

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

DALILA KARLA MOURÃO

INJEÇÃO DE RESINAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

**BELO HORIZONTE
2010**

DALILA KARLA MOURÃO

INJEÇÃO DE RESINAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Monografia apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, como requisito para a obtenção do título de Especialista em Construção Civil.

Orientador: José Eduardo de Aguiar

BELO HORIZONTE
2010

Dedico este trabalho a Luiz Fernando de Faria Rocha pelo carinho, cumplicidade e apoio dispensados em todos os momentos que precisei.

Para uma civilização, não é a técnica que representa o verdadeiro perigo, é a inércia das estruturas.

Louis Armand

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Professor José Eduardo de Aguiar pelos ensinamentos constantes, por me mostrar como trabalhar com competência, dedicação e entusiasmo.

Ao Gustavo Figueiredo Maia e toda a equipe da Construtora G-Maia Ltda. pelo incentivo, pela participação ativa através de visitas técnicas e pela amizade.

Aos engenheiros Fabiano Sales de Menezes, Oswaldo da Rocha Soares Filho e Marcos de Souza da Retech Serviços Especiais de Engenharia Ltda. pelos ensinamentos, pela parceria, pelo apoio e prontidão que sempre demonstraram.

A minha amada família por me ensinarem a caminhar com garra e dedicação, especialmente a minha irmã Dardania Mourão pelo carinho e suporte em todos os momentos.

Aos meus cunhados pelo companheirismo e incentivo.

Aos colegas do curso de especialização pela amizade.

RESUMO

Este estudo tem por objetivo apresentar uma revisão bibliográfica sobre a injeção de resinas para a recuperação de estruturas de concreto. A tecnologia de injeção de resinas na recuperação de estruturas de concreto tem sido uma ferramenta para os profissionais da engenharia devido a sua facilidade de adequação as condições da obra e eficiência para sanar estas patologias. A necessidade de se conhecer as causas do aparecimento das patologias ainda não tem sido o foco principal dos estudos aqui pesquisados, mas é fundamental para se tratar as condições desejadas desde o projeto da obra. Os sistemas de recuperação podem ser rígidos ou flexíveis e as resinas mais comuns, utilizadas nestes processos são: resina de poliuretano, resina epóxi, gel de acrílico e micro cimento, cada uma delas apresentando características específicas a serem utilizadas para a recuperação dos mais diversos tipos de anomalias e condições da obra. Mesmo que não haja a atuação na causa raiz do problema das patologias é importante salientar que existem condições de recuperação de muitas destas patologias com o uso de injeção de resinas.

Palavras chave: Estruturas de concreto; patologias; injeção de resinas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Situação antes dos reparos	23
Figura 2 – Tamponamento com espuma e selamento com gel de PU	23
Figura 3 – Junta de concreto após a injeção	24
Figura 4 – Trinca úmida a ser recuperada e trinca após recuperação	24
Figura 5 – Bicos injetores de perfuração	27
Figura 6 – Bicos injetores de aderência	27
Figura 7 – Bomba injetora de resina de poliuretano	27
Figura 8 – Bomba de Injeção de Gel Acrílico	27
Figura 9 – Situação antes I	28
Figura 10 – Situação depois I	28
Figura 11 – Situação antes II	28
Figura 12 – Situação depois II	28
Figura 13 – Preparação da resina para aplicação	29
Figura 14 – Visualização da trinca na estrutura do concreto	30
Figura 15 – Visualização da trinca na estrutura do concreto	30
Figura 16 – Bicos injetores instalados com ângulo de 45°	31
Figura 17 – Bicos de injeção da resina	31
Figura 18 – Trinca úmida	32
Figura 19 – Visão da superfície a ser injetada a resina	32
Figura 20 – Equipamento utilizado para injetar a resina nos bicos	33
Figura 21 – Superfície após a injeção da resina	33
Figura 22 – Superfície após aplicação da resina	34
Figura 23 – Processo de aplicação da resina nos bicos	34
Figura 24 – Processo de aplicação da resina nos bicos	35
Figura 25 – Resina sendo aplicada nos bicos e saindo na fissura do concreto	35
Figura 26 – Aplicação da resina alternada em todos os bicos	36
Figura 27 – Aplicação da resina alternada em todos os bicos	36
Figura 28 – Saída da resina do bico de injeção	37
Figura 29 – Saída de resina em outros bicos após completo preenchimento da fissura	37
Figura 30 – Heliponto onde se encontra a estrutura de concreto pesquisada	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Gasto com reparos manutenção em alguns países	17
Tabela 2 – Índices de patologias em estruturas de concreto armado no Brasil.....	18
Tabela 3 – Causas da deterioração das estruturas de concreto armado	19

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVO GERAL	12
2.1.	Objetivos específicos	12
3	METODOLOGIA	13
4	REFERENCIAL TEÓRICO	14
4.1.	As estruturas de concreto armado.....	14
4.1.1.	<i>Os materiais para produção de concretos armados</i>	15
4.1.2.	<i>A degradação do concreto</i>	16
4.2.	As patologias do concreto	17
4.3.	A avaliação das patologias.....	20
4.4.	As formas de recuperação das patologias com o uso de resinas	22
4.4.1.	<i>Estrutural</i>	22
4.4.2.	<i>Selamento</i>	23
4.4.3.	<i>Impermeabilização</i>	24
4.5.	As resinas para manutenção de estruturas de concreto	25
4.5.1.	<i>Os procedimentos de preparo</i>	26
4.5.2.	<i>A eficiência deste processo</i>	28
5	A RECUPERAÇÃO DO CONCRETO NA PRÁTICA	29
6	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

Ultimamente, são muitos os avanços encontrados na tecnologia dos materiais utilizados na construção civil e também para os reparos necessários quando da ocorrência de trincas, fissuras e outros danos ocorridos nas estruturas de concreto.

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil; estima-se que o consumo mundial do concreto seja da ordem de 5,5 bilhões de toneladas por ano.

Atualmente, encontramos-nos numa etapa de desenvolvimento da tecnologia do concreto na qual não só o proporcionamento dos materiais e suas propriedades são estudados, mas onde a própria utilização de materiais até então não presentes nas fases constituintes de concretos tradicionais (cimento, agregados e água) são utilizados. É a fase do aparecimento de aditivos responsáveis pela melhoria de alguma propriedade do concreto (superfluidificantes, plastificantes, aceleradores, etc.), de novos materiais que substituem alguma fase tradicional (resinas que podem substituir o cimento em concretos polímeros) ou de adições pozolânicas fortes que, ao reagirem com o hidróxido de cálcio produzido nas reações de hidratação do cimento e atuarem como microfiller (material inerte muito fino), aumentam sobremaneira as resistências do material.

Os concretos, em sua maioria, valem desta última fase do desenvolvimento da tecnologia do concreto. Altas resistências desenvolvidas com baixas relações água/cimento são possíveis com a utilização de aditivos superplastificantes estando ou não associados à pozolanas fortes (por exemplo, a microssílica).

Existem várias possibilidades de aplicação para resinas, entre as quais em edifícios altos, pontes, pavimentos rodoviários, plataformas marítimas, pré-moldados, reparos e recuperação de estruturas.

Nas estruturas de concreto surgem alguns problemas como trincas, fissuras, falhas, buracos, corrosão, dentre outros. Estes defeitos que ocorrem nestas estruturas podem ocasionar problemas bem maiores se não forem tratados de forma correta.

O uso das resinas no ramo da construção civil tem facilitado muito nos reparos destes problemas em estruturas de concreto e proporcionam trabalhos mais práticos e eficientes para a recuperação destas falhas.

As resinas, normalmente compostas por polímeros, são tipos de plásticos especiais, fabricados artificialmente a partir de substâncias químicas oxidantes e que permitem sua utilização nas mais diversas circunstâncias. Suas características físicas e químicas beneficiam os modos de aplicação na construção civil e apresentam resultados importantes para esta área.

2 OBJETIVO GERAL

Demonstrar o uso de resinas injetadas para a recuperação de estruturas de concreto armado.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar as características do concreto armado e suas aplicações;
- Analisar os critérios das normas NBR quanto à preparação e manutenção de estruturas de concreto armado;
- Apresentar as principais anomalias que podem ocorrer em estruturas de concreto armado;
- Demonstrar os tipos de resinas, suas características de uso e aplicação em estruturas de concreto armado;
- Analisar as alternativas existentes para recuperação dessas anomalias.

3 METODOLOGIA

Este estudo se caracteriza por uma pesquisa teórica que aborda o tema relacionado ao uso das resinas injetadas em estruturas de concreto armado e suas peculiaridades. Também esta pesquisa pode ser entendida como uma pesquisa explicativa e exploratória por se tratar de um estudo de cunho puramente teórico.

Para elaboração deste estudo foi utilizada a técnica de pesquisa bibliográfica através de livros, artigos de revistas, folhetos de fornecedores de equipamentos para injeção de resinas em estruturas de concreto, dissertações de mestrado e monografias.

Além da pesquisa teórica este estudo também apresenta algumas ocorrências práticas relacionadas ao tema proposto retiradas de uma obra de grande porte localizada em Belo Horizonte. Esta fase foi realizada através de visitas técnicas as obras a fim de evidenciar, na prática, as teorias aqui expostas. Serão utilizadas fotografias retiradas das ocorrências de utilização das resinas e uma abordagem das características em que aconteceram os fatos.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

Todo estudo necessita de bases científicas para se valer das teorias e proposições já estudadas. Portanto, este estudo aborda as teorias disponíveis quanto da utilização de injeção de resinas para a recuperação de estruturas de concreto e também salienta algumas propriedades relacionadas às estruturas de concreto e suas aplicabilidades.

4.1. AS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

A união das propriedades de resistência à tração do aço com a resistência à compressão permite ao concreto armado vencer grandes vãos e alcançar alturas extraordinárias, além disso, o concreto é um material plástico, moldável, ao qual é possível impor os mais variados formatos, conforme comentado por Santos (2006).

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil de um modo geral, principalmente no Brasil. Por ter uma utilização bastante eclética, o concreto armado tem sido utilizado em diversos tipos de meio ambiente. Com isso, faz-se necessário a execução de obras duráveis de acordo com a agressividade a qual elas estão expostas, além de resistir adequadamente às solicitações mecânicas.

Segundo afirmam Helene e Figueiredo (2001, p. 17) “o concreto de cimento Portland tem provado ser o material de construção mais adequado para estruturas, superando com largas vantagens alternativas viáveis, como madeira, aço ou alvenaria.” Também é comentado pelos autores que mesmo com uma previsão de vida elevada, as estruturas de concreto – ainda que recebam manutenção sistemática e programada – apresentam patologias em intensidade e incidência significativas, acarretando elevados custos para sua correção. Além desta afirmação dos autores ainda há que se considerar que tais patologias podem acarretar no comprometimento parcial ou até total da edificação.

4.1.1. *Os materiais para produção de concretos armados*

Segundo comentado por Raeder Filho (2005, p. 16) “o conhecimento da estrutura e das propriedades de cada material presente na constituição do concreto, assim como das relações estrutura-propriedade, constitui a essência da moderna ciência dos materiais.”

Conforme apresentado por Helene (2009) a resistência do concreto aos diferentes meios agressivos depende da natureza e tipo dos seus materiais constituintes, assim como da composição ou dosagem do concreto, ou seja, depende de: tipo e consumo de cimento; tipo e consumo de adições; relação água/cimento; natureza e D_{max} do agregado.

Ainda Raeder Filho (2005, p. 16) salienta sobre a importância do conhecimento da estrutura e propriedades dos constituintes da mistura, além da interação entre estes, são de extrema relevância quando se pretende elevar a resistência e vida útil do concreto.

Conforme mostrado por Raeder Filho (2005), os principais componentes para concretos armados são: cimento, agregados, água, aditivos superplastificantes, vergalhões de aço. A seguir são apresentadas algumas características de cada um dos componentes do concreto armado. Conforme apresentado por Takagi e Almeida Junior (2002); Helene (1992); Neville (1997); Raeder (2005), Souza Junior (2004), são elas:

- 1) Cimento + água = pasta;
- 2) Pasta + agregado miúdo = argamassa;
- 3) Argamassa + agregado graúdo = concreto simples;
- 4) Concreto simples + armadura de aço = concreto armado. Nesse item pode-se fazer uma nova subdivisão, em função da forma de trabalho da armadura:
 - a. concreto + armadura passiva = concreto armado;
 - b. concreto + armadura ativa = concreto protendido; neste caso a armadura (ou a cordoalha) é preliminarmente submetida a esforços de tração, visando melhorar o desempenho estrutural da peça a ser concretada.

Abaixo seguem os comentários dos autores Silva e Cerqueira (2008)

O concreto deve ter uma composição tal que, depois da compactação, tenha uma estrutura fechada, o teor de ar em volume não deve exceder 3 % para os agregados com máxima dimensão maior ou igual a 16 mm e 4% para os agregados com

máxima dimensão < 16 mm, não incluindo o ar introduzido e os poros dos agregados. (SILVA; CERQUEIRA, 2008, p. 3)

Ainda os autores Silva e Cerqueira (2008) salientam quanto à necessidade de se utilizar os meios corretos para a produção de concretos:

A composição do concreto deve permitir obter uma trabalhabilidade compatível com o método de construção a utilizar. A composição deve ser estudada de modo a minimizar a possibilidade de segregação e exsudação do concreto fresco. Em todos os casos o concreto deve satisfazer os requisitos básicos de estrutura, temperatura e durabilidade. (SILVA; CERQUEIRA, 2008, p. 3)

4.1.2. A degradação do concreto

Até pouco tempo, o concreto era visto como o material de maior durabilidade. Mas, nas últimas décadas, são cada vez maiores os índices que indicam que esta durabilidade está sendo comprometida.

Isto pode ser atribuído ao grande crescimento da aparição de manifestações patológicas. Devido ao elevado grau de deterioração e a frequência com que as manifestações patológicas vêm acontecendo em estruturas de concreto, situadas nos mais diversos tipos de ambientes, é de suma importância o conhecimento das principais causas e conseqüências dos ataques provenientes de cada um destes ambientes.

O estudo da durabilidade das estruturas de concreto tem evoluído devido ao melhor conhecimento dos mecanismos de transporte de agentes agressivos ao concreto. O Comitê 201 do *American Concrete Institute* (ACI) define durabilidade do concreto de cimento *Portland*, como sendo a sua capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração.

Para Neville (1997), o concreto é considerado durável, quando desempenha as funções que lhe foram atribuídas, mantendo a resistência e a utilidade esperada, durante um período de vida previsto. E acrescenta ainda, que a durabilidade do concreto não implica uma vida indefinida, nem suportar qualquer tipo de ação.

É importante comentar, conforme apresentado por Medeiros e Helene (2009), que, atualmente, são gastos bilhões em manutenção e reparo em construções representando aproximadamente 50% do total empregado em construções. (Tabela 1)

Tabela 1 – Gasto com reparos manutenção em alguns países

País	Gastos com construções novas	Gastos com manutenção e reparo	Gastos totais com construção
França	85,6 bilhões de euros (52%)	79,6 bilhões de euros (48%)	165,2 bilhões de euros (100%)
Alemanha	99,7 bilhões de euros (50%)	99,0 bilhões de euros (50%)	198,7 bilhões de euros (100%)
Itália	58,6 bilhões de euros (43%)	76,8 bilhões de euros (57%)	135,4 bilhões de euros (100%)
Reino Unido	60,7 bilhões de pounds (50%)	61,2 bilhões de pounds (50%)	121,9 bilhões de pounds (100%)

Fonte: MEDEIROS; HELENE (2009)

Helene (2009) comenta que a resistência da estrutura de concreto à ação do meio ambiente e ao uso dependerá, no entanto, da resistência do concreto e da resistência da armadura. Qualquer dos dois que se deteriore, comprometerá a estrutura como um todo.

4.2. AS PATOLOGIAS DO CONCRETO

Os autores Helene e Figueiredo (2001, p. 18) salientam a necessidade de se conceituar a linguagem patologia: “Patologia pode ser entendida como a parte da Engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.”

Ainda, muito bem comentado por Helene e Figueiredo (2001), salientam sobre a importância da “terapia” e dos estudos para que se conheçam as verdadeiras causas da patologia e analisar as possíveis intervenções:

“À Terapia cabe estudar a correção e a solução desses problemas patológicos, inclusive aqueles devidos ao envelhecimento natural. Para obter êxito nas medidas terapêuticas de correção, reparo, reforço ou proteção, é necessário que não apenas o estudo precedente, o diagnóstico da questão, tenha sido bem conduzido, mas principalmente que se conheçam muito bem as vantagens e desvantagens dos materiais, sistemas e cada um dos procedimentos de recuperação de estruturas de concreto, pois para cada situação particular existe uma melhor alternativa de intervenção.” (HELENE; FIGUEIREDO, 2001, p. 18-19)

Mesmo existindo uma grande quantidade de patologias em estruturas de concreto, somente serão abordadas nesta pesquisa aquelas em que se pode haver recuperação com o uso de injeção de resinas.

Segundo comentado por Silva, Pimentel e Barbosa (2003) mesmo com o avanço tecnológico no campo das técnicas e dos materiais de construção, tem-se observado um grande número de edificações relativamente jovens apresentando patologias. Os autores

atribuem estes fatos aos seguintes fatores: uso inadequado dos materiais, a falta de cuidados na execução do projeto e, principalmente a falta de manutenção.

Segundo apresentado por Mattos (2002, p. 30) a principal origem das patologias das estruturas de concreto são relacionadas à execução seguido por falhas de planejamento e projeto, conforme pode ser visto na tabela 2.

Tabela 2 – Índices de patologias em estruturas de concreto armado no Brasil.

Regiões/ Estados	Sudeste 1988	Norte/ Nordeste (Amazônia) 1994	Centro- Oeste GO, Ms e MT 1996	Centro - Oeste DF (Brasília) 1996	Nordeste (Pernambuco) 1998	Média
Nº de casos	709	348	155	246	189	
Origem das falhas	%	%	%	%	%	%
Planejamento /Projeto	18	30	22	24	44	28
Materiais	6	5	9	1	3	5
Execução	52	39	48	46	41	45
Uso	14	26	2	3	12	11
Manutenção	7	-	1	25	-	7
Outras	3	-	6	1	-	2

Fonte: MATTOS (2002, p. 30)

Também é citado por Mattos (2002), assim como neste estudo, que não é o foco explicitar estas questões quanto à durabilidade e a proveniência das patologias, apenas dar uma melhor compreensão das causas que levam ao aparecimento destas patologias e as características das estruturas de concreto.

Ainda Mattos (2002, p. 32) apresenta uma classificação das principais causas da deterioração como sendo: a negligência humana e a vulnerabilidade inerente da estrutura de concreto armado, estas sendo as principais causas da deterioração das estruturas de concreto armado, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Causas da deterioração das estruturas de concreto armado

Negligência humana	
Primeiro tipo	Segundo tipo
Materiais Inadequados: <ul style="list-style-type: none"> - cimento, - agregados, - aditivos químicos e minerais. Improriedade da especificação da mistura: <ul style="list-style-type: none"> - relação água/cimento, - ar incorporado. Projeto inadequado: <ul style="list-style-type: none"> - cobrimento da armadura, - posicionamento e densidade das barras, - forma e tamanho dos elementos. Descuidos das técnicas de execução: <ul style="list-style-type: none"> - abatimento e perda de abatimento, - lançamento, - adensamento, - cura. 	Falta de monitoramento da reação álcali-agregado na prática de campo: <ul style="list-style-type: none"> - agregados reativos, - cimentos altamente alcalinos. Modificações induzidas pela formação retardada de etringita: <ul style="list-style-type: none"> - clínquer com alto teor de sulfatos, - microfissuração, - exposição à água.
Vulnerabilidade inerente à estrutura de concreto armado	
Concreto	Armadura de aço
<ul style="list-style-type: none"> - Baixa resistência à tração, - Alto módulo de deformação, - Fissuração produzida na secagem pela contração térmica e pela retração por secagem, - Microfissuras como caminho preferencial para agentes ambientais agressivos (ar úmido, íons Cl⁻ e SO₄²⁻). 	<ul style="list-style-type: none"> - Corrosão quando exposta à umidade do ar ou penetração de íons Cl⁻, - Natureza expansivo-desagregadora do processo de corrosão causando fissuras no cobrimento de concreto.

Fonte: MATTOS (2002, p. 32)

Dentre as principais patologias que podem surgir em uma estrutura de concreto armado serão apresentadas apenas aquelas em que há a possibilidade de recuperação através do uso de injeção de resinas, as fissuras. Segundo afirmam Takagi e Almeida Junior (2002) a recuperação desta anomalia, conforme a norma brasileira de projeto de estruturas de concreto NBR 6118 deve ser seguida como apresentado: “as fissuras com aberturas máximas características que excedam os valores limites preconizados nesta norma, fissuras com infiltrações de água ou sujeitas ao ataque de substâncias agressivas devem ser tratadas.” Esta afirmação se deve ao fato de se colocar em risco toda estrutura.

4.3. A AVALIAÇÃO DAS PATOLOGIAS

Takagi e Almeida Junior (2002, p. 2) comentam que se deve atentar para alguns detalhes apresentados nas estruturas de concreto a fim de se utilizar o método mais prático de recuperação destas.

A norma NBR 6118 define valores limites máximos característicos para a abertura da fissura, que desde que não exceda valores da ordem de 0,3 a 0,4 mm, não têm importância significativa na corrosão das armaduras passivas. Nas estruturas com armaduras ativas (concreto protendido) as fissuras podem ser mais nocivas, pois existe a possibilidade de corrosão sob tensão fraturante das armaduras ativas (cordoalhas).

De maneira geral a presença de fissuras com aberturas que respeitem os limites definidos na Norma, não denotam perda de durabilidade ou perda de segurança quanto aos estados limites últimos. Os limites devem ser mais restritos em função direta da agressividade dada pela classe de agressividade ambiental (CAA) ou quando afetarem a funcionalidade da estrutura quanto a estanqueidade, onde devem ser adotados limites menores para as aberturas de fissuras. (TAKAGI; ALMEIDA JUNIOR, 2002, p. 2)

A avaliação das patologias das estruturas de concreto deve ser realizada de forma correta a fim de se obter as condições certas para as correções e quais serão os melhores produtos a serem utilizados neste processo.

A avaliação deve ser realizada seguindo os aspectos relacionados ao parâmetro de estabilidade, segundo apresentado por Aguiar (2009):

- Peças estruturais deslocadas ou desalinhadas;
- Transversinas ou longarinas mal apoiadas em pilares;
- Trincas junto aos apoios ou aparelhos rompidos;
- Impactos com ruptura de armadura passiva ou ativa;
- Deformações excessivas;
- Fissuração sistemática;
- Falhas de concretagem em pontos de alta tensão de compressão;
- Deslizamento de taludes ou outras anomalias que possam comprometer as fundações.

Ainda Aguiar (2009) apresenta os parâmetros a serem avaliados quanto a funcionalidade:

- Juntas de dilatação e cabeceiras causando solavanco brusco e impacto na estrutura;
- Formação de lâmina d'água possibilitando derrapagem ou aquaplanagem;
- Falta de sinalização de gabarito inadequado;
- Falta de dispositivos de proteção em peças estruturais sujeitas à impactos;
- Falta de guarda corpo;
- Falta de defensas rígidas;
- Buracos na pista.

Também é citado por Aguiar (2009) que o parâmetro de durabilidade deve ser observado nos seguintes aspectos:

- Estado de fissuração inaceitável;
- Presença de águas nos caixões perdidos;
- Armadura protendida com água no interior das bainhas;
- Armadura (passiva ou ativa) exposta a alto grau de corrosão;
- Destacamento de concreto por corrosão;
- Ausência de pingadeiras;
- Existência de falhas concretagem;
- Degradação por incêndio;
- Reação álcali-agregado.

Baseando-se nestes parâmetros pode-se verificar qual o melhor processo de correção para cada uma das patologias encontradas.

Mesmo com a existência de diversos tipos de patologias em estruturas de concreto serão tratados neste estudo apenas aquelas passíveis de recuperação através do processo de injeção de resinas em sistemas rígidos ou flexíveis.

4.4. AS FORMAS DE RECUPERAÇÃO DAS PATOLOGIAS COM O USO DE RESINAS

Para se recuperar as estruturas de concreto armado é necessário saber onde será realizado o trabalho e que tipo de recuperação é a mais adequada para as anomalias encontradas. Sejam as anomalias de caráter estrutural, de selamento e de impermeabilização. Ainda é necessário saber sobre as condições da obra se as anomalias são relacionadas a trincas secas ou úmidas e também se apresentam caráter ativo ou passivo.

Segundo comentado por Takagi e Almeida Junior (2002, p. 3) também é necessário avaliar “as condições de trabalho da resina endurecida devem levar em conta as solicitações mecânicas a qual a resina estará submetida durante toda a vida útil da estrutura.”

Também os autores comentam que é necessário identificar as seguintes situações:

“SELAMENTO: onde a resina endurecida deve preencher toda a seção da peça evitando a penetração de agentes agressivos visando à durabilidade da peça estrutural com a proteção do concreto e da armadura;

ESTRUTURAL: onde a resina endurecida deve transferir os esforços solicitantes da estrutura, seja esta de cisalhamento, torção, tração ou compressão, visando a estabilidade da peça estrutural, restaurando a capacidade de suporte da estrutura.

TRINCAS ÚMIDAS: onde o teor de umidade do substrato pode alterar as características da resina antes de sua completa reação química.

TRINCAS SECAS: onde os teores de umidade superficial do substrato devem ser menores que 6% para resinas epóxi e 4% para resinas de poliuretano.” (TAKAGI; ALMEIDA JUNIOR, 2002, p. 3)

Com base nestes fundamentos identificados por Takagi e Almeida Junior (2002) pode-se obter o modo correto e eficiente de correção para a patologia identificada.

Faz-se necessário compreender os tipos de resinas a serem utilizadas em cada tipo de estrutura e ao fim que ela se propõe.

4.4.1. *Estrutural*

Para a recuperação de patologias com caráter estrutural a MC BAUCHEMIE (2009) salienta que se devem utilizar as resinas, com as seguintes características: Epóxi (rígido, altas resistências, excelente aderência, grande durabilidade, não funciona com água); Microcimento (rígido, boas resistências, excelente aderência, grande durabilidade, proteção alcalina,

funciona com água); Poliuretano estrutural (rígido, boas resistências, excelente aderência, grande durabilidade, funciona com água).

4.4.2. Selamento

Segundo apresentado por MC-BACHEMIE (2009) para o selamento de estruturas de concreto deve-se utilizar o poliuretano (PU) flexível, devido suas características de flexibilidade, ser impermeável, ter excelente aderência, ser de grande durabilidade e funcionar com água. Como pode ser visto nas figuras 1, 2 e 3.



Figura 1 – Situação antes dos reparos

Fonte: MC BAUCHEMIE (2009)

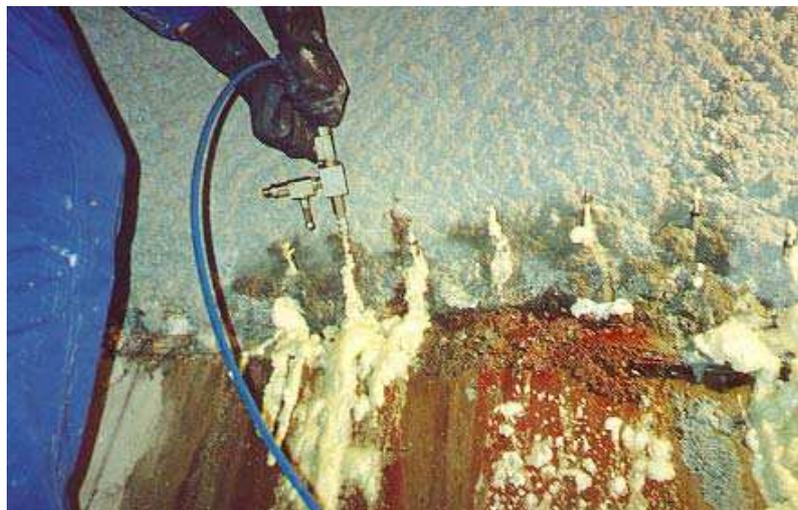


Figura 2 – Tamponamento com espuma e selamento com gel de PU

Fonte: MC BAUCHEMIE (2009)



Figura 3 – Junta de concreto após a injeção

Fonte: MC BAUCHEMIE (2009)

4.4.3. Impermeabilização

Para a impermeabilização de estruturas de concreto é comentado em MC Bauchemie (2009) que se devem utilizar a injeção de poliuretano flexível, pré-injeção de espuma de poliuretano, injeção final de gel de poliuretano, injeção de gel acrílico, injeção de poliuretano estrutural. Pode-se avaliar a eficiência deste processo nas figura 4.



Figura 4 – Trinca úmida a ser recuperada e trinca após recuperação

Fonte: MC BAUCHEMIE (2009)

4.5. AS RESINAS PARA MANUTENÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

Para uma melhor compreensão dos tipos de resinas utilizadas para a recuperação de estruturas de concreto serão abordadas os sistemas rígidos e os flexíveis.

Conforme comentado por Takagi e Almeida Junior (2002) a tecnologia de injeção compreende em procedimentos para recuperação de falhas estruturais através da escolha criteriosa dos materiais a serem utilizados, isto requer um preciso conhecimento da causa do problema, e devem ser projetadas especificamente para cada peça estrutural.

Para a recuperação das estruturas de concreto Takagi e Almeida Junior (2002) apresentam as seguintes resinas que são, comprovadamente, eficientes e apresentam alta durabilidade, conforme comentado por Pinto e Takagi (2005): resinas de poliuretano, epóxi, gel de acrílico e o micro cimento.

Ainda Takagi e Almeida Junior (2002) caracterizam as resinas mais utilizadas quanto a resistência e aplicabilidade. Ainda um dos principais critérios descritos pelos autores são a espessura da fissura e as condições em que serão aplicadas as resinas (estruturas secas ou úmidas).

1. Poliuretano

- a. Resinas de poliuretano à base de Metil-Di-Isocianatos (MDI) e polioli permanecem impenetráveis, sendo que a durabilidade das resinas de poliuretano (mais de 20 anos de aplicações no campo) tem sido testada em condições únicas.
- b. Há formação de uma estrutura uniforme e regular; com uma excelente aderência em fissuras secas ou úmidas.
- c. Deve ser executada utilizando-se bombas de injeção de alta pressão e através de injetores metálicos de perfuração ou de adesão.

2. Epóxi

- a. Apresentam propriedades mecânicas superiores à qualquer resina, resistência à compressão de 80 à 100 MPa e resistências à tração entre 40 à 60 MPa.

- b. Permite o preenchimento de fissuras a partir de 0,1 mm devido a baixa viscosidade. Em fissuras mais largas, esta propriedade garante o completo preenchimento da fissura sem deixar qualquer vazão.
- c. É executada utilizando-se as mesmas bombas de injeção de alta pressão e através de injetores metálicos de perfuração ou adesão utilizados para injeção de poliuretano.

3. Gel de acrílico

- a. O termo gel (podendo ser acrilatos, dispersão de sílicatos, poliuretano ou até mesmo epóxi) sugere um material em suspensão coloidal disperso em água, que se polimeriza formando uma gelatina.
- b. O gel de acrílico é composto por 80% de água para 20% de químicos, e se caracteriza como um material altamente elástico (200%)
- c. podendo ser injetado em fissuras menores que 0,05 mm, ou mesmo através de solos siltosos e arenosos.
- d. A aplicação é realizada com o uso de técnicas de cortinas de injeção, formando uma barreira pelo lado externo da estrutura com o próprio material ou com o material incorporando ao solo.

4. Microcimento

- a. As principais vantagens destes produtos são a insensibilidade ao nível de umidade existente na estrutura do concreto.
- b. A pasta de microcimento é composta por cimentos especiais para injeção e enrijecimento de peças estruturais de concreto ou alvenaria, e pode ser injetado em fissuras com uma abertura acima de 0,6 mm
- c. As injeções de micro cimento são executadas por bombas de duplo-diafragma de baixa pressão, através de injetores plásticos.

4.5.1. Os procedimentos de preparo

Conforme apresentado por Takagi e Almeida Junior (2002) existem, basicamente, dois tipos de injetores: os injetores de perfuração (Figura 5) e injetores de adesão (Figura 6), fabricados em peças metálicas ou plásticas.

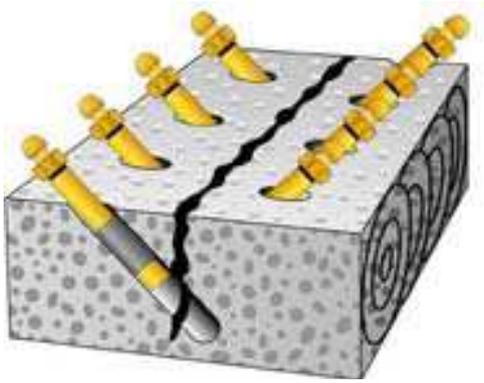


Figura 5 – Bicos injetores de perfuração

Fonte: PINTO; TAKAGI (2005)

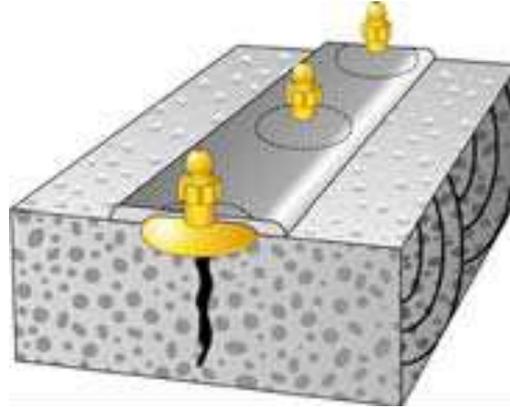


Figura 6 – Bicos injetores de aderência

Fonte: PINTO; TAKAGI (2005)



Figura 7 – Bomba injetora de resina de poliuretano

Fonte: PINTO; TAKAGI (2005)



Figura 8 – Bomba de Injeção de Gel Acrílico

Fonte: PINTO; TAKAGI (2005)

Ainda Takagi e Almeida Junior (2002) comentam que a injeção dos produtos deverá ser feita no mínimo 24 horas após a fixação dos injetores e selamento da fissura, para que o adesivo adquira a resistência ao arranque necessário de aproximadamente 60 bar.

O procedimento de aplicação é simples e se baseia em perfurar a região da fissura em ângulos de 45° com o auxílio de furadeira e introduzir os bicos nestes furos e vedá-los com a própria resina a ser aplicada. Após esta etapa prepara-se a resina adequada ao tipo de patologia e usando as bombas de injeção aplica-se a resina pelos bicos injetores através de toda a extensão da fissura.

Este processo deve ser repetido quando se notar a existência de partes que não foram bem preenchidas pela resina. Deve-se aguardar a cura total da resina para utilização da estrutura de concreto.

4.5.2. A eficiência deste processo

Para avaliar a eficiência deste processo pode-se verificar através de figuras que demonstrem o antes e o depois do processo de injeção das resinas. Verifica-se o completo selamento das trincas ou fissuras havendo a vedação da passagem de água.



Figura 9 – Situação antes I

Fonte: MC BAUCHEMIE (2009)



Figura 10 – Situação depois I

Fonte: MC BAUCHEMIE (2009)



Figura 11 – Situação antes II

Fonte: MC BAUCHEMIE (2009)



Figura 12 – Situação depois II

Fonte: MC BAUCHEMIE (2009)

Esta eficiência se dá devido a avaliação adequada da patologia e o uso correto da resina empregada para a correção da estrutura de concreto.

5 A RECUPERAÇÃO DO CONCRETO NA PRÁTICA

As estruturas de concreto podem ser recuperadas com a aplicação de resinas, a fim de se minimizar os impactos causados pelas anomalias encontradas nestas estruturas.

Neste capítulo são apresentadas fotos retiradas durante uma visita técnica realizada pela autora deste trabalho em uma grande obra do Governo de Minas Gerais.

Nas figuras deste capítulo podem-se perceber as técnicas de aplicação e o resultado obtido através desta operação.

Na figura 13 é mostrada a mistura (catalisador e plástico termofixo) que compõe a resina na bomba de injeção, havendo sempre uma preocupação com a segurança do aplicador.



Figura 13 – Preparação da resina para aplicação



Figura 14 – Visualização da trinca na estrutura do concreto

Na figura 14 e 15 pode-se perceber a dimensão da fissura avaliada para a correção com resina epóxi.



Figura 15 – Visualização da trinca na estrutura do concreto



Figura 16 – Bicos injetores instalados com ângulo de 45°

A preparação do substrato é parte fundamental para o sucesso da aplicação. Nota-se que os bicos de injeção foram colocados em toda a extensão da fissura.



Figura 17 – Bicos de injeção da resina



Figura 18 – Trinca úmida

No detalhe da figura 17, 18 e 19 pode-se averiguar o posicionamento dos bicos em relação a fissura acompanhando toda a extensão.



Figura 19 – Visão da superfície a ser injetada a resina



Figura 20 – Equipamento utilizado para injetar a resina nos bicos

Na figura 20 e 21, mostrando a bomba de injeção, pode-se notar a superfície “úmida” onde houve a aplicação da resina em toda a extensão da fissura.



Figura 21 – Superfície após a injeção da resina



Figura 22 – Superfície após aplicação da resina

Na figura 23 há a aplicação da resina no bico através de tubulação adequada.



Figura 23 – Processo de aplicação da resina nos bicos



Figura 24 – Processo de aplicação da resina nos bicos

Nas figuras 24 e 25 é possível ver que, durante a aplicação da resina, esta tende a preencher a fissura até o produto começar a sair no próximo bico.



Figura 25 – Resina sendo aplicada nos bicos e saindo na fissura do concreto



Figura 26 – Aplicação da resina alternada em todos os bicos

Esta aplicação deve ser realizada em toda a extensão da fissura a fim de se preencher toda ela.



Figura 27 – Aplicação da resina alternada em todos os bicos



Figura 28 – Saída da resina do bico de injeção



Figura 29 – Saída de resina em outros bicos após completo preenchimento da fissura



Figura 30 – Heliponto onde se encontra a estrutura de concreto pesquisada

Este processo de injeção foi acompanhado durante a visita técnica realizada pela autora deste estudo em uma estrutura de concreto bem arrojado no heliponto localizado no Centro Administrativo de Minas Gerais, conforme mostrado na figura 30.

6 CONCLUSÃO

As estruturas de concreto são largamente utilizadas nas obras de engenharia civil. A presença de patologias nestas estruturas é um problema que pode acarretar em prejuízos gigantescos, sendo até do comprometimento total de uma obra.

A avaliação correta e eficaz das patologias apresentadas nas estruturas de concreto pode ser um diferencial no que tange as conseqüências a que se pode chegar com patologias muito complexas, minimizando os impactos e os prejuízos causados por elas.

Conhecer as causas das patologias e as características das estruturas de concreto também pode ser uma boa saída para que estas anomalias não ocorram, pois conforme comentado, aproximadamente 45% das patologias, que são apresentadas nestas estruturas, tem suas causas no processo de execução e quase 30% são relacionadas ao planejamento e projeto das obras.

Estes dados são alarmantes, pois demonstram um despreparo dos profissionais que projetam e daqueles que executam o trabalho de uma obra.

A tecnologia de injeção de resinas para a recuperação de estruturas de concreto é fundamental para se garantir o desempenho de obras que precisam ser recuperadas. Além deste processo ser simples, merece ser bem estudado para que se possa, também, aumentar a vida útil das estruturas de concreto e evitar conseqüências mais complexas.

O treinamento e conhecimento adequado dos profissionais da engenharia pode ser um divisor entre a compreensão de técnicas de reparação eficientes e na produção de estruturas que não apresentem patologias. Ao conhecer as verdadeiras causas das patologias do concreto pode-se ter um tratamento preventivo ao invés do corretivo para estas deficiências.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, José Eduardo de. **Procedimentos para recuperação das estruturas de concreto**. Apresentado em 2009. Curso de especialização em Engenharia Civil. Universidade Federal de Minas Gerais. UFMG, 2009

ANDRADE, Jairo José de Oliveira. **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco**. 1997. Dissertação (Mestrado). 151.p. Curso de pós-graduação em engenharia civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6118:2001 – Projeto de Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, jan. 2001.

BRASIL. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação do Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Pavimentos Rígidos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **A NOVA NB 1/2003 (NBR 6118) E A VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO**. Publicado em 2003. Disponível em: <http://www.ppgec.ufrgs.br/leme/seminario/LEME_30anos_PauloHelene.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2009.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2.ed. São Paulo, PINI, 1992.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Vida útil das estruturas de concreto**. Disponível em: <<http://www.alconpat.org.uy/doc/biblio/helene.pdf>> Acesso em: 01 dez 2009.

HELENE, Paulo Roberto do Lago; FIGUEREDO Enio Pazini. Manual de recuperação de estruturas de concreto. **Red Rehabilitar Cyted XV**. 2001. p. 15-32

MATTOS, Flavio Vassallo. **Contribuição ao Estudo de Argamassas de Recuperação Superficial em Estruturas de Concreto Armado**. Dissertação (Mestrado). UFES, Engenharia Civil, 2002, Universidade Federal do Espírito Santo, PPGEC. Vitória, 2002.

MC BAUCHEMIE. Tecnologia de Injeção. 2009. Disponível em: < www.mc-bauchemie.com.br> Acesso em: 10 dez 2009.

MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de; HELENE, Paulo Roberto do Lago. Durabilidade e proteção do concreto armado. **Revista Técnica**, São Paulo, v. 1, n. 151, p.50-54, out. 2009. Mensal.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. Tradução Salvador E. Giammusso. 2 ed. São Paulo: PINI, 1997.

PACHA, José R. S., FILHO, Nagib C. **Patologia das estruturas de concreto armado e das alvenarias**. Curso de extensão, UFPA. Belém, 1996. Apostila.

PINTO, Jaques; TAKAGI, Emílio Minoru. **Injeções flexíveis para selamento definitivo de infiltrações em túneis e estruturas enterradas**. Publicado em 2005. Disponível em: <http://www.ita-aites.org/cms/fileadmin/filemounts/general/pdf/ItaAssociation/ProductAndPublication/Training/TrainingCourses/SP6_2005.pdf>

POLITO, Giulliano. **Corrosão em estruturas de concreto armado: causas, mecanismos, prevenção e recuperação**. 2006. 191 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Curso de Especialista em Avaliação e Perícia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

REIS, Lília Silveira Nogueira. **Sobre a recuperação e reforço das estruturas de concreto armado**. Dissertação (Mestrado). 114.p. 2001. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. 2001.

SANTOS, R. E. . A Cultura do Concreto Armado no Brasil: educação e deseducação dos produtores do espaço construído. In: IV Congresso Brasileiro de História da Educação, 2006, Goiânia. **Anais "A Educação e seus Sujeitos na História"**. Goiânia : Editora da UCG / Editora Vieira, 2006. p. 52-53.

SILVA, Felipe Tavares da; PIMENTEL, Roberto Leal; BARBOSA, Normando Perazzo. Análise de patologias em estruturas de edificações da cidade de João Pessoa. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 45., 2003, Vitória. **Instituto Brasileiro do Concreto**, 2005. p. 1 - 13. Disponível em: <[http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/BDS.nsf/2CB517887AF7BAAF03256FAC004A4A1A/\\$File/NT000A453E.pdf](http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/BDS.nsf/2CB517887AF7BAAF03256FAC004A4A1A/$File/NT000A453E.pdf)>. Acesso em: 01 dez. 2009.

SILVA, Raphael de Faria Lima e; CERQUEIRA, Edgardo Gonsalves. **PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO PARA USO EM FACHADAS**. Publicado em 2008. Disponível em: <http://info.ucsal.br/banmon/Arquivos/ART_181208.doc>. Acesso em: 05 dez. 2009.

SOUZA, V. C. M. de; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

TAKAGI, Emilio Minoru; ALMEIDA JUNIOR, Waldomiro. **Utilização de tecnologias de injeção para o aumento da durabilidade das estruturas de concreto armado**. Publicado em 2002 - IBRACON - Instituto Brasileiro do Concreto. Disponível em: <<http://www.ibracon.org.br/>>. Acesso em: 01 dez. 2009.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini, 1989.

VALLE, Juliana Borges De Senna. **Patologia das alvenarias:** Causa / Diagnóstico / Previsibilidade. 2008. 81 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização Em Construção Civil, Departamento de Engenharia De Materiais E Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.