A SEGURANÇA DAS OBRAS NO BRASIL DISCUTIDA SOB DIFERENTES PONTOS DE VISTA. TRAGA O SEU.
1º CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES
21 a 23 de maio de 2014 - Foz do Iguaçu - PR

INJEÇÃO DE FISSURAS COM POLIURETANO: UM ESTUDO DE CASO NA CASA DE FORÇA DA USINA HIDRELÉTRICA GOVERNADOR PARIGOT DE SOUZA (UHE GPS)

Polucha, A.C[1], Rain, L.S[2], Moro, M.L[3], Medeiros, M. H. F[4].

[1] Universidade Federal do Paraná, aluno, engenheiro civil, e-mail: alanpolucha@gmail.com
[2] Universidade Federal do Paraná, aluno, engenheiro civil: e-mail: lnd.rain@hotmail.com
[3] Universidade Federal do Paraná, aluno, engenheiro civil: e-mail: meiri_lais@hotmail.com
[4] Universidade Federal do Paraná, servidor público, doutor em engenharia civil: e-mail:medeiros.ufpr@gmail.com

RESUMO

Este trabalho apresenta detalhadamente procedimentos de recuperação de danos causados por fissuras ou falhas de concretagem, através da injeção de resinas. Também são apresentados os procedimentos teóricos de identificação do tipo de fissura, escolha do material a ser injetado, procedimentos técnicos, e equipamentos necessários. Estuda-se teoricamente a aplicação de vários tipos de resinas e um caso prático de injeção com poliuretano, o estudo de caso na casa de força da UHE GPS, comparando os procedimentos adotados e os teoricamente propostos para solucionar este tipo de problema. A UHE GPS divide-se em dois trechos, sendo montante a barragem e reservatório, em Campina Grande do Sul-PR, e jusante a casa de força, em Antonina-PR. A casa de força é subterrânea, estando sua estrutura em contato com o solo e umidade. A principal ocorrência na casa de força foi percolação de água através de fissuras, falhas na concretagem, juntas frias e umidade. Este trabalho mostra os resultados práticos acompanhados durante 14 meses, onde 25 % dos locais tratados apresentaram reincidência após a primeira aplicação, porém já com volume reduzido de umidade. Realizando reinjeção das áreas reincidentes, 100% das ocorrencias foram recuperadas.

Palavras chave: Barragem; fissuras; injeção; poliuretano, umidade

ABSTRACT

This paper presents in detail procedures for recovery of damages caused by cracks or concreting flaws, by injecting resin. Also are presented the theoretical procedures for identifying the type of crack, choice of material to be injected, technical procedures , and needed equipment. It is studied theoretically the application of various types of resins and a practical case of injection with polyurethane , the case study in the power house of HPP GPS, comparing the procedures adopted and the theoretically proposed to solve this type of problem. The GPS HPP is divided into two sections , the first on called upstream, the dam and reservoir in Campina Grande do Sul-Pr , and downstream, the powerhouse, in Antonina - PR . The power house is underground , and its structure is in contact with the ground and moisture. The main occurrence in the powerhouse was seepage of water through cracks, gaps in concrete, cold joints and moisture . This paper shows the practical results followed for 14 months, where 25 % of the treated areas had recurrence after the first application , but now with reduced volume of moisture. Performing the reinjection on the recidivist areas, 100% of the occurences were solved.

Keywords: dam, cracks, injection, polyurethane, moisture'

1. INTRODUÇÃO

Todas as estruturas de concreto estão sujeitas ao aparecimento de manifestações patológicas. As fissuras podem comprometer a utilização da estrutura construída em termos de estética, durabilidade e características estruturais, em especial quando associada à percolação de água.

Os elementos estruturais que sofrem com o surgimento de fissuras podem ser restaurados através da técnica de injeção de materiais cimentantes orgânicos e inorgânicos. O procedimento consiste em injetar um determinado material na estrutura de forma a preencher a fissura, restaurando a capacidade de suporte e/ou estanqueidade original da estrutura.

No estudo de caso apresentado neste trabalho, foi abordada a injeção de fissuras na estrutura da casa de força da Usina Hidrelétrica Governador Parigot de Souza (UHE GPS). UHE GPS é dividida em dois trechos, sendo o trecho de jusante a casa de força localizada no município de Antonina – PR e o reservatório e barragem, denominado montante, localizados na Rodovia BR-116 (trecho Curitiba - São Paulo), município de Campina Grande do Sul a 50 quilômetros da capital paranaense.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem por finalidade apresentar de modo detalhado os procedimentos de recuperação de danos causados por fissuras ou falhas de concretagem, através da injeção de resina de poliuretano. Apresentar os procedimentos teoricamente propostos de modo geral quanto ao mapeamento das fissuras, identificação do tipo de fissuras, escolha do material a ser injetado, procedimento de execução de furos para instalação de bicos utilizados na injeção, relacionar quais equipamentos são necessários para fazer a injeção e demais outros procedimentos envolvidos no reparo da estrutura.

Além do referencial teórico, tem-se por objetivo apresentar um caso prático de injeção com poliuretano, apresentando todos os procedimentos utilizados na recuperação de áreas com problemas de infiltração na casa de força da Usina Hidrelétrica Governador Parigot de Souza.

O objetivo da injeção de resina de poliuretano na casa de força da UHE GPS foi devolver estanqueidade à estrutura visando a sua durabilidade, e o estudo de caso visa realizar um acompanhamento de desempenho, comparando os procedimentos adotados na prática para realizar a injeção e os procedimentos teoricamente propostos para solucionar este tipo de problema.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Tipos de fisuras

Um tipo comum de manifestação patológica nas edificações e estruturas em concreto armado é o aparecimento de fissuras. Esse tipo de manifestação pode causar problemas com relação à estética, durabilidade e características estruturais da edificação.

O aparecimento de fissuras é o resultado da atuação das tensões nos materiais aplicados na edificação e os motivos para o surgimento destas tensões são diversos, tais como: retração química, retração por secagem, expansão causada por reações químicas, sobrecarga, entre outros. Quando a tensão de solicitação é maior que a resistência do material a fissura se mostra como uma forma de aliviar essas tensões. A magnitude e intensidade das fissuras dependem da possibilidade de movimentação do material e sua deformabilidade. Quanto maior for a restrição imposta ao movimento dos materiais e quanto maior for a sua fragilidade, maior será o efeito da fissuração (SAHADE, 2005).

Como explica Sahade (2005), a formação das fissuras está ligada a situações externas ou internas. Ações externas aos componentes são fissuras causadas por movimentações térmicas, higroscópicas, sobrecargas, deformações de elementos de concreto armado e recalques diferenciais. Nas ações internas as causas das fissuras estão ligadas à retração dos produtos à base de cimento e às alterações químicas dos materiais de construção.

Pode-se classificar as fissuras em ativas ou passivas, de acordo com a sua movimentação.

Segundo Corsini (2010), as fissuras ativas (ou vivas) são aquelas que têm variações e oscilam em torno de um valor médio (oscilantes) e podem ser correlacionadas com a variação de temperatura e umidade (sazonais).

De acordo com Sahade (2005), as fissuras ativas não indicam necessariamente a ocorrência de problemas estruturais. Porém, se apresentarem abertura sempre crescente, podem representar problemas estruturais que devem ser corrigidos antes do tratamento das fissuras – que neste caso são chamadas fissuras progressivas. As causas desses problemas devem ser determinadas por meio de observações e análise da estrutura.

Por fim, as chamadas fissuras passivas (ou mortas) apresentam variações mínimas ao longo do tempo, podendo ser consideradas estabilizadas.

Ainda, segundo a norma européia NP 1504-5 2006, pode-se classificar as fissuras quanto ao seu estado de umidade ou quantidade de água que escoa por ela. Consideram-se os seguintes estados: seco, úmido, molhado e cheio de água.

Seco: Caracterizado por ausência de água na fissura ou em seus bordos, mesmo que durante a injeção ocorra expulsão de água aprisionada no interior da estrutura pela resina injetada sob pressão. A principal maneira de identificar uma fissura seca é pela cor, que é idêntica do concreto superficial.

Úmido: estado caracterizado por não haver água no interior da fissura, mas há umidade nos seus bordos ainda sem formar um filme na superfície dos bordos. A fissura no estado úmido apresenta diferença de cor entre a superfície dos bordos, que se apresenta mais escura, e a superfície seca, mais clara.

Molhado: estado caracterizado pela presença de água estagnada ou película de água na fissura ou em seus bordos.

Cheio de água: estado caracterizado pelo escoamento de água pela fissura.

Apesar de visualmente as fissuras parecerem semelhantes uma às outras, suas causas podem ser bem diferentes. Uma fissura de deformação de estrutura, por exemplo, pode ser parecida com uma de recalque de fundação e uma fissura de dilatação térmica pode ser igual a uma de retração por secagem. Por isso, é preciso ter um treinamento e certa experiência para, com uma inspeção visual, chegar à causa (THOMAZ, 2010).

O concreto utilizado na construção de barragens e usinas hidrelétricas, devido às características da obra, necessita ser controlado rigorosamente. Na fase de projeto são definidas as classes, condições de lançamento, altura de camadas e zoneamento do concreto, passando pelos estudos dos materiais constituintes, estudos de dosagens, simulação do emprego de adições, análise comparativa do desempenho dos aditivos e terminando esta etapa com a elaboração das famílias de traços do concreto para atender as diversas fases e exigências das obras (ALMEIDA JR; TAKAGI, 2007).

Com o passar do tempo, mesmo com todo o controle e cuidado na execução da obra, não é incomum deparar-se com problemas decorrentes da utilização destas estruturas. Os principais problemas (causas e manifestações patológicas) que podem ser observados com certa freqüência, segundo Almeida Jr. e Takagi (2007), são:

Sobrecargas; Envelhecimento; Enfraquecimento natural e perda da monoliticidade original do concreto; Intempéries; Agressões químicas; Reações expansivas; Desgastes; Erosões; Infiltrações; Falhas de projeto e executivas

Estes fatores afetam significativamente a funcionalidade e vida útil das estruturas.

No caso de estruturas hidráulicas um grande desafio enfrentado é garantir a estanqueidade destas estruturas, pois existe água sobre pressão tanto a montante como a jusante (acima do nível do solo) e também subpressão, além das águas pluviais. Os pontos críticos ou mais frágeis, com respeito à infiltração, são as juntas de concretagem entre as camadas e as juntas de dilatação.As superfícies também sofrem com desgastes por erosão devido ao fluxo de água e turbulências. Estes danos ocorrem principalmente pelo efeito da cavitação e pelo atrito de materiais com a superfície do concreto da estrutura (ALMEIDA JR; TAKAGI, 2007).

Estruturas enterradas ou em contato constante com o solo estão fortemente sujeitas a sofrer infiltrações, além do fluxo de água no solo que pode trazer agentes agressivos ao concreto, contribuindo ainda mais para a deterioração da estrutura (ALMEIDA JR; TAKAGI, 2005).

Além do que foi apresentado, existem diversas causas que influem no processo de deterioração do concreto em barragens com o passar do tempo. Se estas falhas não forem corrigidas tão cedo quanto possível podem levar as estruturas de concreto a exigirem intervenções de recuperações com maior custo e esforço.

3.2 Sistemas de injeção

Devido à ausência de uma norma nacional, adotou-se como referência para este trabalho, a versão portuguesa da norma européia intitulada "NP EN 1504-5 2006 – Produtos e sistemas para a proteção e reparação de estruturas de betão – Definições requisitos controle da qualidade e avaliação da conformidade – Parte 5: injeção do betão".

São muitos os problemas em obras que prejudicam a sua utilização e a ocupação do espaço, causam desconforto para o usuário e afetam as instalações da edificação. Em alguns desses casos pode-se utilizar tecnologias de injeção de fissuras para evitar o comprometimento da estrutura em termos de durabilidade e funcionalidade.

A tecnologia de injeção a ser utilizada tem a finalidade de recuperar as falhas na estrutura. Para tal, é necessário conhecer as causas do problema encontrado para cada peça separadamente e projetar a tecnologia de injeção adequada para cada situação, de modo que se possa obter um bom resultado na recuperação desta estrutura.

No ato da escolha do produto, devem-se levar em conta as características do material a ser injetado e a quais condições de esforços e deformações este material será submetido. Alem disso, deve ser avaliada a situação da estrutura no ato da aplicação, garantindo que as condições de aplicação da resina não interfiram no processo de reação do material injetado, para que se alcancem as propriedades necessárias a cada caso.

Para tal, se faz necessário classificar os produtos de injeção quanto as suas propriedades e indicações de uso. Conforme discutido anteriormente, nestre trabalho foi adotado como referencia a norma européia, que classifica os produtos em 3 categorias de acordo com a aplicação pretendida, que são as seguintes:

3.2.1 Produto de injeção para enchimento transmissor de esforços das fissuras, aqui denominado tratamento estrutural.

São os produtos capazes de se fixarem à superfície do concreto e transmitirem esforços. Temos como representantes dessa categoria o micro cimento, resina à base de epóxi e poliuretano rígido.

Os produtos utilizados para a injeção de fissuras destinadas a tratamentos estruturais, além de apresentarem altas resistências mecânicas, são rígidos no seu estado endurecido, portanto, não podem ser aplicados em fissuras ativas, pois, a movimentação da estrutura afetará o desempenho do material. Este material deverá interagir com a estrutura e transferir os esforços ou a combinação de esforços de tração, compressão, cisalhamento e/ou torção que a estrutura esteja submetida, de modo que se recupere a estabilidade da peça.

Outra condição que se deve atentar no caso do tratamento estrutural de fissuras é a umidade do substrato. Na recuperação estrutural as injeções são compostas por resinas à base de epóxi,

microcimentos e também poliuretanos rígidos, porém alguns desses produtos não podem ser aplicados na presença de umidade ou fluxo de água.

3.2.2 Produtos para selamento de fisuras.

O objetivo do selamento é proteger a estrutura a fim de evitar a entrada de agentes agressivos ao concreto, como a água, cloretos, sulfatos, sulfetos, gás carbônico e outros. O selamento visa à durabilidade da estrutura promovendo proteção ao concreto e à armadura. Diferente do tratamento estrutural, o selamento não visa obter ou devolver resistência mecânica à peça danificada.

Para fazer o selamento são indicadas as injeções flexíveis. Estas são compostas de resinas de poliuretano (espuma de poliuretano hidroativado e gel de poliuretano) e resinas acrílicas (géis acrílicos).

O emprego de resinas de poliuretano flexível em estruturas de concreto de barragens tem a finalidade de estancar as infiltrações através de fissuras, trincas, juntas de concretagem, pequenos orifícios e defeitos de concretagem e devido às suas propriedades expansivas, também é apropriada para aplicações em juntas de dilatação, sendo assim, o produto apropriado para injeções em fissuras vivas.

3.2.3 Produto de injeção para enchimento expansivo de fissuras.

São utilizados para se obter a estanqueidade temporária quando a fissura ou área se apresenta úmida ou com fluxo de água. Segundo Takagi e Almeida Junior (2007), a impermeabilização visa tornar estanques as estruturas com vazamentos ou infiltrações por fissuras e juntas de movimentação.

Os sistemas mais usados são à base de poliuretano hidroativado e gel de poliuretano. Um avanço mais recente é a injeção à base de gel acrílico, também conhecida como hidroestruturados, que forma uma membrana flexível em pouco tempo devido ao rápido tempo de reação, impermeabilizando estruturas abaixo do lençol freático. Os poliuretanos rígidos têm apresentado sucesso no estancamento das infiltrações em casos de grandes vazões e elevadas pressões através de orifícios maiores.

3.3 Equipamentos

3.3.1 Bicos injetores

Existem basicamente 2 tipos de bicos injetores apropriados para a injeção de resinas de poliuretano ou de géis acrílicos: Bicos de perfuração e de aderência, podendo ser confeccionados de metal ou de plástico (ALMEIDA JR; TAKAGI, 2007).

O bico injetor de perfuração, confeccionado de liga de alumínio, é o mais utilizado devido a sua versatilidade e características, podendo ser aplicados em ambientes secos ou úmidos e resistem pressões de até 20 MPa, a partir da qual os bicos se soltam funcionando como um "fusível" evitando que as altas pressões danifiquem a estrutura. Por serem confeccionados em

alumínio, se forem deixados perdidos na estrutura após o termino dos serviços não acarretarão problemas de corrosão.

Para sua instalação na estrutura se faz necessário a execução de furos com diâmetro de 14 mm com inclinação de 45º medida a partir do plano da fissura. Estes bicos têm dimensão de 115 mm x 13 mm e em geral são instalados espaçados em meia espessura da peça no caso de fissuras. No caso de áreas onde não há uma linha de infiltração bem definida, utiliza-se o espaçamento da grade igual à espessura da peça.

Existem também os bicos injetores de adesão. Este tipo de bico somente é recomendado para ambientes secos, uma vez que a umidade interfere em sua aderência ao substrato, sendo colocados diretamente sobre a fissura e fixados com adesivo epóxico. Os últimos 2 a 3 cm devem ser deixados sem preenchimento para permitir a saída do ar aprisionado dentro da fissura. Estes bicos suportam pressões de até 10 MPa e o espaçamento de instalação corresponde à espessura da peça

Existem ainda os bicos plásticos, que são indicados para injeções de baixa pressão (até 3 MPa) de produtos de base mineral (TAKAGI; ALMEIDA JUNIOR, 2002) .

3.3.2 Bombas injetoras

A escolha da bomba injetora é função do material a ser injetado e do bico. Para a injeção de poliuretano, géis acrílicos e resinas a base de epóxi, deve ser utilizada a bomba MC-I 500, que é uma bomba de alta pressão monocomponente, que apresenta pressão máxima de saída de 31 MPa. Esta bomba possui mangueira de injeção com 7,5 m de comprimento e também conta com uma pistola e um bocal de injeção. Confeccionada com design compacto, pode ser utilizada diretamente na zona de injeção, mesmo em áreas complicadas e de difícil acesso. Para sua operação se faz necessário utilizar compressor com capacidade mínima de 50 litros e pressão máxima de 0,8 MPa.

A bomba de baixa pressão de duplo diafragma, modelo MC-I 910 é utilizada para injeção de micro cimentos, juntamente com bicos plásticos. Esta bomba oferece uma pressão máxima de saída de 0,7 MPa para uma pressão de 0,8 MPa de entrada, porém segundo Almeida Junior e Takagi (2007) pode ser utilizada uma pressão máxima de injeção de 1 MPa. A bomba MC-I 910 possui mangueira de 7,5m de comprimento e devido a sua construção compacta, ela tambem pode ser trazida diretamente para áreas de injeção de difícil acesso ou não. Para sua operação se faz necessário a conexão a um compressor com capacidade de vazão de 0,12 m/s e pressão máxima de 0,8 MPa (MC-BAUCHEMIE BRASIL, 2011).

3.4 Detalhes da aplicação de poliuretano

Segundo Takagi e Almeida Junior (2002), o procedimento para a injeção de resina de poliuretano, utilizando bicos metálicos de perfuração, pode ser descrito pelas seguintes etapas:

Mapeamento; Perfuração; Limpeza dos furos; Fixação dos bicos; Mistura dos componentes e Injeção.

O mapeamento consiste em identificar a fissura em sua extensão e fazer a demarcação dos locais onde serão realizados os furos e a injeção. Para fissuras, os furos são marcados com espaçamento entre si igual à metade da espessura da peça, de maneira alternada a cada lado da fissura. Quando a espessura da peça é variável, utiliza-se como referencia a distância de 20 cm entre os furos, ou outra distância compatível com a peça e a situação. Quando a aplicação se trata de uma área de umidade e não é possível identificar uma fissura, marca-se uma grade em cima da superfície úmida, onde as linhas distam entre si o valor igual à espessura da peça ou 20 cm no caso de espessura variável. Os furos são realizados onde as linhas da grade se interceptam sobre a área úmida e imediatamente ao seu contorno, como ilustratado na, Figura 1.

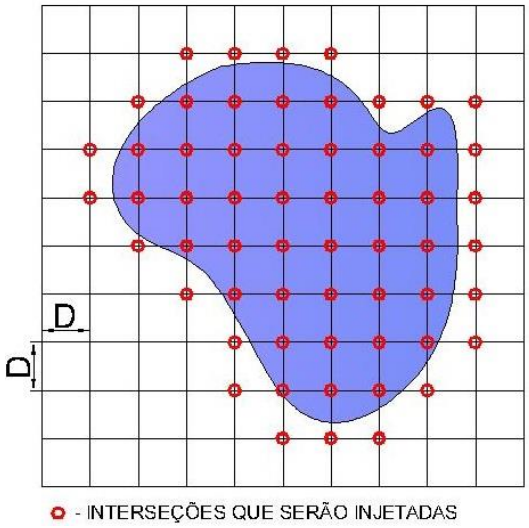


Figura 1 - Esquema de mapeamento para áreas com infiltração (POLUCHA, A. C.; RAIN, L. S.; MORO, M. L., MEDEIROS, M.H.F, 2011).

A perfuração é realizada com furadeira e broca com diâmetro adequado ao do bico, como não se tem o conhecimento do ângulo real da fissura com a superfície, considera-se que esse ângulo seja de 45 graus. Esta inclinação visa garantir que os bicos interceptem a fissura no meio da seção da peça. Para fazer a orientação do furo, pode ser utilizado um gabarito de madeira, como ilustrado na Figura 2.

A limpeza dos furos visa garantir a eficácia da aplicação. Produtos químicos, graxas e óleos podem reagir com a resina, causando deterioração dos componentes. Os resíduos provenientes da execução dos furos também devem ser eliminados, pois podem prejudicar a aderência da resina ao substrato. Esta operação pode ser realizada utilizando aspirador de pó industrial ou através de jateamento de ar utilizando o próprio compressor de ar conectado a uma pistola específica.



Figura 2 - Gabarito de madeira para auxiliar no ângulo de perfuração (POLUCHA, A. C.; RAIN, L. S.; MORO, M. L., MEDEIROS, M.H.F, 2011).

As resinas de poliuretano são fornecidas em duas embalagens separadas, uma cotendo a base e a outra o endurecedor. Antes que a injeção seja iniciada, é imprescindível que os componentes sejam misturados cuidadosamente utilizando furadeira elétrica de baixa rotação com pás misturadoras ou com uma espátula. Depois de misturados, a resina deve ser transferida para um segundo recipiente para garantir que o material no fundo do frasco não fique mal misturado.

Antes que a injeção se inicie, deve ser realizada uma circulação de solvente para garantir a limpeza da bomba. Então a resina deve ser despejada no compartimento da bomba e se efetua a sangria, que é uma primeira circulação de resina pela bomba até que todo o resíduo do solvente seja eliminado e este primeiro material deve ser descartado. Em superfícies verticais, a injeção deve ser iniciada pela parte inferior e a resina deve ser injetada até aparecer no bico imediatamente superior ou até ocorrer a nega, mesmo após o incremente de pressão. Este processo deve ser repetido até o último bico.

4. ESTUDO DE CASO

4.1 Visitas

Para a realização deste trabalho foram efetuadas 8 visitas técnicas à casa de força. O objetivo dessas visitas foi o acompanhamento completo do processo, desde a sua identificação, passando pelo processo de injeção até o acompanhamento do comportamento das estruturas após as injeções.

As visitas ocorreram nas seguintes datas:

- 31/08/2010: Inspeção visando a identificação das áreas com não conformidades e definição do tratamento a ser empregado.
- 06/10/2010: Instrução dos procedimentos de injeção e acompanhamento do início das injeções no painel artístico.

- 22/11/2010: Acompanhamento dos trabalhos e verificação do resultado no painel artístico.
- 03/02/2011: Acompanhamento das injeções no mezanino da sala de maquinas e parede dos acumuladores. Verificação das áreas já injetadas: Mezanino sala de válvula, abóbada da oficina mecânica e Pilar da U2.
- 23/03/2011: Verificação das áreas injetadas, com ênfase às seguintes estruturas: Parede dos acumuladores, abóbada da sala de válvulas
- 10/06/2011: Verificação geral de todas as áreas injetadas.
- 13/12/2011: Última visita para verificação das áreas injetadas e reinjetadas.

4.2 Apresentação das manifestações patológicas

Após quarenta anos do início da operação, a casa de força da usina apresentou problemas em sua estrutura com respeito a infiltrações e umidade através de fissuras, juntas frias e problemas de concretagem, muitos deles agravados pelo fato da casa de força ser subterrânea e suas estruturas estarem em contato direto com a rocha. Ainda vale ressaltar que essas formações rochosas apresentam fissuras e fraturas por onde a água percola com facilidade. A casa de foça da UHE GPS está localizada no Municipio de Antonina – PR, sendo esta em região da serra do mar, a qual recebe precipitações médias anuais significativas, da ordem de 3000 mm por ano.

Foram detectados problemas nas seguintes áreas:

- Painel artístico
- Abobada da oficina mecânica
- Abobada da sala de válvulas
- Mezanino da sala de válvulas
- Pilar da U2 (unidade geradora 2)
- Mezanino da sala de maquinas
- Parede dos acumuladores
- Sala de Ar Condicionado

Devido à similaridade das ocorrências nas diversas áreas, foram destacadas, para fins de apresentação de imagens, apenas duas áreas da usina. Em termos de resultados obtidos, todas as áreas serão abordadas.

4.2.1 Abóbada da sala de válvulas

A abóbada da sala de válvulas apresentou problemas relacionados a infiltrações. Devido à dificuldade de acesso relativa à grande altura, a identificação e reparo das não conformidades apresentaram uma dificuldade acentuada nesta área. Na Figura 3 podemos observar um detalhe das infiltrações nesta região.



Figura 3 - abóbada da sala de válvulas – infiltrações

4.2.2 Parede atrás dos acumuladores de ar/óleo

A parede atrás dos acumuladores (Figura 4) é um local de difícil acesso, com muitos cabos e dutos. A presença de água perto de equipamentos eletromecânicos é indesejada e pode acarretar falhas de operação. Este motivo torna ainda mais importante a recuperação desta área de infiltração.



Figura 4 - Parede atrás dos acumuladores - presença de umidade e infiltrações

4.3 Escolha do método de recuperação

A principal ocorrência na casa de força foi referente a percolação de água através de fissuras, falhas na concretagem, juntas frias e umidade em diversas estruturas. Em função da inspeção,

características das manifestações patológicas e necessidade de eliminar a percolação de água e umidade, foi escolhido realizar o selamento e estancamento de infiltrações através de injeção sob pressão de resina de poliuretano. Em locais onde existe fluxo de água, foi realizada uma pré-injeção de espuma de poliuretano hidroativada (Produto: MC – Injeckt 2033), visando o tamponamento provisório. Para o selamento definitivo, o material injetado foi o gel de poliuretano bi componente MC – Injekt 2300 NV.

Este tratamento com técnica de injeção de material polimérico de grande elasticidade permite que a estrutura apresente variações nas suas dimensões, seja por retração ou por expansão, causando aumento ou diminuição na abertura das fissuras, sem perda da eficiência do selamento.

Na região do tratamento busca-se o preenchimento total da fissura e dos vazios com material elástico, através de aplicação sob pressão, no entanto, isso pode não ser possível para fissuras com aberturas menores que 0,1mm.

O material aplicado adquire a consistência final em um prazo aproximado entre 48 horas até duas semanas dependendo da pressão de confinamento, da temperatura ambiente e proporção da mistura. Devido a essa característica, não é possível avaliar a eficiência da aplicação imediatamente após a execução. Recomenda-se que a mesma seja feita transcorrido um período mínimo de 15 dias ou quando a estrutura entrar em serviço.

4.4 Apresentação dos resultados

Para a verificação final dos resultados do tratamento foi realizada uma visita técnica no dia 13/12/2011, passados 14 meses desde os primeiros trabalhos de injeções nas partes da estrutura. Como o serviço foi feito por partes, algumas áreas tinham 14 meses de aplicação e outras menos tempo. A constatação gerada pelas primeiras inspeções foi que algumas áreas precisariam passar por uma etapa de re-injeção, pois ainda apresentavam umidade. Depois de realizadas as re-injeções, nenhuma área voltou a apresentar percolação de água.

4.4.1 Abóbada da sala de válvulas

A abóbada da sala de válvulas certamente é a parte da estrutura que apresentou maiores problemas durante a execução, sendo necessario montar andaimes em cima da ponte rolante existente neste ambiente, injetar acima da altura da cabeça e ocorrencia de infiltrações durante os trabalhos. Apesar das dificuldades encontradas, os resultados foram satisfatórios, pois foi possivel realizar o preenchimento flexivel de falhas no concreto, fissuras e outras não conformidades que permitiam a ocorrencia de infiltrações. A principal maneira de detectar a percolação de água era através da percepção de goteiras. Passados 13 meses dos trabalhos, não foram percebidas visualmente novas infiltrações, porém não se pode afirmar que não havia umidade, pois esta só pode ser percebida através do tato e devido à grande altura não foi possível realizar este tipo de inspeção. A Figura 5 apresenta os resultados nestas áreas.



Figura 5 - Abóbada sala de válvulas – Resultados após 13 meses das injeções

4.4.2 Parede atrás dos acumuladores

As prinipais dificuldades encontradas nesta região foram o pouco espaço para se trabalhar atras dos equipamentos e a presenção de cabos, dutos e equipamentos eltromecanicos na parade tratada. Mesmo com a dificuldade de acesso para aplicação da resina, a parede atrás dos acumuladores se apresentava seca. Nesta região, não ocorreu reincidencia de percolação de água. Com o tratamento efetuado, foi possivel realizar o selamente flexível de fissuras e falhas de concretagem, acabando com a percolação de água e presença de umidade. O resultado do tratamento, após 5 meses, está apresentado na Figura 6, onde pode-se observar que a parede e o piso estão secos.



Figura 6 - parede atrás dos acumuladores - Resultado após 5 meses

5. ANÁLISE CRÍTICA

Nas primeiras inspeções realizadas antes e durante o início dos trabalhos de recuperação nas estruturas da casa de força da UHE GPS, esperava-se que ocorressem alguns pontos com reincidência de percolação de água, especialmente em regiões em que o acesso era dificultado pela presença de equipamentos, cabos, dutos ou por grandes alturas e o serviço de injeção não podia ser executado seguindo todas as recomendações. Na abóbada da sala de válvulas foi necessário a instalação de um andaime em cima da ponte rolante, já na região da parede atrás dos acumuladores, a dificuldade era o espaço limitado por equipamentos e dutos. Outra área que gerou dificuldade para execução das injeções foi o mezanino da sala de maquinas onde, devido a presença de cabos, foi necessário trabalhar em posições desconfortáveis que prejudicavam o serviço.

Após 8 meses desde os primeiros serviços de injeções, foi constatado, durante as vistorias em campo, que os pontos de difícil acesso não apresentaram reincidência de percolação, enquanto alguns pontos de fácil acesso apresentaram. A Figura 7 apresenta o percentual das áreas com reincidência de infiltração de água após uma etapa de injeção.



Figura 7 - Gráfico de percentual de reincidência de umidade nas areas após uma aplicação

De todas as estruturas tratadas na casa de força da UHE GPS, cerca de 25% apresentaram reincidência de percolação após uma aplicação: no painel artístico e no mezanino na sala de válvulas. Apesar dessas reincidências representarem uma falha relativa do sistema de recuperação, é esperado que isto ocorra, posto que a estrutura deste estudo apresenta um elevado grau de heterogeneidade inerente a toda estrutura de grande porte, ainda com o emprego de elevado volume de concreto assentando áreas de porosidade diferente, juntas de dilatação, falhas de concretagem, etc. Todas estas falhas são difíceis de se detectar através de inspeção visual e muitas vezes o serviço executado não elimina completamente as áreas de percolação, tendo em vista que a água sempre procura caminhos preferenciais para percolar. Se existirem outras falhas, juntas ou fissuras não atingidas pelo sistema de tratamento na área em torno do ponto tratado, a água se encarregará de percolar por estes pontos.

Outra não conformidade que foi observada durante os serviços de injeção foi o procedimento utilizado para a mistura dos componentes. Como foi dito anteriormente, os componentes da base e do endurecedor devem ser corretamente misturados e vertidos em um segundo recipiente para evitar que o material fique mal misturado. Porém, durante as vistorias de campo, foi constatado que a mistura ocorria manualmente através do uso de uma broca e, após a mistura, os componentes eram vertidos diretamente no compartimento da bomba.

Para garantir a eficácia do sistema de recuperação através do uso de injeções de resinas é importante planejar o retorno da equipe, inspeções pós recuperação e acompanhamento do desempenho das estruturas tratadas, visando a detecção e a re-injeção das regiões com reincidência de percolação.

Na inspeção realizada no dia 13/12/2011, 14 meses após os primeiros serviços, pôde ser constatado o sucesso dos serviços de recuperação, uma vez que após a realização das re-injeções, não foram constatados pontos com reincidência de percolação de água.

O Brasil ainda não apresenta nenhum documento normativo referente a produtos e sistemas de injeção de estruturas através da técnica de injeção, porém este método é amplamente utilizado no país, especialmente em empreendimentos de grande valor estratégico para a nação. Na falta de tal documento, procura-se seguir as recomendações e definições de normas internacionais, bem como trabalhos amplamente aceitos no meio acadêmico para a realização destes serviços. Esta situação deveria ser revista, pois é importante que o Brasil desenvolva sua própria documentação ajustada às características dos materiais e à realidade do país, como ocorre em vários outros serviços de engenharia civil.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A técnica de recuperação de estruturas de concreto armado através de injeção de resinas já é consagrada com inúmeras aplicações ao redor do mundo, algumas com mais de 40 anos. Algumas estruturas hidráulicas de usinas hidrelétricas, por exemplo, são projetadas para durar 100 anos, porém se forem tomadas todas as medidas necessárias de manutenção e reparação em tempo hábil, a vida útil destas estruturas pode ser muito estendida.

A escolha da resina de poliuretano, devido à elasticidade, baixa viscosidade e grande durabilidade, se mostrou adequada às manifestações patológicas existentes no estudo de caso, bem como as características do empreendimento como o fato da casa de força ser subterrânea, em contato com a rocha e constante presença de água. Ainda vale lembrar que a decisão de utilizar a resina de poliuretano tem o respaldo da norma européia NP EN 1504-5 2006, seguindo todas as recomendações quanto às características mecânicas das estruturas e condições de presença de água.

O monitoramento através de inspeções visuais ao longo de 14 meses se mostrou eficiente no que diz respeito a detecção das manifestações patológicas e falhas do serviço de recuperação. Ficou evidente que as aplicações de resina de poliuretano não obtiveram 100% de eficácia na

eliminação dos pontos de percolação, sendo necessário o retorno da equipe para efetuar re-injeção. Algumas das causas prováveis para a reincidência de percolação de água, além do elevado grau de heterogeneidade das estruturas e complexidade das formas, foi o não cumprimento de algumas recomendações executivas, como a dificuldade de acesso às áreas a serem tratadas (dificuldade de utilização do gabarito para inclinação de 45º e espaçamento recomendado devido a cabos e dutos) e em outras ocasiões quanto ao metodo utilizado pela equipe ao misturar os componentes da resina e a falta de trocar de recipiente antes do uso para garantir a perfeita mistura do material.

Conforme já apresentado, pode-se concluir que os serviços de injeção na casa de força da UHE GPS foram satisfatórios, pois eliminaram completamente a percolação de água e os pontos de umidade em 75% das áreas tratadas, após uma etapa de injeção. Além disso, os 25% das áreas tratadas que apresentaram reincidência tiveram o volume de infiltração reduzido e assim que executado o serviço de re-injeção, os pontos de infiltração foram completamente eliminados

7. REFERÊNCIAS

PINTO, Jaques; TAKAGI, E. M. **Injeções flexíveis para selamento definitivo de infiltrações em túneis e estruturas enterradas.**

MOURÃO, K. M**. Injeções de Resinas em Estruturas de Concreto**. Belo Horizonte, 2010. 43 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais.

TAKAGI, E.M; ALMEIDA JUNIOR, W. Utilização Tecnologias de injeção para o aumento da durabilidade das estruturas de concreto armado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44. **Anais do 44º Congresso Brasileiro do Concreto.** Belo Horizonte, 2002.

TAKAGI, E.M; ALMEIDA JUNIOR, W. Injeções flexíveis para selamento definitivo das estruturas de concreto de barragens e usina hidrelétricas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47 Recife. **Anais do 47º Congresso Brasileiro do Concreto**. Recife, 2005. P 129 a131.

TAKAGI, E.M; ALMEIDA JUNIOR, W. Sistema de Injeção para recomposição estrutural e estancamento de infiltrações com elevada pressão das estruturas de concreto de barragens e usinas hidrelétricas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49. **Anais do 49º Congresso Brasileiro do Concreto**. 2007

TAKAGI, E.M; ALMEIDA JUNIOR, W; DE PAULA, C.C; GIOVANETTI, J.N; SANTORO, C.E. Tecnologia de injeções em concreto: Estado da arte e aplicações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49. **Anais do 49º Congresso Brasileiro do Concreto**. 2007

SAHADE, R.F. Avaliação **de sistemas de recuperação de fissuras em alvenarias de vedação**. São Paulo, 2005. 188 f. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

MC-BAUCHEMIE BRASIL - Fichas Técnicas De Produtos E Equipamentos De Injeção – Em: <http://www.mc-bauchemie.com.br/>. Acesso em junho de 2011.