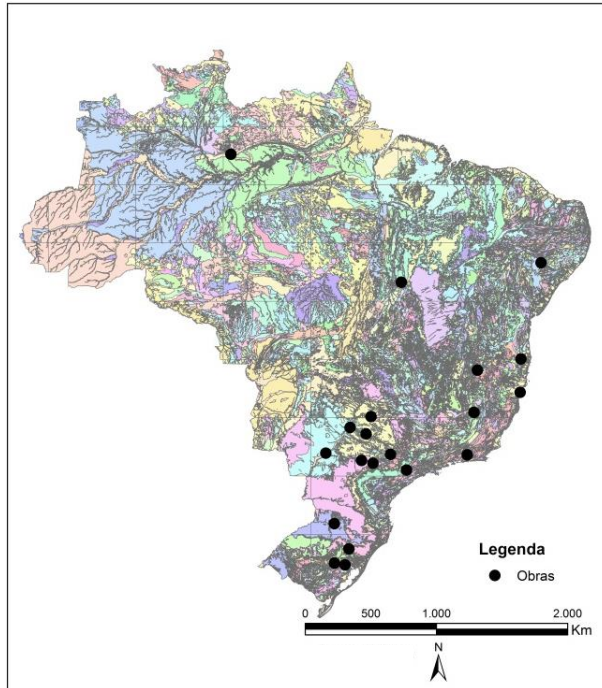


Figura 2 – Mapa Geológico do Brasil mostrando a localização das obras (retirado de <http://geobank.cprm.gov.br>).

(2) a segunda arquitetura é um ambiente Excel (*software Excel 2010*) onde é possível procurar por palavras chave tais como: litologia, tipo da obra, condicionantes geológicas, soluções de engenharia, entre outras (Figura 3).

CASO	OBRA	S	W	LATITUDE	LONGITUDE	PALAVRAS CHAVE	LINK PARA O CASO
1	Fundação da Barragem de Barra Bonita	22°31'8"	48°32'7"	-22,51888889	-48,53527778	Barragem, Barra Bonita, rio Tietê, São Paulo, basalto, arenito, Bacia do Paraná, artesanismo, Piping, subpressão, Serra geral, Botucatu, injeção de consolidação, cortina de injeção, drenagem.	Caso_1.docx
2	Reparo do sistema de túneis da UHE Sã Carvalho					Carvalho, rio Piracicaba, vazamento, ruptura deslizamento, granito gnaiss, rastejo, ruptura, maciço, faturamento hidráulico, blindagem gastamento, atirantamento, drenagem de alívio.	Caso_2.docx
3	Reservatório da Barragem de Três Imãos					Três Imãos, rio Tietê, São Paulo, península, lençol freático, desabamento de paredes de calque de fundação, colapsividade de solos, to de nível d'água, colúvnia arenoso, atulvão, o grupo Bauru, basalto do serra geral, Bacia do Paraná, baixa resistência do solo.	Caso_3.docx
4	Túneis da Usina Hidrelétrica de Itã					Itã, rio Uruguai, basalto, Serra Geral, arenito Bacia do Paraná, tensões elevadas, escavação ruidos, estalos, deslocamento da rocha, ejeção e fragmentos (rockburst), modelo geomecânico, carregamento uniaxial, SRF.	Caso_4.docx
5	Barragem do Guaíba Country Club					vertedouro, Guaíba Country Club, Arroio da prosão, infiltração, subpressão, rompimento do dimento fluvial, Formação Guaíba, quaternário.	Caso_5.docx
6	Escavação do túnel na UHE Castro Alves					Castro Alves, rio das Antas, basalto, Serra Geral, tensão residual, estalos, deslocamentos, rock dolo de abertura do túnel, concreto projetado, aditivo não alcalino, tirantes.	Caso_6.docx
7	Usina Hidrelétrica de Balbina					Balbina, rio Uatumã, Manaus, barragem, rocha vulcanito, solo de alteração, alta permeabilidade.	Caso_7.docx

Figura 3 – Banco de dados no Excel com instruções de utilização.

Uma das opções para se navegar no banco de dados no ArcGis é mostrada na (figura 4) abaixo:

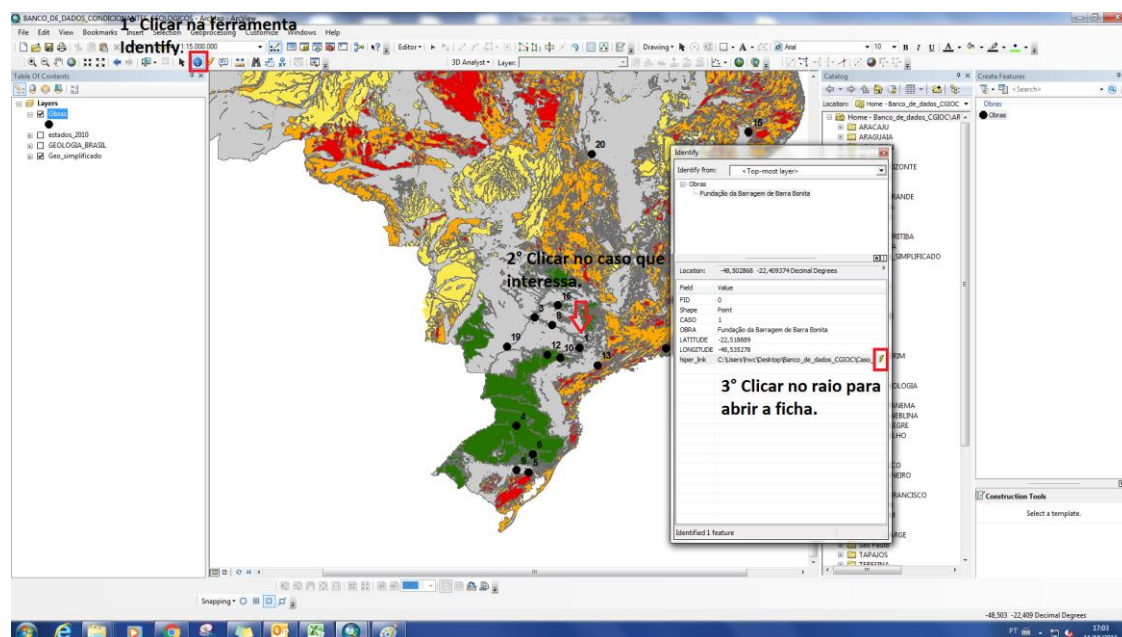


Figura 4 – Banco de dados no ArcGis com instruções de utilização.

Portanto, pode-se resumir esquematicamente o processo de criação do banco de dados com o fluxograma apresentado na Figura 5.

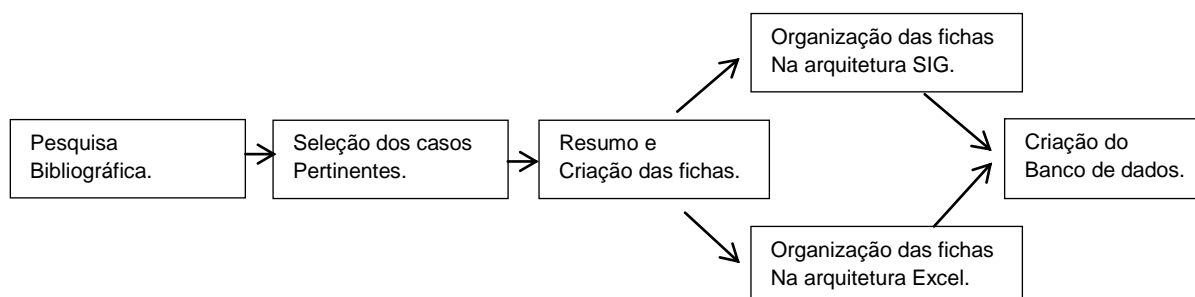


Figura 5: Fluxograma para criação do banco de dados.

4. RESULTADOS

Os casos compilados são mostrados a seguir numerados de 1 a 20.

Caso 1

Obra: Fundação da Barragem de Barra Bonita.

Localização: Rio Tietê, São Paulo, entre os municípios de Barra Bonita e Igarçu do Tietê (22°31'8"S 48°32'7"W).

Informação técnica: Usina Hidrelétrica com capacidade nominal de geração de 112,4 MW construída entre 1952 e 1962.

Circunscrição do problema: O local escolhido para o eixo da barragem é constituído por basalto e arenito (Bacia do Paraná). O condicionante geológico refere-se ao elevado artesianismo¹ no contato entre as duas litologias e a decorrente possibilidade de *piping*², além da elevação das subpressões³ na fundação da barragem (SANTOS, 2002).

Investigação do problema: Foram executadas 23 sondagens rotativas além de prospecção geofísica. Foi constatada uma espessura de derrame basáltico em média de 80 m, chegando a 35 m no leito do rio, sobre o arenito Botucatu, inconsolidado. A geofísica mostrou que o arenito aflora e se comunica de montante para jusante do eixo da barragem, o que agrava o problema do *piping* (SANTOS, 2002).

Formulação de Soluções: Os condicionantes geológico-geotécnicos citados renderam na época uma grande discussão sobre o que deveria ser feito no tratamento. A partir do parecer de consultores, foi decidido executar o tratamento apenas no maciço basáltico. Foram realizadas injeções de consolidação e de cortinas de injeção e de drenagem. A drenagem foi instalada internamente à cortina de injeção e não atingiu o contato com o arenito (SANTOS, 2002).

No processo de evolução da solução foram cogitados outros tratamentos tais como: a abertura de duas galerias no entorno do contato de maneira que fosse possível executar drenagens e injeções; injeção de consolidação na fundação associado a drenos até o contato com o arenito (SANTOS, 2002).

Desempenho da solução: Para acompanhamento da solução, foram instalados piezômetros em linha paralela ao Rio Tietê. Foi monitorado o contato arenito-basalto assim como somente o basalto. Constatou-se que o nível do reservatório não influenciava decisivamente a condutividade na interface basalto-arenito; havia comunicação entre o arenito e a porção inferior do basalto; as injeções contribuíram para diminuir a percolação e o sistema de drenagem atenuou as subpressões. Concluiu-se que o gradiente hidráulico médio de 8% não seria suficiente para provocar *piping* (SANTOS, 2002).

Palavras chave: Barragem, Barra Bonita, Rio Tietê, São Paulo, basalto, arenito, Bacia do Paraná, artesianismo, Piping, subpressão, Serra Geral, Botucatu, injeção de consolidação, cortina de injeção, drenagem.

¹ Fenômeno no qual a água subterrânea está sob pressão, tendendo a atingir o nível de recarga.

² Carreamento de partículas de uma massa provocando formação progressiva de canais.

³ Pressão d'água com sentido ascendente.

Bibliografia: SANTOS, Álvaro Rodrigues dos. *Geologia de Engenharia: conceitos, métodos e prática*. São Paulo: IPT, 2002, 219 pp.

Caso 2

Obra: Reparo do sistema de túneis da UHE Sá Carvalho.

Localização: No Rio Piracicaba, Município de Antônio Dias, Minas Gerais (19°38'8"S 42°48'22"W).

Informação técnica: Usina Hidrelétrica construída no período de 1947 a 1951. Possui potência instalada de 78 MW.

Circunscrição do problema: Três meses após a realização de uma expansão para o aumento da potência a usina teve que ser paralisada devido a um vazamento na região da câmara de equilíbrio⁴ e túnel de alta pressão⁵, que ocasionou uma ruptura hidráulica que, por sua vez, incorreu em um deslizamento do manto intemperizado (SANTOS, 2002).

Investigação do problema: A fim de equacionar a situação foram realizados vários estudos, tais como: criação de um modelo geológico para orientar a alocação de sondagens investigatórias; caracterização geomecânica do maciço; análise de testemunhos antigos e recentes e; mapeamento geológico-estrutural da encosta afetada, assim como uma compilação de toda a informação pertinente a situação. A situação geral do maciço granito-gnáissico da encosta é de qualidade muito boa, correspondendo à classe II ou até I da classificação de Bieniawski (1989)⁶. Contudo, localmente nas áreas da câmara e túnel de alta pressão as encostas possuem alta declividade e evidenciam inúmeros processos de rastejos e rupturas. O revestimento de concreto da câmara e do cotovelo superior foi danificado de maneira incorrigível, causado pela erosão do maciço e por fraturamento hidráulico (SANTOS, 2002).

Formulação de Soluções: Devido ao diagnóstico relatado e a necessidade de uma solução definitiva para o conduto pressurizado, foi instalada uma blindagem metálica desde o final do túnel de baixa pressão, a montante, até conectar-se com a blindagem existente no cotovelo inferior do túnel de alta pressão. Foi recomendada também, a implementação de um engastamento⁷ da blindagem por atirantamento, para se adaptar à situação singular que se encontrava o maciço. Para atenuar as pressões do maciço, foram instaladas drenagens de alívio em volta da blindagem de

⁴ Túnel vertical acima do túnel de pressão e possui como propósito manter estável a pressão.

⁵ Túnel que transmite água sob moderada a alta pressão.

⁶ Classificação geomecânica para maciços rochosos sendo I um maciço muito bom e V um maciço muito ruim.

⁷ Apoio que impede todos os movimentos de rotação e translação.

modo a interceptar as juntas e conduzir a água para um túnel de acesso, de modo a prevenir a retomada da instabilidade (SANTOS, 2002).

Desempenho da solução: Alocaram piezômetros ao longo dos túneis para o controle dos resultados apresentados pela estanqueidade resultante da blindagem metálica. O monitoramento dos piezômetros até 6 meses depois do reinício das operações na usina constatou que as medidas de reparo foram projetadas com sucesso (SANTOS, 2002).

Palavras chave: UHE Sá Carvalho, Rio Piracicaba, vazamento, ruptura hidráulica, deslizamento, granito, gnaiss, rastejo, ruptura, erosão do maciço, faturamento hidráulico, blindagem metálica, engastamento, atirantamento, drenagem de alívio.

Bibliografia: SANTOS, Álvaro Rodrigues dos. *Geologia de Engenharia: conceitos, métodos e prática*. São Paulo: IPT, 2002, 219 pp.

Caso 3

Obra: Reservatório da Barragem de Três Irmãos.

Localização: Situada no Rio Tietê no município de Pereira Barreto, São Paulo, a 28 km da confluência com o Rio Paraná (20°40'10"S 51°18'11"W).

Informação técnica: Potencia instalada de 807,5 MW, a primeira unidade entrou em operação em 1993 e a quinta em 1999.

Circunscrição do problema: O reservatório da usina hidrelétrica nessa posição geográfica transformaria a cidade mais próxima em uma península no Lago Três Irmãos. Isso acarretaria a elevação do lençol freático e em consequência, desabamentos de paredes de poços, recalques⁸ de fundações, colapsividade de solos e afloramento de nível d'água (SANTOS, 2002).

Investigação do problema: O substrato da cidade, na zona de influência é constituído por coluviões arenosos, aluviões e sedimentos do Grupo Bauru. Esse conjunto forma um aquífero livre tendo no basalto do Serra Geral sua base (litologias pertencentes à Bacia do Paraná). Foram realizadas investigações geológicas, geofísicas e hidrogeológicas, a partir das quais confeccionou-se um Mapa de Potencial de Influência de enchimento do reservatório onde, por sua vez, foram identificadas as edificações em situação preocupante. Foi verificado, por meio de ensaios geotécnicos, que a já baixa resistência do solo diminuía em cerca 50% devido à saturação. Um estudo para medir os recalques constatou que durante os

⁸ Rebaixamento em função do adensamento do solo ou rocha sob a fundação.

15 meses de enchimento do reservatório os recalques totais chegaram a 74 mm (SANTOS, 2002).

Formulação de Soluções: Para substituir os poços sem revestimento, que eram usados para abastecimento de água da cidade, foi perfurado um poço tabular no Aquífero Guarani. O sistema de esgoto foi reconstruído e lançado para uma estação de tratamento longe da cidade. As 107 construções consideradas em zona crítica foram realocadas ou reconstruídas de imediato (SANTOS, 2002).

Desempenho da solução: Foram instalados sistemas de monitoramentos passíveis de serem utilizados antes, durante, e após o enchimento do reservatório. O acompanhamento do nível do lençol freático foi feito por 22 piezômetros e 66 poços-cacimba. Em algumas edificações estrategicamente escolhidas foram instalados medidores de nível d'água, medidores de recalque, bases para clinômetros, e pinos de nivelamento (SANTOS, 2002).

Palavras chave: Barragem, Três irmãos, rio Tietê, São Paulo , elevação do lençol freático , recalque, colapsividade de solos, coluvião, aluvião, Grupo Bauru.

Bibliografia: SANTOS, Álvaro Rodrigues dos. *Geologia de Engenharia: conceitos, métodos e prática*. São Paulo: IPT, 2002, 219 pp.

Caso 4

Obra: Túneis da Usina Hidrelétrica de Itá.

Localização: Situada no Rio Uruguai, entre as cidades de Itá (SC) e Aratiba (RS) (27°16'34"S 52°22'57"W).

Informação técnica: Possui capacidade instalada de 1450 MW, a quinta unidade entrou em operação em 2001.

Circunscrição do problema: A rocha em questão é formada por derrames basálticos da Formação Serra Geral (existe um espesso manto de intemperismo, que chega a 30 m de espessura em algumas regiões) com aproximadamente 400 m de espessura, que se sobrepõem ao arenito Botucatu. Esse maciço possui tensões residuais que afetaram as escavações subterrâneas de todos os túneis. Este estudo de caso retrata apenas a situação dos cinco túneis de desvio. Os problemas ligados às tensões residuais foram: ruídos, estalos, deslocamento da rocha e ejeção explosiva de fragmentos (*rockburst*). Estes problemas causaram certos danos ao concreto projetado. Depois de efetuado o rebaixo dos túneis de desvio, que aumentaram o vão vertical consideravelmente, constatou-se o aparecimento de

deformações adicionais superiores àquelas, devido à escavação da abóboda⁹ (SANTOS, 2002).

Investigação do problema: Foram realizados mais de 5 km de sondagens rotativas e uma série de ensaios geológico-geotécnicos que só conseguiram prever as altas tensões residuais abaixo do leito do rio. Contudo, uma reavaliação do modelo geológico gerou um modelo geomecânico mais adequado para a situação onde sigma 1 é NS, sigma 2 EW e sigma 3 vertical (peso de rocha). A escavação muda essa condição de tensão. Para definir com precisão a dimensão dessas tensões foram realizados ensaios *in situ*, entre eles, um ensaio de fraturamento hidráulico. Foi constatado que as tensões de sigma 1 são de 30 a 50 mPa, realmente muito elevadas. A interpretação feita a partir dos dados obtidos dos ensaios foi: a tensão de sigma 1 é horizontal e extremamente elevada, o que gera uma reorientação da trajetória das tensões, criando uma zona de compressão junto ao teto. Tendo em vista que a tensão de sigma 3 é em alguns locais praticamente nula, a rocha passa a ser submetida a um estado de carregamento quase uniaxial, com cargas similares a sua resistência a compressão, gerando muitas vezes rupturas (SANTOS, 2002).

Formulação de Soluções: Utilizou-se o sistema Q de classificação geomecânica para dimensionar o suporte da abóbada. Implementou-se o jateamento de 5 cm de espessura de concreto projetado logo após as escavações permitindo que o suporte definitivo fosse instalado. Foram aplicados tirantes sistemáticos e concreto projetado com fibras metálicas. Todos esses tratamentos foram dimensionados a partir da readequação dos valores adotados para o parâmetro SRF¹⁰ (stress reduction factor) na classificação de Barton¹¹, de 1, que corresponde a uma situação favorável de tensão, para valores que podem chegar a 20, que corresponde a valores de tensão alta, fato esse que acarretou em tratamentos muito mais rigorosos do que os preconizados inicialmente (SANTOS, 2002).

Desempenho da solução: Durante o período seco, foi feita inspeção nos túneis de desvio, na qual se observou a ocorrência de erosão no teto dos túneis mais intensamente onde passava um dique de diabásio. Foi realizado um reforço nessa parte a fim de garantir que a situação não se agravasse (SANTOS, 2002).

Palavras chave: UHE, Itá, rio Uruguai, basalto, Serra Geral, arenito Botucatu, Bacia do Paraná, tensões elevadas, escavação subterrânea, ruídos, estalos, deslocamento da rocha, (rockburst), modelo geomecânico, carregamento uniaxial, SRF.

Bibliografia: SANTOS, Álvaro Rodrigues dos. *Geologia de Engenharia: conceitos, métodos e prática*. São Paulo: IPT, 2002, 219 pp.

⁹ Teto arqueado de túnel, delimitado por apoios.

¹⁰ Coeficiente da intensidade da tensão no maciço rochoso.

¹¹ Sistema de classificação de maciços rochosos que possibilita estimar os parâmetros geotécnicos.

Caso 5

Obra: Vertedouro da Barragem do Guaíba Country Club.

Localização: Situa-se no município de Guaíba (RS) no Arroio da Porteira (30°6'18"S 51°39'2"W).

Informação técnica: A Barragem foi construída para barrar as águas do Arroio da Porteira com finalidade de criar um lago artificial que permitisse o seu uso para fins de entretenimento.

Circunscrição do problema: Inicialmente a barragem possuía vertedouros escavados no terreno natural em ambas as ombreiras. Após a primeira cheia, um dos vertedouros foi quase completamente erodido. Para sanar o problema, foi solicitada a construção de um vertedouro em concreto e o selamento do vertedouro erodido com um aterro de material terroso compactado. O novo sistema vertedouro-comportas funcionou sem problemas por aproximadamente dois anos até que começou a ocorrer infiltrações e erosões a jusante do radier¹² da estrutura. Uma cheia inesperada, durante a execução de um projeto de recuperação, fez percolar por baixo do radier um grande volume de água, que por efeito da subpressão¹³, ergueu a laje, descalçando o creager¹⁴, que mesmo preso nas duas extremidades em muros de concreto, também rompeu, promovendo o desmoronamento de toda a estrutura (COULON, 1978).

Investigação do problema: Foi constatada a total ausência de estudos geológico-geotécnicos no local; estes só foram realizados depois de ocorridos os acidentes descritos. A partir de estudos geológicos na região, observou-se que a obra foi construída sobre sedimentos de origem fluvial pertencentes à Formação Guaíba, de idade quaternária. Mais especificamente de arenitos fracamente consolidados e cimentados por material ferruginoso com espessura total da ordem de 15 metros. Antes do acidente nas estruturas de concreto, foram realizadas cinco sondagens mistas com ensaios de permeabilidade (COULON, 1978).

Formulação de Soluções: Uma vez levantadas as informações geológico-geotécnicas, foi possível determinar que era certo a ocorrência de infiltração sob as estruturas de concreto, tanto devido a presença de estratos bastante permeáveis na fundação, quanto pelo caráter do contato estruturas-terreno. Deveriam ter sido implementadas soluções mitigadoras para conter essas infiltrações (as soluções implementadas não foram divulgadas) (COULON, 1978).

¹²Estrutura plana contínua de concreto que sustenta todos os pilares de uma obra ou cargas distribuídas, usando o mesmo princípio de construção e função de uma sapata.

¹³ Pressão d'água com sentido ascendente.

¹⁴ Modelo geométrico do vertedouro, projetado para dissipar a energia.

Desempenho da solução: No projeto de reconstrução, os fatores mencionados nos outros itens foram corretamente dimensionados, o que resultou em um obra mais segura em relação à problemática em questão (COULON, 1978).

Palavras chave: Barragem, vertedouro, Guaíba Country Club, Arroio da Porteira, erosão, infiltração, subpressão, rompimento do creager, sedimento fluvial, Formação Guaíba, quaternário.

Bibliografia: COULON, F.K. Condicionante geológica em acidente no vertedouro de uma barragem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 2., 1978. Anais... São Paulo: ABGE, 1978. CD

Caso 6

Obra: Escavação do túnel na UHE Castro Alves.

Localização: Rio das Antas, próximo ao município de Nova Roma do Sul (RS) (29° 0' 20" S, 51° 23' 4" W - aproximadas).

Informação técnica: Usina hidrelétrica com capacidade de geração de 130 MW.

Circunscrição do problema: A área da UHE Castro Alves foi construída é formada por basaltos da Formação Serra Geral. As estruturas mais relevantes são sistemas de juntas e falhas que frequentemente estão preenchidas por zeólitas e/ou calcita. As elevadas tensões naturais do maciço são a grande problemática que circunda essa obra. No túnel de adução¹⁵ da UHE Monte Claro, a qual faz parte do mesmo complexo hidrelétrico, foram registrados estalos, deslocamentos e "rock Burst", evidências de que a as tensões no maciço basáltico eram altas (SOUZA, 2005).

Investigação do problema: Em razão das elevadas tensões, foram feitos levantamentos geológico-estruturais na área, os quais consistiam na obtenção de atitudes de planos de falha e das estrias de atrito, e ainda a determinação dos tipos de movimento relativo entre blocos rochosos (SOUZA, 2005).

Esse detalhamento estrutural permitiu a determinação da direção de tensão máxima σ_1 de N30E/subhorizontal, que se posiciona obliquamente ao traçado do eixo do túnel de adução (SOUZA, 2005).

Formulação de Soluções: O modelo de abertura do túnel é imprescindível para a ocorrência da liberação da tensão. Em situações em que a tensão máxima é subhorizontal, como nesse caso, uma seção alta e estreita acarretará em uma tensão maior na abóbada¹⁶ do que uma seção mais larga e baixa. Foi utilizada uma

¹⁵ Túnel para adução da água para encaminhamento à casa de força.

¹⁶ Teto arqueado de túnel, delimitado por apoios.

seção 12,10 m de largura por 8 m de altura para escavação do túnel, que foi feita em seção plena. Essa medida otimiza a escavação, quando em comparação a um túnel alto e estreito, que necessitaria de duas etapas de escavação. Assim, previne-se que a escavação da abóbada, sofra muita influência da reativação das tensões no momento em que for realizada a segunda etapa, que corresponde ao rebaixamento do piso (SOUZA, 2005).

Em razão da obrigação de se escavar com segurança e velocidade, o concreto projetado foi empregado com aditivo não alcalino, dando uma cura tão rápida quanto possível, sendo executado com não mais do que dois avanços de diferença em comparação com a frente de escavação. Atinge-se em 1 hora a resistência de 1MPa, momento no qual se colocam os tirantes. Com a intenção de acrescer a resistência, foi adicionado 40Kg de fibras metálicas por m³ de concreto. Em situações onde se faz necessária uma segunda camada de concreto, ela foi executada depois de se terminar o ciclo de escavação. De maneira a promover um efeito corretivo nos possíveis danos causados pela escavação a fogo. Vale ressaltar que a fim de melhorar a aderência entre o concreto e a rocha, e assim prevenir a criação de juntas inconvenientes, foi feito uma jateamento de água sob pressão, antecipadamente ao concreto projetado (SOUZA, 2005).

Em razão de o maciço estar sob o efeito de grandes tensões, os tirantes não foram tensionados. Pré tensionar os tirantes provoca mais tensão nas subjacências do túnel, o que aumentaria as rachaduras no concreto. Nos casos em que não é observada tensão, os tirantes foram submetidos a uma carga de 100 kN. Só em situações específicas é que foi realizado atirantamento antes da concretagem, pois nesses casos não ocorre interação entre os tirantes e o concreto projetado (SOUZA, 2005).

Desempenho da solução: Os tratamentos preconizados atenuaram o efeito das tensões no maciço. Nos primeiros 600 m de escavação do túnel não foi notificado nenhum caso de “rock burst”. Foram constatados apenas deslocamentos de rocha e estalos em alguns trechos (SOUZA, 2005).

Palavras chave: Túnel, UHE Castro Alves, Rio das Antas, basalto, Serra Geral, junta falha, tensão residual, estalos, deslocamentos, rock Burst, concreto projetado, aditivo não alcalino, tirantes.

Bibliografia: SOUZA, F.A. Escavações subterrâneas em maciços rochosos sob tensões anômalas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 11., 2005. Anais... Florianópolis: ABGE, 1978.

Caso 7

Obra: Usina Hidrelétrica de Balbina.

Localização: Situada no rio Uatumã a 146 km de Manaus, estado do Amazonas. Coordenadas: (1°54'56,7"S 59°28'25"W).

Informação técnica: Usina hidrelétrica com capacidade de geração de 275 MW.

Circunscrição do problema: A fundação de concreto da obra se situa em rochas vulcânicas de diferentes tipos, sendo simplificada e chamada de vulcanito. A Barragem está, em várias porções, posicionada em solo de alteração dessa rocha. O principal condicionante geológico está associado à ocorrência de altas permeabilidades (superior a 10^{-3} cm/s), situadas no solo de alteração (MELO et al. 1987).

Investigação do problema: As investigações foram feitas por meio de poços e trincheiras, que possibilitaram correlacionar as regiões de alta permeabilidade à presença de grupos de canais tabulares com diâmetros por vezes centimétricos, chamados de canalículos, com comunicação entre si e dispostos com uma geometria aleatória (MELO et al. 1987).

A presença de canalículos não é uma exclusividade dessa obra. Existem inúmeras obras na região amazônica que possuem esse mesmo problema. A partir de diversos estudos realizados em várias obras, levantaram-se várias hipóteses sobre a origem desses canalículos: a) origem biológica, gerada pela ação de raízes; b) erosão pedo-Kárstica, na qual geomorfólogos atribuem os canalículos à erosão do solo residual; c) lixiviação ligada à laterização; d) a explicação mais aceita no caso de Balbina é a da ação de térmitas, associada ao último período glacial; as evidências conclusivas para essa hipótese são os vestígios de pelotas fecais ou bucais, feições características das construções desses insetos. (MELO et al. 1987).

Formulação de Soluções: Análises de custo, coligadas as vantagens e desvantagens de uma série de alternativas propostas (tendo em vista as dificuldades impostas pelo clima e pela localização afastada), levaram a equipe técnica a optar pela execução de uma trincheira de vedação na camada de aluvião e injeção posicionada no solo residual e rocha alterada subjacente, e ainda poços de alívio à jusante (MELO et al. 1987).

Desempenho da solução: Os ensaios de perda d'água evidenciaram que foi atingido o objetivo de diminuir a permeabilidade a níveis dentro dos admissíveis (MELO et al. 1987).

Palavras chave: UHE Balbina, rio Uatumã, Manaus, barragem, vulcanito, solo de alteração, alta permeabilidade, canalículos, ação de térmitas, trincheira de vedação, injeção, poço de alívio.

Bibliografia: MELLO, L. G. F. S. O tratamento de Solos Residuais Condicionados por Canalículos; Um Caso de Obra. In: Conferência Íbero-Americana sobre Aproveitamento Hidráulicos, 1987, Lisboa, 1987.

Caso 8

Obra: Barragem de Nova Avanhandava.

Localização: Baixo Tietê, no município de Buritama, estado de São Paulo. Coordenadas: (21°6'51"S 50°12'14"W).

Informação técnica: Usina hidrelétrica com capacidade de geração de 347 MW. Entrou em operação em 1982.

Circunscrição do problema: A obra está situada sobre derrames basálticos da formação Serra Geral, Bacia do Paraná, mais especificamente 4 derrames I, II, III e IV de baixo para cima. As feições mais preocupantes geotecnicamente são as juntas localizadas na cota 300 bem como a interface entre os derrames. De maneira generalizada, o principal problema dos contatos entre os derrames e das juntas é a elevada permeabilidade associada a subpressões¹⁷. Vale ressaltar ainda que houve muita preocupação com uma parte do derrame II por apresentar "Pillow Lavas", uma feição singular em fundações de obras. Apesar disso, a rocha se mostrou apropriada e foi mantida em seu estado natural. Outra feição que merece atenção particular é a presença de um paleocanal preenchido de material aluvionar (MANO, 1987).

Investigação do problema: Por toda a fase de viabilidade, foram realizados levantamentos geofísicos utilizando a sísmica de refração, o que ajudou a alocar na fase de projeto básico, sondagens rotativas com o intuito de investigar um baixo relativo. Além dessas, foram realizadas sondagens rotativas em malha de 50 metros, o que é considerado em basaltos uma amostragem satisfatória. Foram feitas ainda algumas lâminas petrográficas bem como difratometria de raios-X (MANO, 1987).

Formulação de Soluções: No contato entre os derrames I e II foram realizadas injeções de cimento e drenagem; no contato II e III foi aprofundado a casa de força¹⁸ ultrapassando o contato, associado a injeções de calda de cimento e drenagem; no contato III e IV realizou-se o "cut off"¹⁹ nas duas ombreiras para fundação da barragem, bem como injeção de calda de cimento. Em relação às juntas, a escavação do maciço rochoso foi executada abaixo do nível das referidas descontinuidades e complementarmente foi realizado tratamento com injeção de calda de cimento e drenagem (MANO, 1987).

¹⁷ Pressão d'água com sentido ascendente.

¹⁸ Usina de geração de energia associada à barragens.

¹⁹ Tratamento de impermeabilização que tem como intuito aumentar o caminho de percolação da água.

O paleocanal só foi descoberto na fase de projeto executivo. Em função disso, não houve tempo para a sua apropriada caracterização geológica e geotécnica. Foi decidido remover completamente o material aluvionar, realizar algumas escavações adicionais em rocha e aplicação de concreto-massa, concreto-estrutural e enrocamento, com o intuito de nivelar as cotas para a fundação das estruturas da barragem (MANO, 1987).

Na região da bacia de dissipação²⁰, onde o paleocanal se estende em posição diagonal à laje a partir do lado esquerdo. Foi realizado também o preenchimento com concreto-massa, com o intuito de nivelar as cotas. Tendo em vista o tamanho do paleocanal, aproveitou-se para construir uma galeria, visando coletar as vazões dos drenos sob a laje. Esta adaptação promoveu melhorias no aspecto construtivo em detrimento de outras alternativas cogitadas (NETO et al, 1982).

Desempenho da solução: Os tratamentos preconizados na fundação obtiveram total êxito ao diminuir significativamente as vazões e ao atenuar as subpressões (MANO, 1987).

Palavras chave: Barragem, Nova Avanhandava, rio Tietê, São Paulo, basalto, Serra Geral, Bacia do Paraná, junta-falha, permeabilidade, subpressão, Pillow Lava, paleocanal, injeção de cimento, drenagem, cut off, bacia de dissipação, concreto-massa, concreto-estrutural, enrocamento.

Bibliografia: MANO, Vinicius Gomes Taveira. *Estudos geológicos geotécnicos das descontinuidades rochosas, "pillow lavas" e paleocanal nos basaltos de fundação da barragem de Nova Avanhandava, rio Tietê (SP)*. 1987. 109 f. Dissertação (Mestrado em geologia geral e de aplicação) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Caso 9

Obra: Barragem do Anel de Dom Marco

Localização: Rio Jacuí, no município de Rio Pardo, na região centro-leste do Estado do Rio Grande do Sul (29° 59' 23"S 52° 22' 41"W - aproximadas).

Informação técnica: Barragem construída com o intuito de prolongar o período navegável do rio.

Circunscrição do problema: A unidade superior é um siltito micáceo, arenoso, intercalado com um arenito calcífero, na forma de lentes. A unidade inferior é um folhelho, sendo que o contato entre as duas unidades é formado por um nível areno-

²⁰ Estrutura que tem como objetivo amortecer a velocidade da água e o seu potencial de erosão.

conglomerático. O folhelho, quando submetido ao processo de umedecimento e secagem, muito comum nas condições de intemperismo, se despedaça com grande velocidade (até virar pó), devido à presença de minerais expansivos (principalmente montmorilonita) na porção argilosa do folhelho (rochas pertencem à formação Iratí e Estrada Nova). O maciço foi submetido também a esforços tectônicos, que geraram falhas, formadas durante dois eventos distintos. Excetuando-se os elementos já citados, existe também uma fenda horizontal no meio dos folhelhos (não oriunda dos processos tectônicos), que intercepta uma falha, o que promove uma infiltração de água potencialmente perigosa nessa região (FILHO et al. 2011).

A partir do acompanhamento dos pilares da barragem, foi constatado que um deles havia se movimentado, o que compromete a estabilidade da construção (FILHO et al. 2011).

Investigação do problema: Como medida mitigadora emergencial para contenção do movimento da barragem se atirantou a estrutura. Para o entendimento das causas do acidente foram realizadas sondagens rotativas, ensaios de laboratório para caracterização e determinação de sua expansibilidade (foi constatado que o material é expansivo e possui pressões de inchamento elevadas). Adicionalmente, foi feito petrografia micro e macroscópica, e ainda foram instalados piezômetros para o monitoramento das vazões (os valores obtidos são altos, fazendo com que subpressões²¹ sejam prováveis). Os dados piezométricos sugerem também a presença do fenômeno de descarga de ar, fenômeno esse originado pela turbulência a jusante por erosão regressiva²². Essa possibilidade fez com que fosse contratada uma equipe de mergulhadores para verificar se de fato esse condicionante poderia consistir em um problema. No primeiro mergulho, a equipe constatou que a erosão regressiva estava em um estágio avançado (FILHO et al. 2011).

Formulação de Soluções: Uma vez constatada a ocorrência da erosão regressiva, instantaneamente foi executado um plano de desvio do rio e a construção de ensecadeiras²³, de modo a deixar a barragem a seco. Foram colocados 135 tirantes de cabo, lavagem e injeção das descontinuidades encontradas na fundação, injeção de colagem e preenchimento/injeção no radier²⁴ (FILHO et al. 2011).

Desempenho da solução: No parecer técnico utilizado para criação dessa ficha não consta a informação sobre o desempenho das soluções empregadas, contudo, informações encontradas no site do DNIT (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES) referentes ao período de 2011, informam que a barragem estava em funcionamento.

²¹ Pressão d'água com sentido ascendente.

²² Erosão que ocorre quando o lençol freático é interceptado pela superfície do terreno.

²³ Estrutura temporária que tem como objetivo possibilitar construir a barragem em terreno seco.

²⁴ É um tipo de fundação que se assemelha a uma placa que cobre toda a superfície de construção.

Palavra Chave: Barragem, Anel de Dom Marco, Rio Jacuí, Rio Grande do Sul, siltito micáceo, arenito calcífero, folhelho, nível areno-conglomerático, minerais expansivos, falhas, subpressão, descarga de ar, erosão regressiva, tirantes, injeção, Fm. Irati, Fm. Estrada Nova .

Bibliografia: FILHO, B.C.S; COULON, F.K; MOLINA, H.T. Estudos geológico-geotécnicos na barragem do Anel de Dom Marco (RS) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 13., 2011. São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 2011. CD.

Caso 10

Obra: Barragem de Xavantes.

Localização: Entre os municípios de Xavantes, SP e Ribeirão Claro PR, no Rio Paranapanema (23°7'37"S 49°43'57"W).

Informação técnica: É uma barragem de terra zonada. Teve sua construção iniciada em 1960 e concluída em 1970.

Circunscrição do problema: A obra se situa em arenitos e rochas vulcânicas. Alguns anos depois do início de sua operação os piezômetros indicavam valores superiores aos dimensionados no projeto, e similares aos níveis calculados para filtros²⁵ obstruídos. Esses níveis elevados poderiam ser atribuídos ao fluxo vindo da fundação, problema que foi resolvido com a instalação de poços de alívio. Mesmo após essa medida de contenção, o filtro continuava apresentando indícios de obstrução (FILHO, 1982).

Investigação do problema: Foi realizada uma extensa revisão bibliográfica sobre o tema, e constatou-se que na China 80% das barragens de terra continham água ferruginosa em alguma porção, o que acarretava, em alguns casos, a obstrução dos filtros e drenos. Após alguns ensaios geoquímicos, observou-se que há ferro suficiente nos materiais de construção da barragem, e que frequentemente eles obstruem os filtros (FILHO, 1982).

Formulação de Soluções: Uma vez compreendida a problemática, as medidas mitigadoras se tornaram simples de serem escolhidas. Simplificadamente, se trata de impedir a aeração do filtro por afogamento ou por um sistema de caixas com subterfúgios, que impossibilitem a entrada do ar para dentro do tubo de drenagem. Em casos como esse se faz conveniente a expulsão do oxigênio que remanesce nos tubos (FILHO, 1982).

²⁵ Camada ou combinação de camadas de material permeável disposta de maneira a impedir o carreamento de grãos pela água.

Desempenho da solução: Na tese utilizada para criação dessa ficha não consta o desempenho das soluções apresentadas (FILHO, 1982).

Palavras Chave: Barragem, Xavantes, arenito, rocha vulcânica, filtro obstruído, ferro, aeração do filtro, afogamento.

Bibliografia: FILHO, Carlos L. Maciel. *Estudo do processo geoquímico de obstrução de filtro de barragens*. 1982. 151 f. Tese (Doutorado em Geologia Geral e de aplicação) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.

Caso 11

Obra: Barragem do Saracuruna

Localização: Situa-se no Rio Saracuruna no sopé da Serra do Mar, nos arredores de Duque de Caxias, estado do Rio de Janeiro (22°32'50.1"S 43°16'19.6"W).

Informação técnica: Foi construída entre 1960 e 1962 e tem como objetivo o abastecimento de água para a refinaria de Duque de Caxias.

Circunscrição do problema: No período do enchimento do reservatório foi relatada a ocorrência de vazamentos nas ombreiras, associado ao carreamento de material sólido e surgimento de elevadas pressões piezométricas. Entre 1962 e 1966, foram feitas inúmeras tentativas de mitigação através de injeções (SOARES, 1981).

No fim de 1965 e começo de 1966, ocorreram chuvas extraordinárias que elevaram o nível do reservatório ao máximo durante 90 dias. Esse evento imediatamente impactou nas vazões notificadas nos drenos coletores de água. Os valores piezométricos do maciço compactado registraram níveis acima da cota 50,0 m (valor máximo para a estabilidade da barragem) (SOARES, 1981).

Investigação do problema: No local da implantação da barragem as rochas predominantes são migmatitos e gnaisses. Foram realizados levantamentos de campo para caracterização dessas rochas quanto a suas estruturas, grau de alteração e incidência de solos na região da obra. Foram executadas também sondagens rotativas e a percussão, poços de inspeção, ensaios de infiltração, perda d'água sob pressão, injeção de fumaça, injeção de corantes e de isótopos radioativos (SOARES, 1981).

O principal propósito da investigação geológico-geotécnica foi caracterizar se as elevadas vazões eram causadas por fraturas ou por porosidade. Não houve evidências nem de falhas, nem de sistemas de fraturas que pudessem promover infiltrações d'água. Foi constatado que existe a ocorrência de solo coluvionar predominantemente argiloso (com presença de canalículos) capeando o solo de alteração da rocha. Constatou-se também que a percolação de água se processava

de modo homogêneo sem caminhos preferencias definidos. Foi indicado ainda que os valores de sólidos medidos nos drenos eram cada vez menores que os das águas do reservatório, sinal de uma possível colmatação e/ou assoreamento nas obreiras e superfície de fundo do reservatório (SOARES, 1981).

Formulação de Soluções: Devido a necessidade de se diminuir o acesso da água do reservatório ao maciço, e propiciar o bloqueio do fluxo proveniente do reservatório, associado à necessidade de ter a obra concluída a curto/médio prazo, foi decidido implantar um diafragma plástico²⁶ (SOARES, 1981).

Desempenho da solução: O acompanhamento periódico dos parâmetros de interesse já citados, antes e depois da instalação do diafragma, atestam a sua eficiência (SOARES, 1981).

Palavras chave: Barragem, Saracuruna, rio Saracuruna, Rio de Janeiro, vazamento nas ombreiras, pressão piezométrica, carreamento de sólidos, vazão, migmatito, gnaiss, infiltração de água, solo coluvionar predominantemente argiloso, canalículos, colmatação, assoreamento, diafragma plástico.

Bibliografia: SOARES, Lindolfo. *O emprego de diafragma plástico na recuperação de barragens*. 1981. 117 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Caso 12

Obra: Usina Hidrelétrica de Canoas I

Localização: Está situada no rio Paranapanema, entre os municípios de Itambaracá (PR) e de Cândido Mota (SP) (22°56'31"S 50°31'4"W).

Informação técnica: Iniciou suas operações em 1999 e tem capacidade nominal de 82,50 MW.

Circunscrição do problema: A obra está situada em rochas basálticas da Formação Serra Geral, Bacia do Paraná. Foram identificados seis derrames basálticos, sendo da base para o topo: basalto compacto, sucedido gradativamente para vesículo-amidaloidal, relacionado em alguns casos à brecha basáltica sedimentar ou à lava aglomerática. Uma “anomalia geológica” foi caracterizada ao fim do projeto básico. Uma falha de direção N55°W e mergulho entre 12 e 28° para montante intercepta o eixo da barragem com um ângulo de 70°. Possui grande continuidade e corta todos os derrames. Tal falha desenvolveu-se há cerca de 70 milhões (PEREIRA et al. 2007).

²⁶ Estrutura planar que tem como objetivo a impermeabilização.

A zona de falha tem aproximadamente 15 m de espessura, contudo a parte mais crítica quanto ao fraturamento e alteração tem espessura menor. Durante seu desenvolvimento, os planos de deslocamento demarcaram blocos alongados, ora são, ora muito alterados, acarretando em uma estrutura “anastomosada” para o complexo (PEREIRA et al. 2007).

A falha é do tipo inversa com rejeito vertical de aproximadamente 2 m. Essa zona de falha possui falhas subordinadas ora concordantes ora discordantes do *trend* principal. A orientação da tensão é ~NE-SW/subhorizontal para sigma 1, NW-SE/subhorizontal para sigma 2 e sigma 3 subvertical tanto para a técnica de Arthaud quanto para a dos Diedros Retos (MAGALHÃES, 1999).

Investigação do problema: Foram executados ensaios de permeabilidade sob pressão na região afetada pela falha, e foi constatado que na maior parte os coeficientes de permeabilidade são da ordem de 10^{-2} , valor que indica um maciço altamente permeável (PEREIRA et al. 2007).

Formulação de Soluções: Foi realizado o tamponamento de drenos a fim de verificar a possibilidade de uma diminuição das vazões vertidas com o intuito de aliviar os sistemas de esgotamento das águas de drenagem, sem que a segurança fosse comprometida (ocorreu uma diminuição da permeabilidade total de até 20% em alguns pontos). Associado a esse controle dos drenos foram realizadas injeções de calda de cimento (PEREIRA et al. 2007).

Desempenho da solução: Até agosto de 2006 as estruturas estavam apresentando comportamento normal. A medida de fechamento parcial dos drenos continua e os dados de instrumentação indicam que esta poderá ser mantida em definitivo (PEREIRA et al. 2007).

Palavra chave: UHE, Canoas I, Rio Paranapanema, basalto, Serra Geral, anomalia geológica, estrutura anastomosada, falha inversa, tamponamento de drenos, drenos, injeção de calda de cimento.

Bibliografia: PEREIRA, P.N; SANTOS, R.P; SILVEIRA, J.F.A. Comportamento hidrogeotécnico do maciço rochoso de fundação da UHE Canoas I In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS. 27., 2007. Belém, Comitê brasileiro de barragens, 2007.

MAGALHÃES, F,S. *Tensões regionais e locais: Casos no território brasileiro e padrão geral*. 1999. 240 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

Caso 13

Obra: Instalação industrial para fabricação de cimento da Votorantim.

Localização: Município de Votorantim, no estado de São Paulo (23°35'35.2"S 47°26'08.3"W)

Informação técnica: Uma importante fábrica de cimento pertencente ao grupo Votorantim.

Circunscrição do problema: A obra em questão se situa na unidade geológica do Grupo Açungui, associados a ocorrências de metassedimentos arenosos, argilosos e carbonáticos, associados a corpos graníticos e diques de diabásio. O problema está em espaços vazios na rocha de fundação, que se apresentam de forma tubular alongada, ou então em forma de gruta (NUNES et al. 1976).

Investigação do problema: A ideia era de camadas de calcoxisto que sofreram processos de dissolução e erosão subterrânea. A dissolução da componente carbonática cria uma estrutura porosa, corroída, que ao ser exposta à ação de forças externas (escavação, água de infiltração), desmantela-se, sendo dessa forma carregada e criando os vazios (NUNES et al. 1976).

Formulação de Soluções: a medida mais óbvia para resolver esses problemas seria a mudança do lay-out das estruturas, contudo, não foi possível devido ao estágio de execução da obra no momento em que o problema foi identificado (NUNES et al. 1976).

A solução encontrada foi eliminar os vazios com calda de cimento, cimento-argila ou argamassa injetada, e substituição do material mole (NUNES et al. 1976).

Desempenho da solução: leituras dos aparelhos de instrumentação indicaram que os tratamentos foram eficientes (NUNES et al. 1976).

Palavras chave: Instalação industrial, fábrica de cimento Votorantim, Açungui, vazios na rocha de fundação, calcoxisto, dissolução, calda de cimento.

Bibliografia: NUNES, A. J. C; FILHO, B. C. S; VASCONCELOS, E. M. Problema de fundações em terrenos metamórficos cársticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1., 1976. Belo Horizonte. Anais... Rio de Janeiro: ABGE, 1976. CD.

Caso 14

Obra: AHE Itapebi.

Localização: Localiza-se na bacia do Rio Jequitinhonha, no município de Itapebi, Sul da Bahia (15°58'3"S 39°35'20"W).

Informação técnica: O aproveitamento hidroelétrico começou a operar em 2003, tendo potência instalada de 450MW.

Circunscrição do problema: A rocha no local de construção da obra é parte do escudo cristalino antigo, do Super Grupo Espinhaço. Mais especificamente afloram gnaisses graníticos intercalados por lentes e camadas subhorizontais de biotita-xisto/anfibolito (BX/AF). O arcabouço estrutural é formado por uma foliação regional de direção NW associada a juntas e zonas cisalhadas (ALBERTONI et al, 2003).

O gnaisse apresenta juntas de alívio provenientes da erosão, com direções EW e NS. Essas discontinuidades acarretam em infiltrações de água que produzem alteração nas camadas de BX/AF (ALBERTONI et al, 2003).

As camadas de BX/AF possuem ondulações em escala centimétrica, métrica e decamétrica e podem abranger distâncias maiores que 500m. Possui espessura de 0,20 a 3,00 m e mergulho entre 10° e 20° (ALBERTONI et al, 2003).

Em julho de 2001 um enorme deslizamento de rocha se sucedeu na ombreira esquerda da barragem, englobando o local de implantação do muro lateral direito do vertedouro. O escorregamento deu-se em uma das camadas de biotita-xisto/anfibolito com aproximadamente 12° de inclinação, tendo movimentado algo em torno de 170.000m³ de rocha por cerca de 20m (ALBERTONI et al, 2003).

Investigação do problema: O caráter singular de um deslizamento de tal significância acarretou em uma apuração cuidadosa de suas causas, bem como uma reavaliação dos parâmetros de resistência das camadas de BX/AF (ALBERTONI et al, 2003).

Uma reanálise mostrou que o deslizamento se processou em uma camada de BX/AF com parâmetros de resistência extremamente baixos. Associado a essa reavaliação do modelo geomecânico, também foi realizado uma nova análise geológico-estrutural por meio do mapeamento nas escavações de túneis e taludes, bem como a realização de sondagens (ALBERTONI et al, 2003).

Formulação de Soluções: O conjunto de medidas mitigadoras adotadas visando tanto segurança quanto concepção construtiva foram: **(a)** Reforço da fundação por meio da implantação de chavetas em concreto²⁷ ao longo dos túneis, ou trincheiras escavadas em rocha, de modo que cruzassem as camadas de BX/AF; **(b)** atenuação das subpressões²⁸ instituídas pelo reservatório por meio da escavação de túneis de drenagem adicionais nas ombreiras; **(c)** atirantamento das camadas de BX/AF pouco profundas, possibilitando a escavação e concretagem das chavetas e das estruturas com segurança (ALBERTONI et al, 2003).

Desempenho da solução: Foi feita uma intrincada rede de monitoramento dos parâmetros a fim de garantir que as soluções adotadas fossem eficientes. Entre os

²⁷ É uma peça de um mecanismo que serve de trava para outras peças.

²⁸ Pressão d'água com sentido ascendente.

instrumentos instalados tem-se: inclinômetros, extensômetros²⁹, marcos superficiais e células de carga³⁰, estes com o intuito de controlar possíveis deslocamentos das camadas de BX/AF; e paralelamente, visando monitorar a subpressão, foram alocados piezômetros de tubo aberto e manométricos dentro dos túneis de drenagem. A instrumentação constatou a competência das medidas adotadas em garantir a segurança do empreendimento (ALBERTONI et al, 2003).

Palavras chave: AHE Itapebi, rio Jequitinhonha, Bahia, gnaiss, granito, biotita-xisto/anfibolito, descontinuidade, junta de alívio, infiltração, deslizamento, chavetas em concreto, subpressão, tirantes, túneis de drenagem.

Bibliografia: ALBERTONI, S. C; MORAES, R. B; PEREIRA, R. F. AHE Itapebi – tratamentos especiais das fundações. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 15., 2003. Salvador. Anais... Salvador: Comitê brasileiro de barragens, 2003. p. 1-18.

Caso 15

Obra: UHE's Paulo Afonso.

Localização: Situa-se no rio São Francisco município de Paulo Afonso, Bahia (9°21'48"S 38°12'50"W).

Informação técnica: O complexo hidrelétrico de Paulo Afonso teve sua construção iniciada em 1950 e produz 4280 megawatts de energia.

Circunscrição do problema: No fim da década de 1970, notou-se que o concreto do pavimento dos geradores começou a apresentar várias fissuras verticais e horizontais, que progressivamente estavam aumentando. No começo da década de 1980, alguns pilares que sustentavam trilhos de cabeamento da casa de força de uma das unidades se fragmentaram em razão da expansão do concreto. Em 1981 os problemas se agravaram acarretando no roçamento do rotor da turbina³¹ do gerador GR-3 nos equipamentos a sua volta (SILVA, 2007).

Investigação do problema: A partir do momento em que o quadro de fissuras, especialmente na área do octógono dos geradores começou a ser bastante relevante, houve muitas suspeitas de RAA (reação álcali-agregados). A comprovação veio quando o mesmo problema foi confirmado em uma usina da região que havia usado o mesmo material de construção (LOPES et al. 2001).

²⁹ Instrumento empregado para a medição de deformação em maciços rochosos.

³⁰ Instrumento utilizado para controlar o comportamento de carga atuante em escoramentos de escavações subterrâneas ou a céu aberto.

³¹ É onde ocorre a conversão da potência hidráulica em potência mecânica no eixo da turbina.

Foram realizadas sondagens para extração de amostras para ensaios de compressão, resistência e petrografia. Quanto à petrografia, concluiu-se que os agregados analisados eram de natureza ígnea e metamórfica sendo em sua maioria granitos e gnaisses. Levando em conta a possibilidade de reação com concreto, estão disponíveis os feldspatos alcalinos, o quartzo deformado com extinção ondulante e os quartzos estirados. Em algumas amostras o feldspato está saussuritizado o que propicia o RAA. Existem ainda materiais isotrópicos os quais podem ser produto da RAA (LOPES et al. 2001).

Formulação de Soluções: Houve a necessidade em caráter emergencial, de se adotar uma solução para impedir que o RAA danificasse os equipamentos. Foi feito um realinhamento de todo o aparato. Por meio da instrumentação e de simulações (havia a necessidade de uma medida mitigadora em longo prazo) concluiu-se que a abertura de juntas acarretaria na diminuição de tensões de tração causadas pela expansão do concreto; essa solução foi empregada por meio da abertura de três juntas no meio dos blocos com 30 mm cada (SILVA, 2007).

Desempenho da solução: Análises mostraram que a taxa de expansão vertical diminuiu 25% no concreto da casa de força e 50% no concreto da tomada d'água, em virtude da solução empregada (SILVA, 2007).

Palavras Chave: UHE Paulo Afonso, rio São Francisco, Bahia, expansão do concreto, RAA, reação álcali-agregados, fissuras, petrografia, granito, gnaiss, feldspatos alcalinos, quartzo deformado, extinção ondulante, saussuritização, realinhamento, abertura de juntas.

Bibliografia: SILVA, P. N. Reação álcali-agregado nas usinas hidrelétricas do complexo Paulo Afonso/chesf: influência da reação nas propriedades do concreto. 2007. 241 f. Tese (Mestrado em Engenharia) – Escola politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.

LOPES, A. N. M. L; HASPARIK, N. P; TRABOULSI, M. A; CAVALCANTI, A. J. C. T; SILVEIRA, J. F. A. Investigação de RAA em testemunhos de concreto procedentes das UHE's Paulo Afonso I, II, III e IV. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 14., 2001. Fortaleza. Anais... Fortaleza: Comitê brasileiro de barragens, 2001. p. 1-19.

Caso 16

Obra: Usina hidrelétrica de Água Vermelha.

Localização: Se situa no Rio Grande, município de Ouroeste, São Paulo (19°55'38"S 49°52'17"W).

Informação técnica: Começou a ser construída em 1973 e teve seu término em 1979. Possui potencia instalada de 1396 MW.

Circunscrição do problema: A obra está situada sobre os derrames basálticos da formação Serra Geral, Bacia do Paraná, tendo cada derrame por volta de 30 a 40 m de espessura (BJÖRNBERG et al, 1980).

Na região de implantação da obra, ocorreram estruturas paralelas aos derrames, as chamadas “juntas – falhas”. Essas estruturas foram, inicialmente, a principal preocupação dos projetistas ao construírem barragens em maciço basáltico. Em particular, a junta da cota 305 teve peso decisivo no projeto em razão de suas propriedades geomecânicas ruins (BJÖRNBERG et al, 1980).

Ocorre também na região uma feição ímpar do ponto de vista geotécnico. A existência de estruturas circulares, que foram identificados como sendo condutos vulcânicos preenchidos por brechas piroclásticas e por microderrames basálticos, originados em ambiente subaéreo. A partir de levantamentos de dados da bibliografia concluiu-se que esses condutos estão associadas a explosão por gases magmáticos (ARAÚJO, 1982).

A problemática em torno das estruturas circulares está no fato de possuir muito baixas características geomecânicas quando comparado com o basalto “usual” e ainda uma grande intensidade de fraturamento (BJÖRNBERG et al, 1980) .

Investigação do problema: Foram executadas sondagens rotativas, ensaios de cisalhamento direto, in situ e em laboratório, ensaios de permeabilidade (a junta 305 possui elevadas permeabilidades) e deformabilidade (BJÖRNBERG et al, 1980).

Formulação de Soluções: Inicialmente, o eixo da barragem estava planejado para um local próximo a uma cachoeira que iria potencializar o seu aproveitamento energético. Contudo, estava sobre as referidas estruturas circulares, as quais possuem características geotécnicas inapropriadas, o que levou ao estudo da possibilidade de se deslocar o eixo. Entretanto, uma mudança da ordem de dezenas de metros não seria suficiente, pois devido à continuidade das estruturas, seria necessário uma mudança de centenas de metros, o que acarretaria em problemas sérios, tais como erosão, devido as novas condições construtivas, uma topografia mais complicada nos locais alternativos para alocação da barragem, devido a não melhora no quadro da junta 305 por esta se prolongar regionalmente (BJÖRNBERG et al, 1980).

Foi decidido manter-se o local de implantação da obra com alguns ajustes. Para fins hidráulicos, houve uma modificação no ângulo horizontal entre a tomada d'água³² e o vertedouro³³, para um ângulo convexo para jusante. Foi modificada a posição de

³² Abertura por onde entra a água direcionada a casa de força.

³³ Estrutura pela qual escoo o fluxo de água excedente do reservatório.

algumas estruturas de modo que ficassem ou totalmente no basalto denso, ou totalmente nas estruturas circulares, evitando assim o recalque³⁴ diferencial. Foi executada a construção da tomada d'água à direita do vertedouro, a fim de aproveitar um canal de escoamento e uma bacia de dissipação³⁵ naturais (BJÖRNBERG et al, 1980).

Objetivando atenuar as vazões e subpressões³⁶ foram realizadas injeções e instalados drenos com atenção especial a junta 305 onde foram feitas 3 linhas de tratamento a montante e 3 linhas a jusante (BJÖRNBERG et al, 1980).

Desempenho da solução: Não foi encontrado informações sobre o desempenho das soluções.

Palavras chave: UHE, Agua Vermelha, rio grande, São Paulo, basalto, Serra Geral, Bacia do Paraná, junta-falha, estruturas circulares, condutos vulcânicos, características geomecânicas ruins, recalque diferencial, subpressão.

Bibliografia: BJÖRNBERG, A. J. S; SANTOS, C. A. F. F; ZEFES, S. Decisões técnicas relacionadas com a barragem de Água Vermelha. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 13., 1980. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Comitê brasileiro de barragens, 1980. p. 1 -24.

ARAÚJO, J. S. *Estruturas circulares de Água Vermelha*. 1982. 89 f. Tese (Mestrado em Geologia) - Instituto de geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.

Caso 17

Obra: Espigões e gabiões para contenção de erosão costeira.

Localização: Município de Mucuri, Bahia. Coordenadas aproximadas: (18°15'34"S 39°38'47"W).

Circunscrição do problema: O município de Mucuri luta contra a erosão costeira desde a década de 1980. Entretanto, de acordo com moradores, esse processo já ocorria na década de 1970. Para compreender a dimensão do problema, entre janeiro de 1998 e setembro de 1999, houve o recuo de 15 metros da linha de costa. Isso trouxe prejuízos econômicos para o município devido a diminuição de turistas na região (MURTA et al. 2002).

³⁴ Rebaixamento em função do adensamento do solo ou rocha sob a fundação.

³⁵ Estrutura que tem como objetivo dissipar a velocidade da água e o seu potencial erosivo.

³⁶ Pressão d'água com sentido ascendente.

Investigação do problema: Foram feitas análises meteorológicas, oceanográficas e sedimentológicas com o intuito de compreender a dinâmica costeira dessa região e assim embasar a decisão do tipo de solução a ser empregada (MURTA et al. 2002).

A parte do litoral estudado é uma costa aberta dominada por ondas com direção NE. No meio do setor NE e do SW está localizado o estuário do Rio Mucuri, que pertence ao grupo dos dominados por ciclos de maré e pela força do fluxo fluvial em sua parte interna (Boyd et al, 1992). Os sedimentos fluviais ocorrem em maior proporção do que os sedimentos marinhos no estuário do Rio Mucuri (MURTA et al. 2002).

Durante longos períodos os ventos sopram para NE, têm caráter fraco, e originam uma corrente costeira para SW com competência e capacidade reduzidas. Ventos SW e SE ocorrem durante curtos períodos e marcam frentes frias. Ainda que por pouco tempo, são os mais importantes para a dinâmica costeira e geram correntes para NE com elevada competência e capacidade de carga (MURTA et al. 2002).

A linha de costa apresenta uma continuidade na erosão, o que denota um balanço negativo de sedimentos (MURTA et al. 2002).

Formulação de Soluções: Primeiramente, foi feito um processo de difusão da informação aos habitantes da região de que, ao terem partes dos seus imóveis destruídos pelo mar, eles não deveriam reconstruir. Formularam-se também projetos de urbanização e incentivo para outro setor onde a costa não estava recuando (MURTA et al. 2002).

Foi executada uma modelagem bidimensional³⁷ da região afetada, com a construção de espigões³⁸ em distancias calculadas, propiciando a criação de um modelo para atenuar a erosão costeira. (MURTA et al. 2002).

Desempenho da solução: No artigo utilizado para confeccionar essa ficha não consta o desempenho da solução.

Palavras chave: Erosão costeira, espigões, gabiões, Mucuri, Bahia, dinâmica costeira, costa aberta dominada por ondas, modelagem bidimensional.

Bibliografia: MURTA, C. R; LEITE, M. G. P; SOBREIRA, F. G; LAURIA, P. H. F. Concepção de solução para o controle de erosão costeira no município de Mucuri, BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 10., 2002. Ouro Preto. Anais... Ouro Preto: ABGE, 2002. p. 1-8.

³⁷ Em modelos bidimensionais é utilizado o parâmetro G (difusividade da linha de praia). Este parâmetro é utilizado para dimensionar o tempo necessário para recuperação da praia depois da instalação de um espigão.

³⁸ Estruturas perpendiculares a linha de costa que provocam o fenômeno da difração.

Caso 18

Obra: Usina Hidrelétrica de Irapé.

Localização: Está situado no Rio Jequitinhonha entre os municípios de Berilo e Grão Mongol, região nordeste de Minas Gerais (16°44'6"S 42°34'15"W).

Informação técnica: Tem potencia instalada de 360 MW.

Circunscrição do problema: A usina se encontra na Faixa Araçuaí, que bordeja o Cráton São Francisco. A rocha predominante é um quartzo-mica-xisto grafitoso, e secundariamente ocorrem coberturas sedimentares areno-argilosas de idade terciária. A problemática a ser abordada está na presença peculiar de sulfetos de ferro disseminados, predominantemente na forma de pirrotita (FeS) (LIMA et al, 2005).

Reações internas e externas ocorrem com o cimento quando há o emprego de agregados sulfetados/sulfatados. No que diz a respeito às relações internas, os sulfetos acarretam a acidificação da água de amassamento que provocam danos aos produtos secundários da hidratação do cimento, levando a uma deterioração gradativa do concreto. Adicionalmente, é possível que ocorra ainda interação com os produtos da hidratação do cimento, acarretando, a geração de fissuras no agregado, ou na superfície, com desagregação do concreto (LIMA et al, 2005).

As reações externas são resultado do contato da água com sulfetos (rocha encaixante, enrocamento e aterro), causando a solubilização dos sulfetos e criando assim uma substância ácida que ataca as estruturas da barragem (LIMA et al, 2005).

Investigação do problema: Para a correta qualificação do ambiente geológico do local de construção da obra, realizaram-se sondagens rotativas, ensaios de perda d'água, mapeamento geológico geotécnico, petrografia e geoquímica (não foram revelados quais ensaios geoquímicos foram feitos). O intuito era averiguar o potencial para criação de efluentes ácidos. Os dados geoquímicos mostraram que todas as amostras analisadas (36 amostras) possuíam a capacidade de originar soluções ácidas (LIMA et al, 2005).

Formulação de Soluções: Não foi possível utilizar como agregado a rocha oriunda da escavação obrigatória (ela foi utilizada como enrocamento). Assim, fez-se inevitável explorar outro material, tal como um metadiamicrito com baixos teores de enxofre situado a 3,5 Km da barragem (LIMA et al, 2005).

Cimento resistente a sulfato foi empregado em todo o concreto do empreendimento. Além disso, utilizou-se mais cimento, normalmente valores maiores que 300 Kg/m³, e, complementarmente, foi adicionado microsílica ou metacaolim (LIMA et al, 2005).

Foi realizada uma proteção das estruturas permanentes visando o longo prazo da obra e com o objetivo de isolá-las das rochas e dos ocasionais efluentes ácidos,

originados de percolação. Essa proteção consiste em tintas epóxi³⁹ sem solvente e revestimentos elastoméricos a base de poliuretano⁴⁰ (LIMA et al, 2005).

A barragem foi zonificada com o intuito de atenuar a criação de fluidos sulfetados, bem como a corrosão. Paralelamente, foram adicionadas mantas de PEAD (polietileno⁴¹ de alta densidade), a fim de diminuir a passagem de água (LIMA et al, 2005).

As barras de ancoragem foram submetidas a tratamento anticorrosivo, para não se degradarem em um potencial ataque ácido. As injeções de calda de cimento, também foram devidamente adaptadas (Microcimento de Alta Resistência a Sulfatos) para serem resistentes a acidez (LIMA et al, 2005).

Desempenho da solução: Não foi encontrado informações sobre o desempenho das soluções empregadas (LIMA et al, 2005).

Palavras chave: UHE Irapé, rio Jequitinhonha, Minas Gerais, faixa Araçuaí, Cráton São Francisco, quartzo-mica-xisto grafitoso, coberturas sedimentares areno-argilosas, sulfeto de ferro, pirrotita, reações internas, reações externas.

Bibliografia: LIMA, A. L. C; FILHO, R. D. M; WUNDER, E. Influência da presença de sulfetos na implantação da UHE Irapé – Vale do Jequitinhonha – Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 1., 2005. Florianópolis. Anais... Florianópolis: ABGE, 2005. p. 1-14.

Caso 19

Obra: Fundação da Barragem de Porto Primavera.

Localização: Rio Paraná na divisa entre São Paulo e Mato Grosso do Sul (22°26'1"S 52°58'11"W).

Informação técnica: As três primeiras unidades entraram em operação em março de 1999 e a quarta unidade em 2003, tendo potencia instalada de 1.540 MW.

Circunscrição do problema: As litologias encontradas na fundação da obra em questão são: derrames basálticos, microderrames^a, “basalto leve^b” e os arenitos da Formação Caiuá (litologias essas pertencentes à Bacia do Paraná) (MARQUES et al, 1987).

Os estudos foram feitos até as margens das escavações da obra, por isso só contemplam a parte mais superior dos derrames basálticos. A parte de cima do

³⁹ Revestimento de alta qualidade que confere resistência.

⁴⁰ Revestimento bicomponente aplicado na forma de pintura com boa resistência.

⁴¹ Impermeabilizante para fundações.

basalto, cerca de 1 m, é composta por brecha basáltica arenosa, que por vezes está associada a basalto vesículo-amigdaloidal, com espessura de no máximo 2 m, que progressivamente se torna um basalto compacto, podendo alcançar 30m em algumas regiões. O derrame possui fraturas subverticais no centro e fraturas sub-horizontais; as juntas e falhas possuem grande extensão lateral (MARQUES et al, 1987).

^aMicroderrames consistem em derrames de basalto com continuidade e espessura diminutas. Sendo usualmente compostos por basalto vesículo-amigdaloidal e localmente onde incidem com espessura maior, basalto compacto (MARQUES et al, 1987).

^bO “basalto Leve” é uma rocha impar, muito distinta do basalto usual da Formação Serra Geral. É constituído de argilo-minerais expansivos (montmorilonita e paligorsquita) e carbonato. Tal mineralogia atribui a essa rocha uma massa específica baixa (bem menor que a do basalto comum). Essa litologia é encontrada como bolsões erráticos que chegam a apresentar extensão de 300 m. O contato com o basalto encaixante é frequentemente gradual, localmente sendo abrupto onde se associa a uma fratura ou um contato de microderrames. Essa rocha apresenta um aspecto de brecha em razão do forte micro-fraturamento (MARQUES et al, 1987).

O arenito é formado por areia fina e média, grãos subarredondados e arredondados, estratificação cruzada e cimento limonítico, localmente carbonático. O maciço é pouco fraturado, sendo as principais fraturas verticais a subverticais (MARQUES et al, 1987).

Não foram encontradas na pesquisa bibliográfica as implicações geotécnicas dessas litologias.

Investigação do problema: Foram realizadas sondagens, e mapeamento para investigação das litologias.

Palavras-Chaves: Fundação, barragem, Porto Primavera, rio Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, basalto, microderrames, basalto leve, arenito, Formação Caiuá, Bacia do Paraná.

Bibliografias: MARQUES, J. D; MAGALHÃES, F. S; JÚNIOR, E. S. Análise das feições estruturais do maciço rochoso nas fundações da barragem de Porto Primavera. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 5., 1987. São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 1987. p. 1-13.

Caso 20

Obra: UHE Isamu Ikeda.

Localização: Localiza-se no rio das Balsas, entre os municípios de Monte do Carmo e Ponte Alta do Tocantins, no estado do Tocantins.

Informação técnica: Foi construída entre 1980 e 1982 e possui potencia instalada de 30 MW (10°41'52"S 47°47'31"W).

Circunscrição do problema: O Rio das Balsas se situa na Bacia sedimentar do Maranhão na formação Pimenteiras (arenitos intercalados com folhelhos e siltitos), que ocorre capeando o embasamento cristalino (complexos plutônicos, magmáticos e metamórficos) pré-cambriano (GUIDICINI, 1984).

As estruturas de concreto da obra estão sobre um arenito chamado de “malhado” (nome dado devido a ocorrência frequente de manchas de óxido de ferro). A granulometria do arenito varia de fina a média, e possui lentes de argilito e siltito (GUIDICINI, 1984).

No começo da construção, na escavação da ombreira esquerda foi verificado um escorregamento da ordem de centenas de metros cúbicos de material. Na sequencia ocorreu outro escorregamento de proporções parecidas (GUIDICINI, 1984).

Investigação do problema: Uma investigação geotécnica evidenciou a presença de uma “caixa de falha” com largura de cerca de 10 metros, onde as camadas sedimentares não estavam em sua posição original, tendo sido rompidas e basculadas. Devido a presença dessas estruturas começaram a aparecer fendas de tração nas regiões afetadas (GUIDICINI, 1984).

As investigações realizadas durante o período de estudos prévios a execução da obra não identificaram a problemática citada acima (GUIDICINI, 1984).

Formulação de Soluções: Foi necessário realizar um retaludamento dos cortes de modo que ficassem mais suaves; esta adaptação resultou na criação de um “anfiteatro” de escala significativa (GUIDICINI, 1984).

Desempenho da solução: A solução foi eficiente na garantia da segurança da obra (GUIDICINI, 1984).

Palavras chave: UHE, Isamu Ikeda, rio das Balsas, Tocantins, Bacia sedimentar do Maranhão, formação Pimenteiras, embasamento cristalino, arenito malhado, óxido de ferro, arenito, argilito, siltito, escorregamento, caixa de falha, retaludamento.

Bibliografia: GUIDICINI, G. O imprevisto geológico e seus reflexos em obras de engenharia: um caso real. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 4., 1984. Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ABGE, 1984. p. 1-10.

5. DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES

Os casos selecionados para este trabalho foram resumidos para se encaixarem na metodologia das fichas e para apresentarem uma ideia sintética e objetiva, o que pode, dependendo da necessidade do leitor, se mostrar insuficiente. Sobre isso vale ressaltar que em alguns casos de fato algumas informações importantes podem ter sido suprimidas, contudo, podem ser resgatadas nas bibliografias citadas na lista de referência. Em alguns outros casos, a relativa ausência de informações relevantes se dá devido a própria bibliografia utilizada como fonte de informação, a qual encontra-se incompleta ou confusa em relação a determinados pontos.

Apesar das dificuldades, os casos compilados são uma fonte valiosa de informação, que fornece ao usuário/pesquisador um meio rápido e prático para checar problemas e soluções em diversos tipos de obras civis, sobretudo no que concerne a região sul/sudeste do Brasil. Este trabalho também tem um grande potencial para expansão, tanto na compilação de mais casos e assim enriquecimento na quantidade e qualidade das informações, bem como no aprimoramento da interface do banco de dados, a qual é extremamente simples (algo compreensível tendo em vista que o trabalho intelectual dessa monografia é em geologia de engenharia).

6. CONCLUSÕES

Este trabalho é o resultado de uma compilação de dados, baseada, em informações disponíveis na literatura, sobre problemas ocasionados por fatores geológicos em obras civis, localizadas, majoritariamente, na região sul e sudeste do Brasil. A partir dessa compilação, buscou-se fornecer uma plataforma de informações resumida, de cunho prático e objetivo, na qual é possível ao usuário fazer uma busca rápida sobre tipos de problemas e respectivas soluções para os mesmos.

É possível observar por meio dos casos apresentados a grande gama de intervenções que a Geologia de Engenharia executa em projetos de obras civis. Embora este trabalho tenha priorizado empreendimentos hidro energéticos, a abrangência de intervenções é ainda muito maior quando se avalia o espectro inteiro das obras de engenharia. Mesmo dentro das hidrelétricas há uma infinidade de casos que não foram contemplados nesse estudo.

A partir deste trabalho observa-se a importância dos estudos geológicos em obras civis; um exemplo interessante disso é o **Caso 5** da Barragem de Guaiba Country Club, onde a ausência de estudos geológico-geotécnicos acarretou em graves acidentes, ainda que esta barragem seja considerada uma obra de pequena dimensão.

É notável que exista uma infindável quantidade de feições geológicas com implicações geotécnicas singulares. Outros exemplos muito interessantes são observados no **Caso 15** onde a RAA (reação álcali agregados) surpreendeu a todos, pois era algo na fronteira do conhecimento (algo inédito em obras de engenharia), e no **Caso 16**, em que todos os envolvidos na obra tiveram muitas dúvidas quando as primeiras informações vieram à tona tendo em vista que era difícil caracterizar as estruturas circulares com as sondagens. Essas feições continuarão a aparecer em futuras obras e talvez esse trabalho possa prevenir “inconvenientes” e auxiliar na proposição de soluções.

Em alguns casos pode-se perceber que a avaliação e a “desconfiança” tem que ser constantes, pois mesmo em maciços de classe boa existe a possibilidade de ocorrer problemas geotécnicos significativos, como no **Caso 2**, onde o maciço granito-gnáissico era bom e ainda assim ocorreram deslizamentos, ou no **Caso 4**, onde a abertura do túnel acarretou na liberação de tensões residuais.

Uma boa parte dos casos (seis) está associada a basaltos, o que permite algumas observações sobre essa litologia. Durante a construção de obras em basaltos sempre existe uma preocupação particular com os contatos entre os derrames, e as elevadas permeabilidades oriundas deles. Essa feição (os contatos) pode ser considerada como usual e largamente contemplada pela bibliografia especializada. Feições particulares como as estruturas circulares encontradas em Água Vermelha demonstram que mesmo uma litologia considerada bem estudada, como no caso do basalto, dado o grande número de empreendimentos situados em seu substrato, pode surpreender o meio técnico. Ainda hoje, passados mais de 30 anos da construção da usina de Água Vermelha, e com o notável avanço no conhecimento da Geologia de Engenharia, existem inúmeros condicionantes geológicos ligados ao basalto que demandam o contínuo aprendizado/investigação dos profissionais dessa área. É notável também que outro importante fator refere-se ao controle estrutural, que é responsável por grande parte dos problemas geotécnicos em todos os tipos de litologia, incluindo os basaltos. Três dos seis casos que incluem os basaltos têm problemas ligados a fatores estruturais, o que denota a importância do conhecimento a cerca do arcabouço estrutural para a segurança das obras civis.

O objetivo primordial era disponibilizar o banco de dados aqui apresentado no site do Departamento de Geologia da UFPR, de modo que todos os interessados pudessem facilmente acessar. Contudo, devido a greve atual dos servidores da UFPR, que impede a realização de alguns serviços de informática, a referida disponibilização virtual não foi possível.

REFERÊNCIAS

- SANTOS, Álvaro Rodrigues dos. *Geologia de Engenharia: conceitos, métodos e prática*. São Paulo: IPT, 2002, 219 pp.
- COULON, F.K. Condicionante geológica em acidente no vertedouro de uma barragem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 2., 1978. Anais... São Paulo: ABGE, 1978. CD.
- SOUZA, F.A. Escavações subterrâneas em maciços rochosos sob tensões anômalas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 11., 2005. Anais... Florianópolis: ABGE, 1978.
- AZEVEDO, A.A. A incorporação de incertezas de natureza geológica no projeto e construção de túneis urbanos – proposta baseada na teoria da decisão. 2002. 201 f. Tese (Doutorado em Geologia de Engenharia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 2002.
- MELLO, L. G. F. S. O tratamento de Solos Residuais Condicionados por Canalículos; Um Caso de Obra. In: Conferência Íbero-Americana sobre Aproveitamento Hidráulicos, 1987, Lisboa, 1987.
- MANO, Vinicius Gomes Taveira. *Estudos geológicos geotécnicos das descontinuidades rochosas, “pillow lavas” e paleocanal nos basaltos de fundação da barragem de Nova Avanhandava, rio Tietê (SP)*. 1987. 109 f. Dissertação (Mestrado em geologia geral e de aplicação) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- FILHO, B.C.S; COULON, F.K; MOLINA, H.T. Estudos geológico-geotécnicos na barragem do Anel de Dom Marco (RS) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 13., 2011. São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 2011. CD.
- FILHO, Carlos L. Maciel. *Estudo do processo geoquímico de obstrução de filtro de barragens*. 1982. 151 f. Tese (Doutorado em Geologia Geral e de aplicação) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- SOARES, Lindolfo. *O emprego de diafragma plástico na recuperação de barragens*. 1981. 117 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- PEREIRA, P.N; SANTOS, R.P; SILVEIRA, J.F.A. Comportamento hidrogeotécnico do maciço rochoso de fundação da UHE Canoas I In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS. 27., 2007. Belém, Comitê brasileiro de barragens, 2007.

MAGALHÃES, F.S. *Tensões regionais e locais: Casos no território brasileiro e padrão geral*. 1999. 240 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

NUNES, A. J. C; FILHO, B. C. S; VASCONCELOS, E. M. Problema de fundações em terrenos metamórficos cársticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1., 1976. Belo Horizonte. Anais... Rio de Janeiro: ABGE, 1976. CD.

ALBERTONI, S. C; MORAES, R. B; PEREIRA, R. F. AHE Itapebi – tratamentos especiais das fundações. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 15., 2003. Salvador. Anais... Salvador: Comitê brasileiro de barragens, 2003. p. 1-18.

SILVA, P. N. Reação álcali-agregado nas usinas hidrelétricas do complexo Paulo Afonso/chesf: influência da reação nas propriedades do concreto. 2007. 241 f. Tese (Mestrado em Engenharia) – Escola politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.

LOPES, A. N. M. L; HASPARIK, N. P; TRABOULSI, M. A; CAVALCANTI, A. J. C. T; SILVEIRA, J. F. A. Investigação de RAA em testemunhos de concreto procedentes das UHE's Paulo Afonso I, II, III e IV. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 14., 2001. Fortaleza. Anais... Fortaleza: Comitê brasileiro de barragens, 2001. p. 1-19.

BJÖRNBERG, A. J. S; SANTOS, C. A. F. F; ZEFES, S. Decisões técnicas relacionadas com a barragem de Água Vermelha. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 13., 1980. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Comitê brasileiro de barragens, 1980. p. 1 -24.

ARAÚJO, J. S. *Estruturas circulares de Água Vermelha*. 1982. 89 f. Tese (Mestrado em Geologia) - Instituto de geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.

MURTA, C. R; LEITE, M. G. P; SOBREIRA, F. G; LAURIA, P. H. F. Concepção de solução para o controle de erosão costeira no município de Mucuri, BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 10., 2002. Ouro Preto. Anais... Ouro Preto: ABGE, 2002. p. 1-8.

LIMA, A. L. C; FILHO, R. D. M; WUNDER, E. Influência da presença de sulfetos na implantação da UHE Irapé – Vale do Jequitinhonha – Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 1., 2005. Florianópolis. Anais... Florianópolis: ABGE, 2005. p. 1-14.

MARQUES, J. D; MAGALHÃES, F. S; JÚNIOR, E. S. Análise das feições estruturais do maciço rochoso nas fundações da barragem de Porto Primavera. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 5., 1987. São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, 1987. p. 1-13.

GUIDICINI, G. O imprevisto geológico e seus reflexos em obras de engenharia: um caso real. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 4., 1984. Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ABGE, 1984. p. 1-10.

BARTON, N.; LIEN, R.; LUNDE, J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics and Rock Engineering, Berlim, v. 6, n. 4, p. 189-236, 1974.

BIENIAWSKI, Z. T. Engineering rock mass classifications. New York: Wiley, 1989.

COSTA, W. D. Geologia de Barragens. 1.ed., São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

TOGNON, A. A. Glossário de termos técnicos de geologia de engenharia. 1.ed., São Paulo: ABGE, 1985.

MICROSOFT CORPORATION. Microsoft Office Word version 14.0.4762.1000. Redmond, 2010.

MICROSOFT CORPORATION. Microsoft Office Excel version 14.0.7147.5000. Redmond, 2010.

ESRI. ArcGIS Desktop 10 service pack 5. Redlands, 2010.