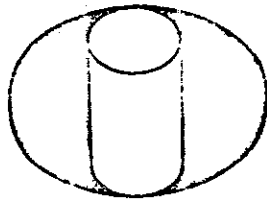


INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO



IBRACON

COLÓQUIO SOBRE "PATOLOGIA DO CONCRETO E
RECUPERAÇÃO DAS ESTRUTURAS"

"INJEÇÕES DE RESINAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO"

Eng^o Celso Corrêa Dias Pimentel (*)

Eng^o Livio Teixeira (*)

(*) Gerente Técnico da CREL Engenharia e Comércio Ltda.

INJEÇÕES DE RESINAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

Este trabalho sôbre "Injeções de Resinas em Estruturas de Concreto" é uma abordagem de diversos casos, cuja opção do sistema de recuperação da estrutura, recai nas injeções de resinas.

I) REPARAÇÕES EXTERNAS:

- 1) Fissuras superficiais
- 2) Tratamento de segregações do concreto

II) REPARAÇÕES INTERNAS:

- 1) Tratamento de segregações de concreto através de injeção - Bloqueio de infiltrações contra pressão negativa
- 2) Fissuras ativas profundas
- 3) Fissuras passivas
- 4) Características principais dos ligantes epoxídicos
- 5) Injeção de trincas e fissuras com reforço de armadura
- 6) Precauções no trabalho com produtos epoxídicos.

O assunto que iremos abordar dentro do campo de recuperação de estruturas será "Injeções de resinas em estruturas de concreto", porém antes vamos fazer algumas considerações sobre o enfoque que deve ser dado aos diversos tipos de problemas, com os quais nos defrontamos.

Os problemas relativos à recuperação de estruturas não fazem parte do dia a dia do engenheiro civil, embora todos nós já tenhamos nos deparado com eles, sugerimos então uma sistemática de caracterização geral para chegarmos a um bom termo de solução para as recuperações.

- 1) Análise do problema, suas causas e evolução.
- 2) Avaliação eventual da resistência da obra.
- 3) Escolha de um método de reparação ou reforço.
- 4) Julgamento da oportunidade da sua reparação.

Após esta análise passamos à escolha dos sistemas executivos e produtos viáveis, já entrando em méritos executivos específicos e inclusive analisando a viabilidade econômica da recuperação.

Paralelamente a escolha dos produtos devem seguir testes de laboratório que irão confirmar o acerto da escolha com os resultados de ensaios, taxas de resistência, etc.

No que se refere aos defeitos em estruturas de concreto, trataremos dos casos de fissuras e trincas, e segregações do concreto.

Para estas ocorrências podemos sugerir dois tipos de soluções:

- 1) Reparções externas.
- 2) Reparções internas.

I - REPARAÇÕES EXTERNAS - Fissuras superficiais:

Nas fissuras superficiais de espessura menor do que 0,6mm, podemos admitir como causa para os casos mais gerais, problemas de retração do concreto, problemas de ausência de cura do concreto, ou cura mal feita.

Para fissuras superficiais e menores que 0,6mm, normalmente optariamos para a colmatação das mesmas, através de ligantes epoxídicos, procedendo da seguinte maneira:

- a) Abertura em forma de cunha ao longo da fissura por rebarbadores de alta frequência de impacto, para evitar microfissuramento nas regiões vizinhas, numa espessura máxima de 2 cm e numa profundidade de 1 cm; ou com discos de corte diamantados, sempre acompanhando a linha da fissura.
- b) Limpeza rigorosa com remoção de todas as partículas soltas poeira, eventuais resíduos de óleos, etc.
- c) Colmatação da abertura com resinas epoxi pastosas.

Caso houver uma quantidade muito grande de fissuras superficiais concentradas numa área pequena, adotariamos então a seguinte solução:

- a) Preparo de superfície - A superfície objeto do tratamento deverá ser jateada com areia com a finalidade de expor a textura do concreto são, eliminar os eventuais resíduos de óleos, graxas, agentes desmoldantes, cascas de nata soltas etc.
- b) Após o jateamento com areia, lavagem da superfície jateada com água ou ar comprimido, para remover a poeira resultante do jateamento.
- c) Aplicação de resina epoxi líquida na área jateada e limpa, para colagem de uma camada fina de argamassa cimento/areia 1:3.
- d) Cura adequada da argamassa.

Existem outras soluções executivas para o mesmo tipo de ocorrência, mas estamos tentando tratar os assuntos abordados, de uma forma genérica. Quando se trata de recuperação de estruturas de concreto, costumamos dizer que cada caso é um caso, pois existem uma infinidade de variáveis para o mesmo proble-

ma, tanto do ponto de vista de sua origem, como de sua execução.

Muitas vezes as dificuldades de execução nos forçam a optar por sistemas e equipamentos adequados, para não ocasionar distúrbios nas regiões vizinhas ao local dos serviços. Por exemplo: seria inconveniente a execução de um jateamento de areia, no espaço interno de uma indústria em operação, onde o jateamento iria interferir com o pessoal ou equipamentos instalados.

Por exemplo, para este caso específico, teríamos que optar por um equipamento portátil de jateamento, com granalha de aço de circulação interna, que fica em contato direto com a superfície a ser jateada, não provocando nenhuma alteração na vizinhança.

II - SEGREGAÇÕES DO CONCRETO:

O capítulo das segregações do concreto é por nós todos bastante conhecido, bem como suas causas. Como a história de quem de nós não teve a sua fissura, quem de nós não teve a sua segregação, da qual direta ou indiretamente fomos responsáveis.

Os problemas advindos de vibração insuficiente, vibração excessiva, altura excessiva de lançamento do concreto, traço de concreto não adequado para determinados tipos de formas, equipamentos de lançamento inadequados, dimensionamento e disposição de ferragem inadequadas, não permitindo a passagem do concreto, erros de quantidades na preparação do concreto, enfim, uma série de causas e às vezes acumuladas, resultam em segregações de grande gravidade inclusive pondo em risco a estabilidade da obra.

Para as segregações de concreto, sempre falando genericamente, temos diversos tipos de soluções, sendo que o preparo inicial, deverá ser mantido em todas as opções de produtos, que poderemos escolher, conforme as características de cada obra.

- 1) Deve ser removido todo o material solto até chegarmos ao concreto são, por meios mecânicos ou manuais.

Não devemos esquecer nunca de analisar também de onde nos estamos removendo o concreto segregado. Por exemplo: tivemos casos em que antes de ser iniciada a remoção do material solto, a estrutura teve que ser escorada.

2) Devem ser tomadas todas as providências quanto à limpeza da região, onde foi executado o serviço de rompimento e remoção do concreto segregado.

Vamos citar diversos tipos de sistemas e produtos que poderão solucionar o problema.

- a) Recomposição das áreas com argamassa cimento/areia, colada com epoxi.
- b) Recomposição das áreas com argamassa sintética (epoxi + areia ou quartzo granulado).
- c) Recomposição das áreas, com concreto colado com epoxi auxiliado por formas de madeira ou metálicas.
- d) Recomposição com resina epoxi pastosa (epoxi + cargas).
- e) Recomposição com concreto projetado.
- f) Recomposição com argamassa tipo DRY PACK de fechamento, e injeção de calda de cimento para preenchimento de vazios internos.

II - REPARAÇÕES INTERNAS:

Vamos a seguir citar uma solução diferente para casos especiais dentro das ocorrências de segregação.

- 1) Tratamento de segregações de concreto através de injeção de resinas líquidas com ou sem presença de umidade, bloqueio de infiltrações contra pressão negativa.

Para dar um exemplo genérico vamos analisar uma área de um reservatório, que não teria possibilidade de ser retirado de operação, e com vazamentos bastante acentuados, ou vazamentos

em barragens de concreto.

A área a ser tratada deverá ser apicoada ou jateada, para termos condições de ancoragem ideais, em função da rugosidade e limpeza conseguidas com o preparo da superfície.

Identificaremos a seguir, os pontos preferenciais de percolação de água, e através de furadeiras pneumáticas são abertos drenos no concreto nesses pontos. Nos drenos são chumbados tubos de alumínio, para posterior injeção.

Após a fixação de tantos tubos-drenos quantos forem necessários, para termos controle de todos os veios por onde há passagem de água, a área restante deverá ser emasseada com resina epoxi pastosa, com aderência em superfície úmida, para que quando for feita a injeção, não haja retorno por uma eventual porosidade vizinha.

Após a cura das resinas, é iniciado o processo de injeção por intermédio de tanques de pressão, com pressões variáveis de 1 a 4 kg/cm², sempre em função da altura de coluna d'água do reservatório ou barragem.

A injeção deve ser efetuada havendo alternância de bicos injetores. Normalmente pulando um bico injetor, podemos observar melhor a eficiência da injeção e as possibilidades de retorno.

Para termos controle de quando, eventualmente, durante a injeção feita por um bico injetor, já atravessamos a parede de concreto, e chegamos dentro do reservatório, esta operação é controlada através da sensibilidade do operador da injeção, sempre atento à velocidade de penetração a uma dada pressão, pois, não havendo obstáculos, é perfeitamente constatável, mediante observação da velocidade e do manômetro.

Após todos os bicos terem sido injetados, é dobrada a mangueira de injeção de cada bico, para não haver perda de material durante sua cura.

Os tubos serão cortados após a cura, ao nível do concreto e

serão calafetados os seus lugares. Este procedimento tem sido largamente usado por nós com resultados excelentes.

2) FISSURAS ATIVAS PROFUNDAS:

As causas das fissuras ativas profundas não podem ser analisadas de uma forma genérica. Por outro lado, a solução executiva será dada, na medida em que, apesar da fissura, a peça de concreto irá resistir.

A colmatação dessa fissura, será feita com injeção de um ligante epoxídico não plastificado ou polisulfetos que tenham um alongamento à ruptura maior que 100%, depois do endurecimento completo, e deverá ser flexível para acompanhar as deformações da fissura. O material poderá também apresentar uma resistência à tração superior a do concreto.

Para este serviço seriam desaconselhados todos os tipos de ligantes hidráulicos rígidos.

3) FISSURAS PASSIVAS:

Fissuras passivas de largura menor que 0,2 mm

Fissuras passivas de largura L ($0,2 \leq L < 0,6$)

Fissuras passivas de largura L ($0,6 \leq L < 3$ mm)

Para os três tópicos acima, após a análise do problema, causas e evolução, e ter sido verificada a resistência da obra, a solução para o reparo nos três casos, será o tratamento das fissuras e trincas, com injeção de resinas, para os quais daremos um roteiro executivo geral, que será discutido em seguida.

TRATAMENTO DAS FISSURAS E TRINCAS COM INJEÇÃO DE RESINAS LÍQUIDAS.

A sequência de operação será a seguinte:

- a) Abertura da secção com rebarbadores pneumáticos (2,0 x 1,0) cm.
- b) A cada 20 (vinte) e até 40 (quarenta) cm máximos, seguindo-

-se o sentido da trinca ou fissura, serão executados furos de até 30 (trinta) mm de profundidade.

- c) Nos furos abertos serão colocados injetores, que serão colados com resina epoxídica encorpada.
- d) Será efetuada a colmatação do fundo da abertura ao longo da trinca, com resina epoxídica encorpada.
- e) Após a polimerização das resinas, será injetado com tanque de pressão, com pressão máxima de 4 kg/cm^2 de baixo para cima, uma resina líquida, de ponto de fluidez adequado à abertura da trinca, até o preenchimento total.
- f) Após a polimerização inicial da resina injetada, os injetores serão cortados e as cavidades preenchidas com massa especial.

Quanto ao tipo de produto ligante adequado, vamos dar as coordenadas conforme a subdivisão acima.

Fissuras passivas de largura menor que 0,2 mm - Deveremos utilizar resinas epoxídicas líquidas bicomponentes, bastante fluidas e sem solvente, com viscosidade ao redor de 100 CPS a 20°C.

Fissuras passivas de $0,2 \text{ mm} \leq L < 0,6 \text{ mm}$ - Deveremos utilizar resinas epoxídicas líquidas bicomponentes fluidas com viscosidade menor que 500 CPS a 20°C.

Fissuras passivas de $0,6 \leq L < 3, \text{mm}$ - Deveremos utilizar resinas epoxídicas líquidas bicomponentes puras ou com carga, mas sem solventes, com viscosidade menor que 1500 CPS a 20°C.

Fissuras passivas de largura maior que 3 mm - Poderemos utilizar ligantes de resinas epoxídicas líquidas puras ou com carga, sempre sem solventes para evitar problemas de retração.

4) CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DOS LIGANTES EPOXÍDICOS:

Aderência sob suporte - Em superfície seca - BOA

Aderência sob suporte - Em superfície úmida: depende da
formulação.

Coefficiente de dilatação térmica - um pouco superior aos
ligantes hidráulicos.

ligantes epoxídicos puros $50 \times 10^{-6}/0^{\circ}\text{C}$
concreto (11-14) $\times 10^{-6}/0^{\circ}\text{C}$

Tixotropia - nula sem cargas minerais.

Resistências mecânicas - bastante superiores aos ligantes
hidráulicos.

Módulo de elasticidade - Ligantes epoxídicos:
de 10.000 a 30.000 bares podendo
chegar em argamassas sintéticas
de 100.000 a 300.000 bares. Então
teríamos uma variação total de
aproximadamente 1.020 a 305.000 -
 kg/cm^2 .

Módulo de elasticidade - do concreto = $250.000 \text{ kg}/\text{cm}^2$.

Retração - bastante baixa tendendo a zero.

Condições e precauções durante o tratamento de fissuras e trin-
cas com o emprego de resinas injetáveis.

As resinas empregadas em injeção são bicomponentes e como pri-
meiro cuidado deveremos observar a relação de mistura entre
a resina e o catalizador (endurecedor) e respeitá-la rigorosa-
mente pois qualquer modificação pode refletir diretamente nas
resistências mecânicas para as quais o material foi dimensio-
nado.

A mistura dos dois componentes pode ser feita com um mistura-
dor especial com palhetas de baixa velocidade para evitar a
formação de bolhas de ar, ou, manualmente, se as quantidades
forem pequenas para termos garantia de homogeneidade, fator
importantíssimo para a boa performance do produto.

A limpeza da fissura deverá ser efetuada com ar comprimido, tomando cuidados para que não haja nem óleo e nem água na linha. Eventualmente podem ser lavadas com água se estivermos certos de poder eliminar a água de lavagem com ar comprimido.

Após a furação e calafetação ao longo da trinca, deve-se verificar se existe passagem e intercomunicação dos furos, com ar comprimido.

Em função do produto a ser utilizado, deve-se regular as quantidades de material misturado, em função da temperatura ambiente, e dos tempos abertos de utilização da resina.

A operação de injeção deve transcorrer sem interrupção até o final. E após a injeção do último bico injetor deve-se manter a pressão de injeção por alguns minutos, para assegurar o preenchimento completo da fissura. A pressão da injeção poderá variar segundo a técnica de injeção e o estado do concreto.

A injeção deve ser efetuada lentamente para permitir a passagem da resina nas ramificações finas da fissura e nas porosidades do concreto.

Após a injeção e sempre que necessário, para a limpeza dos equipamentos, deve ser usado um solvente orgânico.

5) INJEÇÃO DE TRINCAS E FISSURAS COM REFORÇO DE ARMADURA:

Poderão ocorrer casos em que por determinações do projeto de reforço seja necessário adicionar uma ferragem suplementar na região onde ocorreu a trinca.

Temos tido oportunidade de participar em inúmeros casos, principalmente em reservatórios antigos, com trincas, nos quais a concepção da recuperação foi a reconsolidação do conjunto, na medida em que após análise da estrutura chegou-se a conclusão de que as trincas estavam estabilizadas devido a não haver mais possibilidade de movimentação do solo onde estava apoiado o reservatório e o reforço da armadura do mesmo, na região das trincas, teria de ser executado, pois a secção de ferro na

região trincada estava enfraquecida. Na sua grande maioria as trincas ocorreram nas paredes dos reservatórios.

Como primeira medida, a argamassa de revestimento foi rompida em faixas, ao longo das trincas, numa largura de 1,20 m.

Ao chegar no concreto estrutural, este foi também rompido, para possibilitar o engastamento de ferragem adicional na parede de concreto.

A ferragem de reforço tinha um comprimento de corte de 1,20 m sendo dobrada nas duas extremidades em esquadros de 10 cm de cada lado.

Em seguida, através de furadeiras de videa, foram feitos 2 furos, 1 em cada extremidade, com diâmetro superior ao ferro de reforço, para engastamento da ferragem na estrutura, com resina epoxídica pastosa.

Cada um dos ferros foi engastado à estrutura de concreto, sempre observando-se uma descentralização no seu engaste, mantendo o mesmo plano na sua colocação, de forma a não ser criada uma única linha de tensões nos engastes, pois caso os mesmos estiverem todos numa secção, esta estaria enfraquecida.

Além do reforço, todas as trincas foram injetadas com resinas epoxídicas líquidas, conforme procedimento já descrito anteriormente.

Após toda a sequência das injeções, foi recomposto o recobrimento com argamassa cimento/areia 1:3, colada com resina epoxídica líquida, aplicada com pistolas de alta pressão do tipo "Air Less" com relação de compressão de 1:75 com 6.000 libras no bico, permitindo assim uma penetração total na porosidade do concreto, previamente jateado com areia. Todos os trabalhos foram acompanhados por controle tecnológico de laboratórios de concreto; prática que reputamos deva ser a regra geral para todo e qualquer serviço de recuperação de estruturas, fornecendo sempre dados de acompanhamento necessários ao andamento, e ao bom termo da execução.

6) PRECAUÇÕES NO TRABALHO COM PRODUTOS EPOXÍDICOS:

Os ligantes epoxídicos mais utilizados em obras públicas são constituídos por dois componentes: a base e o endurecedor, acondicionados em dois recipientes distintos.

É importante escolher produtos bem formulados pois as taxas de aderência são muito mais função do endurecedor (catalizador) que da base (resina).

Isto se torna muito importante, principalmente quando a superfície de suporte do concreto está úmida. Na medida do possível, é necessário tomar precaução de secar o suporte com ar comprimido insuflado na superfície, antes de aplicar o filme de epóxi.

Em todo caso é conveniente assegurar que o produto proposto não tenha solvente. Os riscos de endurecimento incompleto e de formação de bôlhas podem ocorrer no caso de retenção de solvente no concreto.

A camada de ancoragem é constituída por uma camada ou um filme de resina pura sem carga e por um filme de 2 a 3 mm de resina com carga (no caso de resinas pastosas).

Fator importante na execução de uma obra é termos o conhecimento de temperatura, quantidade de material a ser preparado, e umidade do suporte, fatores estes que influem diretamente na escolha do material adequado e sistema de mistura e aplicação.

Cada formulação epoxídica tem uma temperatura mínima de utilização, abaixo da qual a reação de polimerização se faz incompletamente ou não se faz. Em temperaturas inferiores a 15°C pode ocasionar uma diminuição da polimerização.

Para o tempo frio nós podemos esquentar os componentes do ligante, mas, convém notar que o produto aplicado em filme toma rapidamente as temperaturas próximas da do suporte, e que o endurecimento se processa, salvo precauções especiais à temperatura ambiente.

Em temperatura vizinha a 100°C ou após uma estocagem prolongada o componente base (resina) pode cristalizar e se solidificar. Se bem que quimicamente intato, não pode ser utilizado nesse estado.

Devemos então aquecer em banho-maria a resina até quase 50°C até a fusão completa dos cristais. Não se deve aquecer o recipiente diretamente. Em seguida, devemos resfriar a resina antes de misturar o endurecedor (catalizador). Por outro lado, o catalizador pode ter decantado ou estar muito espesso. Recomendamos uma homogenização antes de utilizá-lo.

Para temperaturas ambientes elevadas, é indispensável conhecer o tempo aberto de utilização do ligante após a mistura, pois a reação de polimerização é exotérmica e se acelera em função de temperatura e quantidade de produto preparado.

Devemos estocar os produtos em lugares frescos e arejados sempre ao abrigo do sol.

Lógicamente o produto não deve ser utilizado se seu tempo prático de operação (pot-life) é superior ao tempo de preparação e de aplicação no canteiro de obras.

INFLUÊNCIA DA ÁGUA NO SUBSTRATO:

É preciso distinguir 4 estados superficiais para receber um filme de ligante epoxídico :

- superfície seca
- superfície úmida
- superfície muito molhada
- superfície submersa

(colagem sub-aquática)

A superfície seca é a que confere as melhores aderências.

A superfície úmida é admissível para certos ligantes epoxídicos.

A superfície muito molhada é passível de resultados enganosos, se não forem tomados cuidados especiais na aplicação.

Quanto à colagem sub-aquática constitui um caso particular e necessita também um estudo prévio em laboratório para assegurar a eficácia do produto escolhido.

MISTURA DOS COMPONENTES:

É sempre aconselhável homogenizar o conteúdo de cada componente antes de pesar as quantidades necessárias à mistura.

É necessário respeitar rigorosamente as proporções de mistura, não esquecendo de não deixar quantidade alguma de material no fundo das embalagens, pois as resistências mecânicas podem variar na medida que variamos a porcentagem de endurecedor em relação à base. Isto se torna imperativo no caso de utilização de ligantes epoxídicos com carga de consistência pastosa.

Os recipientes e os equipamentos utilizados devem estar secos. O ideal para mistura e garantia de homogeneização é que os dois componentes sejam de cor diferente.

Na maior parte dos casos é conveniente respeitar um tempo de estabilização da mistura, tempo este correspondente ao início da reação entre os componentes, que deverá constar da ficha técnica do produto.

A aplicação do ligante epoxídico sobre o suporte de concreto pode ser feita com pistolas de alta pressão, espátulas, pincéis, tanques de pressão, enfim, sempre de acordo com a viscosidade do produto e com as quantidades de serviço.

Se as superfícies de aplicação forem inclinadas ou verticais, deve-se utilizar um ligante tixotropizante para não ocorrer problemas de escorrimento de material e bolhas.

BIBLIOGRAFIA:

Choix et application des produits de réparation des ouvrages en béton.

MINISTÈRE DE L'EQUIPEMENT ET DE D'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE.