

Ponte Sobre o Rio Ventania – Reforço Estrutural do Pilar P3.

Chêiviston Glaucos Menezes e Silva, Walles de Jesus Lopes Pereira, Júlio Carlos Pereira, Antônio Pedro de Oliveira Filho

Cemig-Companhia Energética de Minas Gerais / EPEC–Gerência de Engenharia Civil de Expansão da Geração / cheiviston.silva@cemig.com.br, walles@cemig.com.br, jlcarlos@cemig.com.br, antoniopo@cemig.com.br

Resumo:

Em 2005, por ocasião da implantação da UHE Irapé, a Cemig construiu uma ponte rodoviária mista sobre o rio Ventania, em Grão Mogol MG, para atender o nível d'água (NA) formado pelo reservatório e preservar o tráfego de veículos na região. Em novembro de 2013, com o NA rebaixado, observaram-se avarias no pilar P3, e por segurança, optou-se por interditar sumariamente o tráfego de veículos. O NA não permitia inspeção visual de todo o P3, então foi realizada filmagem subaquática em fevereiro de 2014 para conhecer a extensão dos danos estruturais. Constatou-se ruptura em uma das paredes do P3, mostrando a gravidade das condições estruturais. O projeto executivo da implantação previa pilares em concreto armado de seção retangular vazada e paredes esbeltas, com instalação de drenos para equalização das pressões internas e externas à estrutura. Entretanto, as inspeções subaquáticas não identificaram a presença de drenos no P3. Após diagnóstico e avaliação técnica, recomendou-se o reforço estrutural do P3, justificado pela sua diminuição de seção. Posteriormente, a análise estrutural por elementos finitos modelados em SAP 2000®, considerando inexistência dos drenos, confirmou a possibilidade de ruptura do pilar em função do empuxo d'água, como podia ser observado “in loco” e reforçando a ideia que a deformação estava associada à ausência dos drenos projetados. Foi indicado reforço por envelopamento completo do P3, buscando restabelecer sua capacidade portante. Para conhecimento dos esforços solicitantes e resistentes no reforço, toda a ponte foi remodelada em SAP 2000®, admitindo-se que o envelopamento receberia todos os esforços atuantes, inclusive pesos próprios e desconsiderando-se a parcela resistente residual no P3. A recuperação do P3 consistiu em trabalhos subaquáticos e acima do NA, revestindo-o completamente desde a fundação até a mísula, por uma nova estrutura em concreto armado de paredes esbeltas e assemelhando-se ao projeto original da implantação.

Palavras-chave

Ponte rodoviária; reforço estrutural; concreto armado; seção retangular vazada; drenos; deformação.

1. Introdução

A ponte de jusante sobre o rio Ventania, teve sua concepção de projeto possuindo 05 vãos de 35,00m cada um, perfazendo uma extensão total de 175,00m. Foi construída pela Cemig – Companhia Energética de Minas Gerais, com o objetivo de recompor a ligação viária entre os municípios de Grão Mogol e Josenópolis MG, que seria interrompida pela formação do reservatório da Usina Hidrelétrica de Irapé, em implantação. A ponte do Ventania, como ficou conhecida, foi entregue ao uso público em 06/04/2005 (ver Figuras 1 e 2).

A ponte está localizada sobre o rio Ventania, afluente do rio Jequitinhonha, no município de Grão Mogol, MG. A partir de Grão Mogol toma-se a direção leste, por uma estrada não pavimentada e segue-se por mais 20 km até encontrar o local. As coordenadas de referências são: 16°32'09"S e 42°44'46"W.



Figura 1 - Vista de fase construtiva da ponte sobre o rio Ventania



Figura 2 - Vista lateral da ponte sobre o rio Ventania

Em novembro de 2013, com o nível do reservatório baixo, foram constatados danos em um dos pilares de sustentação da ponte, o pilar P3 (ver Figuras 3 e 4).

Verificou-se que não existiu equívoco no projeto executivo de implantação e a condição de estabilidade da ponte não seria comprometida se suportasse apenas o seu

peso próprio, mesmo com o problema ocorrido. Sendo assim, não foi necessário ter sua superestrutura escorada, desde que o tráfego sobre a mesma estivesse interdito.

Como o nível do reservatório não permitiu a inspeção visual de toda a área afetada do pilar P3, foi realizada uma filmagem subaquática em fevereiro de 2014, pela Hydrotech Serviços Subaquáticos.



Figuras 3 e 4 - Face danificada do pilar P3

Através dessa filmagem foi constatada a ruptura de uma porção em uma das paredes do pilar P3, a 8,00m acima da cota do topo do bloco de fundação, que mostrou a gravidade das condições estruturais do mesmo. Não foram encontrados os drenos no pilar P3, contrariando as condições previstas em projeto executivo. Em todos os outros pilares da ponte os respectivos drenos foram identificados.

O diagnóstico e avaliação técnica dos pilares, através de Laudo Técnico produzido pela MTF Consultoria e Projetos, apontou a necessidade de reforço estrutural do pilar P3, uma vez que houve perda na sua capacidade portante, além de recomendar também o controle por nivelamento topográfico quinzenal das estruturas avariadas.

Nesse ínterim, foram contratadas a JMS Topografia e Projetos para o monitoramento topográfico das estruturas e a VLB Engenharia para proceder às análises da estrutura avariada, bem como desenvolver solução e elaborar o projeto de reforço. Após a análise estrutural, utilizando-se modelagem por elementos finitos para a condição de não existência dos drenos no P3, constatou-se que ocorreria a ruptura compatível com aquela que podia ser observada “in loco”. Comprovou-se, portanto, que, a deformação presente no pilar P3 estava associada principalmente à não existência dos drenos projetados, o que gerou a ocorrência de carregamentos não considerados na memória de cálculo do projeto executivo de implantação.

2. Análise estrutural para reforço do pilar P3

2.1 Geometria do reforço

A alternativa mais segura e adequada proposta para o reforço do pilar P3, que estava seriamente danificado, se deu por meio do *envelopamento* de todo o pilar, face ao estado em que o mesmo se encontrava. A nova estrutura para reforço por *envelopamento* preservou a geometria da concepção original de projeto e visava absorver os esforços atuantes, em caso de colapso futuro da estrutura existente.

2.2 Modelo estrutural

Para se chegar aos esforços solicitantes e resistentes na estrutura de reforço do Pilar P3, foi desenvolvido um modelo estrutural de toda a estrutura da ponte no *software* de elementos finitos SAP 2000® (ver Figura 5).

Para a análise estrutural, admitiu-se que o reforço a ser introduzido (nova estrutura) receberia todos os esforços atuantes, inclusive o peso próprio da ponte, já que era grande a incerteza sobre a parcela resistida pela estrutura avariada.

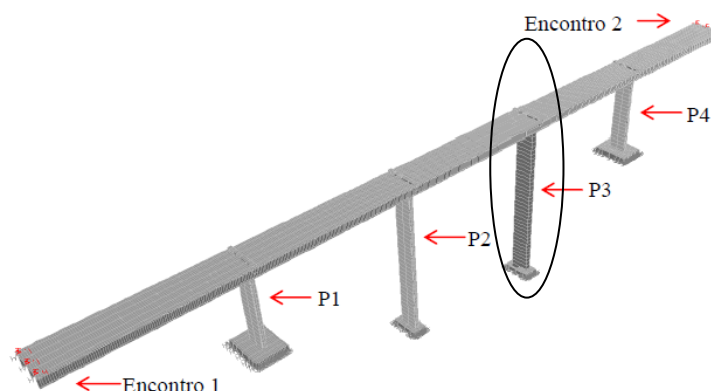


Figura 5 - Modelo Estrutural

2.3 Características mecânicas dos materiais utilizados no reforço

Apresentam-se a seguir as principais características mecânicas dos materiais empregados no reforço do Pilar:

Concreto: $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$

Aço para concreto CA 50: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

Peso específico do concreto: $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$

2.4 Carregamentos

Os carregamentos considerados foram: força normal devida ao peso próprio, carregamento móvel, ação do vento, frenagem de veículos considerando variação de temperatura de $+15 \text{ }^\circ\text{C}$ ou $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ em toda a superestrutura conforme a NBR 7187.

2.5 Propriedades geométricas do pilar

O projeto executivo original, para trem tipo TB 30, previa pilares em concreto armado com seção retangular vazada de $4,00 \times 1,30\text{m}$, paredes de 25cm de espessura e instalação de drenos equalizadores das pressões internas e externas (ver Figura 6).

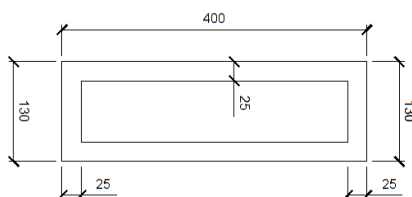


Figura 6 - Geometria original do P3

2.6 Análise estrutural

A seguir são apresentados os principais aspectos da análise estrutural realizada pela VLB Engenharia.

A análise foi realizada pelo método dos Elementos Finitos, com elementos de placa, utilizando-se o *software* SAP2000® conforme mostrado na figura a seguir (ver Figura 7).

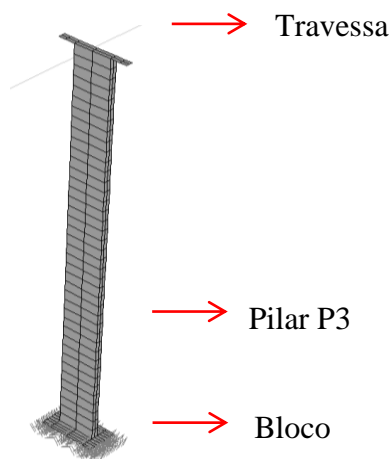
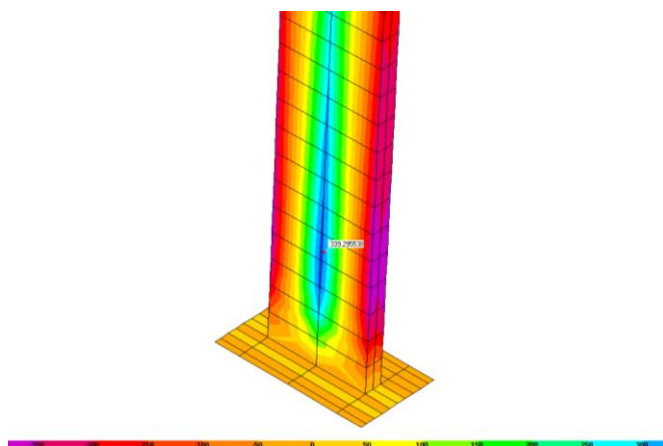


Figura 7 – Modelo estrutural do P3

Foi simulado inicialmente o carregamento correspondente a 37m de coluna de água acima do topo do bloco de fundação, solicitando o P3. Essa elevação corresponde ao Nível Máximo Normal de projeto. O diagrama de momento fletor correspondente ao carregamento está ilustrado na Figura 8 que se segue:



$$M_{\text{Máx.}} = 339,29 \text{ kNm}$$

Figura 8 – Momentos fletores correspondentes a 37m de coluna de água

A Tabela 1 apresenta as considerações para dimensionamento da armadura de flexão necessária para resistir ao momento máximo calculado.

Tabela 1 – Dimensionamento das Armaduras para 37mca

Identificação	Características Geométricas				Esforços Nominais	Resistências Nominais		Coeficientes de Norma			Armadura em ELU		
	B (cm)	H (cm)	d (cm)	d' (cm)	M (kN.m)	f_{ck} (MPa)	f_{yk} (MPa)	γ_f	γ_c	γ_s	A_s (cm ²)	A'_s (cm ²)	$A_{s,min}$ (cm ²)
37m de água	100,00	25,00	21,00	4,00	339,29	20	500	1,00	1,40	1,15	45,63	24,53	3,75

Constatou-se que o Nível Máximo Normal de Projeto submete a estrutura a um esforço de magnitude tão grande que, certamente, a estrutura iniciou o processo de ruptura com um Nível de água bem abaixo daquele. Foi procedida então a análise do pilar com um nível de água correspondente a 5m de coluna de água acima do topo do bloco de fundação, conforme ilustrado na Figura 9.

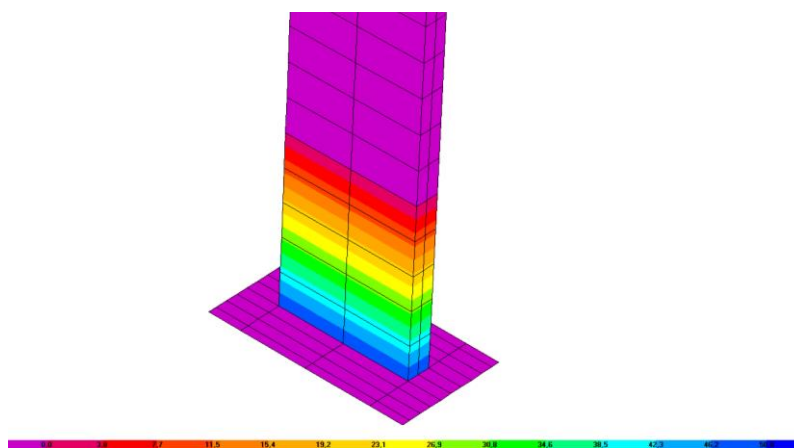


Figura 9 – Carregamento correspondente a 5m de coluna de água

O diagrama de momento fletor correspondente ao carregamento considerado acima está ilustrado na Figura 10:

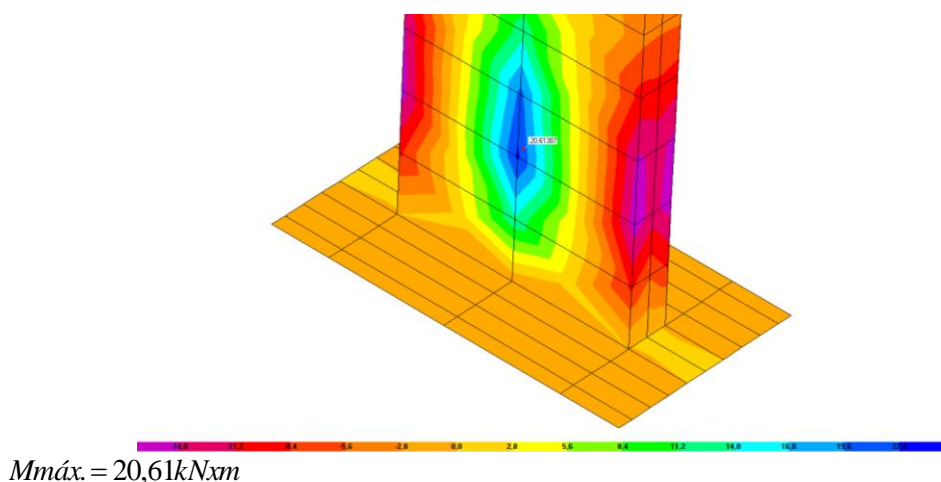


Figura 10 – Momento fletor correspondente a 5m de coluna de água

A Tabela 2 apresenta as considerações para dimensionamento da armadura de flexão necessária para resistir ao momento máximo calculado para 5m de coluna de água.

Tabela 2 – Dimensionamento das Armaduras para 5mca

Identificação	Características Geométricas				Esforços Nominais M (kN.m)	Resistências Nominais		Coeficientes de Norma			Armadura em ELU		
	B (cm)	H (cm)	d (cm)	d' (cm)		f_{ck} (MPa)	f_{yk} (MPa)	γ_f	γ_c	γ_s	A_s (cm ²)	A'_s (cm ²)	$A_{s,min}$ (cm ²)
5m de água	100,00	25,00	21,00	4,00	20,61	20	500	1,00	1,40	1,15	2,30	0,00	3,75

Nota-se que a armadura necessária para resistir à coluna de 5m de altura (2,30cm²/m) já é ligeiramente superior à armadura existente (2,07cm²/m), levando a crer que o mecanismo de ruptura da estrutura provavelmente se iniciou quando o nível da água estava próximo a essa elevação.

A partir das análises realizadas, ficou evidenciado que a ruptura da seção do pilar P3 se deu pela ação do empuxo d'água sobre a parede do pilar. A ausência dos drenos na parede da estrutura impediu o equacionamento das pressões junto à parede do pilar, estando a parte interior submetida à pressão atmosférica e a parte externa submetida ao empuxo d'água.

Foi então dimensionado o reforço estrutural do P3 que consistiu em revesti-lo completamente, desde a fundação até a mísula, por uma nova estrutura em concreto armado, com paredes de 25cm e seção de 4,70 x 2,00m (ver Figura 11).

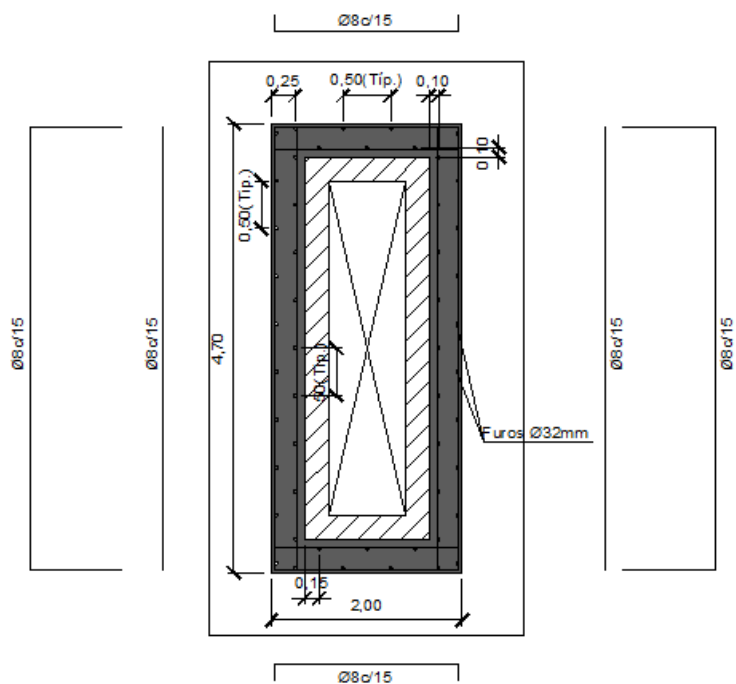


Figura 11 - Seção transversal típica do pilar para o reforço proposto

3. A obra de reforço estrutural

Para a execução das obras de reforço estrutural do P3, foi contratada a empresa Retech – Serviços Especiais de Engenharia Ltda, devido à sua *expertise* para a realização das atividades exigidas pelo projeto. O prazo total para execução das obras de reforço do P3 foi de 05 meses e contou com a colaboração de uma equipe média de 30 profissionais diretamente envolvidos.

Por tratar-se de uma obra relativamente de pequeno porte, mas de grande complexidade, foram mobilizados diversos recursos para alcance dos objetivos. Dentre eles, a utilização de plataforma *Quick Deck* para otimizar os deslocamentos verticais e mergulhadores para os serviços de preparo de superfícies, posicionamento de formas e concretagens submersas (ver Figura 12 e Figura 13).

Durante as atividades de montagem de armaduras e posicionamento das formas abaixo do NA, que precediam a concretagem submersa, a participação de mergulhadores treinados foi imprescindível. Para tal, a Retech convocou a Hydrotech que, novamente compôs a equipe deste projeto. Observou-se que a sintonia e comprometimento das equipes contribuiu significativamente para o sucesso do projeto nos quesitos Cronograma e Controle de Qualidade.



Figura 12 – Posicionamento das fôrmas por mergulhadores

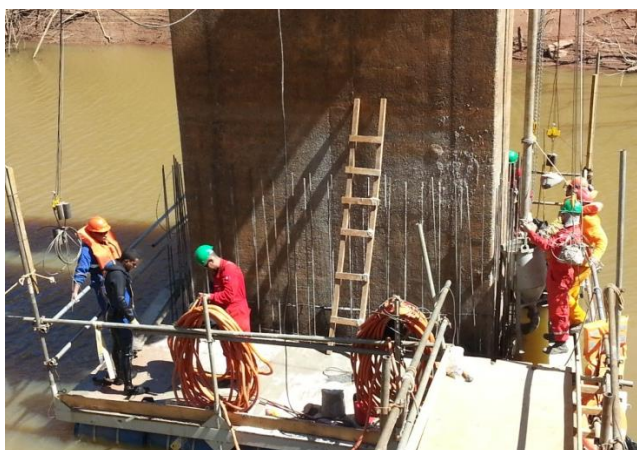


Figura 13 - Concretagem submersa auxiliada por plataforma *Quick Deck*

Um dos pontos que requereu maior atenção de todos foi a recomposição da linha de drenos inferiores propostos pelo projeto executivo. A linha de drenos foi posicionada na cota relativa de 3,40m a partir do topo do bloco de coroamento das fundações. Os trabalhos consistiram na perfuração da parede em concreto armado existente e também das chapas metálicas utilizadas como formas perdidas,

garantindo a correta acomodação dos tubos drenos para a continuidade das concretagens (ver Figura 14 e 15).



Figuras 14 e 15 - Perfuração para colocação dos drenos e tubos posicionados nas fôrmas na cota 3,40m

4. Conclusões

O estudo do caso da ponte do rio Ventania evidencia que a falha de um elemento estrutural pode desencadear o colapso de toda a estrutura. Faz-se então imprescindível o bom entendimento de todos os elementos estruturais e do seu papel no funcionamento geral da estrutura, assim como o rigor na execução das obras buscando o fiel cumprimento das definições do projeto executivo. O presente estudo mostrou o importante papel dos drenos enquanto elementos estruturais e evidenciou que a falta desses elementos, de custo relativamente inexpressivo, provocou danos severos à estrutura, colocou em risco sua segurança global e requereu importantes intervenções para sua recuperação, além dos transtornos referentes à interrupção temporária do tráfego de veículos.

Conclui-se também que a técnica aplicada para o reforço da estrutura, que consistiu no envelopamento, foi bem-sucedida, tanto para os serviços subaquáticos quanto para os serviços acima do NA. As obras de recuperação foram executadas dentro do planejamento realizado e após sua conclusão foi restabelecido o tráfego normal de veículos sobre a estrutura, apresentando desempenho estrutural satisfatório.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-7187 - Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento. 2003.
- BOTELHO, J.B., Memória de cálculo: Análise Estrutural da Ponte – Ponte de jusante sobre o rio Ventania. 2014. VLB Engenharia.
- BOTELHO, J.B., Memória de cálculo: Análise Estrutural do Pilar P3 – Ponte de jusante sobre o rio Ventania. 2014. VLB Engenharia.