

Monografia

"RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO COM INJEÇÃO DE RESINA DE POLIURETANO"

Autor: Jerfran Januário Oliveira

Orientador: Prof. Ayrton Vianna Costa

Julho/2014

Jerfran Januário Oliveira

**"RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO COM INJEÇÃO DE
RESINA DE POLIURETANO"**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da
Escola de Engenharia UFMG

Ênfase: Recuperação de Estruturas de Concreto

Orientador: Prof. Ayrton Vianna Costa

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2014

A minha família pelo apoio, carinho e dedicação.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela oportunidade de participar do curso de especialização que culminou neste trabalho.

Ao orientador Professor Ayrton Vianna Costa pelos ensinamentos por ajudar a desvendar os caminhos deste árduo trabalho.

Aos colegas e amigos de classe, Engenheiros e Arquitetos, pelo apoio e amizade.

À minha companheira Débora, pelos momentos de compreensão, e trabalho.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 2 |
| 3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL..... | 3 |
| 3.1 Durabilidade Das Estruturas De Concreto..... | 3 |
| 3.1.1 <i>Requisitos</i> | 3 |
| 3.1.2 <i>Critérios</i> | 4 |
| 4. DEGRADAÇÃO DO CONCRETO ARMADO | 8 |
| 5. FISSURAÇÃO | 10 |
| 5.1 Causas Frequentes | 10 |
| 5.2 Classificações de Movimentação..... | 11 |
| 5.2.1 <i>Fissura Ativa</i> | 11 |
| 5.2.2 <i>Fissura Inativa</i> | 12 |
| 5.3 Definição Do Tratamento | 12 |
| 5.3.1 <i>Grandeza da Abertura Instrumentos</i> | 13 |
| 5.3.2 <i>Objetivo do Tratamento</i> | 15 |
| 5.3.3 <i>Agentes corrosivos</i> | 16 |
| 6. TIPOS DE TRATAMENTO COM USO DE INJEÇÃO | 17 |
| 6.1 Principais Produtos de Injeção | 17 |
| 6.1.1 <i>Resina de Poliuretano</i> | 17 |
| 6.1.2 <i>Resina de Epóxi</i> | 18 |
| 6.1.3 <i>Microcimento</i> | 19 |
| 6.1.4 <i>Gel Acrílico</i> | 21 |
| 6.2 Perfuração e Bicos de Injeção de Resina de Poliuretano | 21 |
| 6.3 Bombas de Injeção de Resina de Poliuretano..... | 24 |
| 7. CASOS DE INJEÇÃO DE RESINA DE POLIURETANO..... | 26 |
| 7.1 Caso Usina Jirau 1 | 26 |
| 7.2 Caso Usina Jirau 2 | 32 |
| 8. CONCLUSÃO..... | 35 |

| | |
|--------------------------------------|----|
| 9. BIBLIOGRAFIA | 36 |
| 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 37 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 4.1: Fluxograma de desempenho estrutural..... | 8 |
| Figura 5.1: Exemplos de selos rígidos e fissurômetro..... | 12 |
| Figura 5.2: Instrumento calibrador de lâmina..... | 13 |
| Figura 5.3: Medição de fissura com calibrador de lâmina..... | 14 |
| Figura 5.4: Comparador de fissuras..... | 14 |
| Figura 5.5: Fissurômetro..... | 15 |
| Figura 6.1: Perfuração a 45° da superfície do substrato..... | 23 |
| Figura 6.2: Perfuração a 45° da superfície do substrato..... | 23 |
| Figura 6.3: Posicionamento dos bicos de adesão..... | 23 |
| Figura 6.4: Posicionamento dos bicos de adesão..... | 23 |
| Figura 7.1: Local a ser recuperado..... | 26 |
| Figura 7.2: Identificação das fissuras..... | 27 |
| Figura 7.1: Identificação das fissuras..... | 27 |
| Figura 7.4: Perfuração inclinada com broca longa..... | 27 |
| Figura 7.5: Perfuração inclinada com broca longa..... | 28 |
| Figura 7.6: Colocação dos bicos injetores nas laterais e ao longo da fissura..... | 28 |
| Figura 7.7: Colocação dos bicos injetores nas laterais e ao longo da fissura..... | 29 |
| Figura 7.8: Aplicação da resina..... | 29 |
| Figura 7.9: Injeção de Resina com ressurgimento na fissura..... | 30 |
| Figura 7.10: Aspecto após aplicação da resina..... | 30 |
| Figura 7.11: Retirada dos bicos injetores por corte..... | 31 |
| Figura 7.12: Aspecto após execução do serviço..... | 31 |
| Figura 7.13: Aspecto da estrutura com fluxo constante de água..... | 32 |
| Figura 7.14: Injeção espuma de poliuretano para vedação da fissura..... | 33 |
| Figura 7.15: Injeção espuma de poliuretano para vedação da fissura..... | 33 |
| Figura 7.16: Aspecto após aplicação e limpeza..... | 34 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 3.1: Vida Útil de Projeto – VUP..... | 3 |
| Tabela 3.2: Classes de agressividade ambiental..... | 4 |
| Tabela 3.3: Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm..... | 5 |
| Tabela 3.4: Correspondência entre classe de agressividade ambiental e qualidade do concreto | 6 |
| Tabela 3.5: Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental..... | 6 |
| Tabela 6.1: Resinas versus aplicação..... | 17 |
| Tabela 6.2: Resinas de poliuretano | 18 |
| Tabela 6.3: Resinas de epóxi | 19 |
| Tabela 6.4: Microcimento | 20 |
| Tabela 6.5: Equipamentos para aplicação do microcimento..... | 20 |
| Tabela 6.6: Gel Acrílico..... | 21 |
| Tabela 6.7: Bicos Injetores | 22 |
| Tabela 6.8: Bomba Monocomponente e Bicomponente | 24 |

LISTA DE NOTAÇÕES, ABREVIATURAS

ABNT = ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

NBR = Norma Brasileira

VUP = Vida Útil de Projeto

ELS-W = Estado Limite de Abertura das Fissuras

RESUMO

O concreto é o material construtivo mais utilizado em todo o mundo, isto se deve pelo fato de duas grandes qualidades, sua moldabilidade quando em estado fresco, e sua resistência após a cura.

A grande execução de estruturas em concreto é acompanhada pelo desenvolvimento de soluções para o combate de manifestações patológicas, estas causadas ainda no projeto, na execução ou vida útil da estrutura, devido ao excesso de carga, subdimensionamento em projeto, desgaste pelo ambiente (ataques químicos, atmosfera ácida, entre outros), má execução ou ausência de juntas de movimentação, fôrmas incompatíveis ou mal executadas, agregados e água em excesso ou falta, entre outras causas.

Desta forma, o presente trabalho visa apresentar um avanço recente na tecnologia, a utilização de resina de poliuretano, como material para recuperação de estruturas em concreto identificadas com anomalia de fissuramento, de forma simples e prática, para auxiliar engenheiros e gestores com rapidez e qualidade.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho abordará sobre a recuperação de estruturas de concreto, onde será apresentada de forma específica a injeção de resina de poliuretano. O sistema de injeção é relativamente recente (desde 1970) e nos últimos anos tem sido difundido no mercado pela rapidez e facilidade de execução, podendo ser empregado para recompor a monoliticidade ou permitir que a fissura, devido aos esforços, trabalhe com função de junta flexível.

Nos próximos capítulos serão abordados assuntos relativos à degradação do concreto, as modalidades de fissuras e tipo de injeção recomendada. Serão apresentados os equipamentos e método executivo adequado para a melhor durabilidade do sistema de injeção.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conforme NBR 6118 (2003, p.4), concreto estrutural é um “termo que se refere ao espectro completo das aplicações do concreto como material estrutural”, e como vemos atualmente a diversificação de seu emprego é condizente com o avanço tecnológico para obter cada vez maior durabilidade e resistência.

Como qualquer outro material empregado na construção civil é preciso conhecer possíveis anomalias do concreto armado e como executar o tratamento de forma adequada e eficaz.

Para a recuperação das estruturas de concreto, quanto às fissuras, deve-se realizar a identificação da origem das manifestações patológicas, conforme SOUZA (1998, p. 121), “o tratamento de peças fissuradas está diretamente ligado à perfeita identificação da causa da fissuração (...)”, e esta identificação é relatada por PIANCASTELLI (1997, p. 19), “nos reparos de fissuras, deve ser, inicialmente, determinado se elas são ativas ou inativas.”.

Ainda conforme NBR 6118 (2003, p. 75) “a fissuração em elementos estruturais de concreto armado é inevitável, devido a grande variabilidade e a baixa resistência do concreto à tração”, desta forma o controle de fissuras deve ser exigido com maior rigor quanto maior for a agressividade do ambiente, devido a possibilidade de entrada de agentes corrosivos no interior do concreto através das fissuras.

3. ESTRUTURAS DE CONCRETO

3.1 Durabilidade Das Estruturas De Concreto

3.1.1 Requisitos

A NBR 6118 (2003) preconiza quesitos que devem ser avaliados por projeção durante 50 anos para durabilidade da estrutura, e conforme a NBR15.575 (2013) que estabelece a Vida Útil de Projeto – VUP – (tempo estimado de atendimento aos requisitos de desempenho, considerando o atendimento as normas vigentes, com programa regular de manutenções) sendo para o “sistema” estrutura definida em maior ou igual a 50 anos, conforme tabela 3.1, abaixo:

Tabela 3.1: Vida Útil de Projeto – VUP. Fonte: NBR 15575 (2013, p. 27).

| Sistema | VUP mínima anos |
|--------------------------|------------------------------------|
| Estrutura | ≥ 50 segundo ABNT NBR 8681-2003 |
| Pisos internos | ≥ 13 |
| Vedação vertical externa | ≥ 40 |
| Vedação vertical interna | ≥ 20 |
| Cobertura | ≥ 20 |
| Hidrossanitário | ≥ 20 |

A NBR 6118 (2003, p. 13) ainda relata sobre os requisitos mínimos de qualidade quanto à capacidade resistente (segurança mecânica), ao desempenho em serviço (funcionalidade da estrutura) e à durabilidade (capacidade de resistir a fatores externos, devendo ser avaliados no período de elaboração do projeto).

Para a durabilidade das estruturas de concreto deve-se levar em

consideração, segundo a NBR 6118 (2003, p. 15):

- Vida útil de projeto – Tempo pelo qual são atendidas as características do parágrafo anterior;
- Mecanismos de envelhecimento e deterioração – Relativo ao concreto (reação álcalis-agregado, lixiviação, entre outros), à armadura (despassivação, alterando o pH), e a estrutura em si (dilatação térmica, fluência, impactos, entre outros);
- Agressividade do ambiente – Relação entre a deterioração do concreto com ação de fatores externos, conforme tabela 3.2 abaixo:

Tabela 3.2: Classes de agressividade ambiental. Fonte: NBR 6118 (2003, p. 16).

| Classe de agressividade ambiental | Agressividade | Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto | Risco de deterioração da estrutura |
|-----------------------------------|---------------|--|------------------------------------|
| I | Fraca | Rural | Insignificante |
| | | Submersa | |
| II | Moderada | Urbana ^{1). 2)} | Pequeno |
| III | Forte | Marinha ¹⁾ | Grande |
| | | Industrial ^{1). 2)} | |
| IV | Muito forte | Industrial ^{1). 3)} | Elevado |
| | | Respingos de maré | |

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

3.1.2 Critérios

A NBR 6118 (2003, p. 17) releva que devem ser adotados critérios para

ampliar a durabilidade das estruturas de concreto, como:

- Drenagem – Cuidados para evitar a infiltração como a utilização de rufos e impermeabilizações;
- Projeto – Previsão de estruturas com facilitadores de manutenção, como adoção de shafts;
- Cobrimento mínimo – Observar a execução do concreto (relação água-cimento e recobrimento mínimo) conforme a classe ambiental definida em projeto, conforme tabela 3.3 e 3.4 abaixo:

Tabela 3.3: Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm. Fonte: NBR 6118 (2003, p. 23).

| Tipo de estrutura | Componente ou elemento | Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1) | | | |
|-----------------------------------|------------------------|--|----|-----|------------------|
| | | I | II | III | IV ³⁾ |
| | | Cobrimento nominal mm | | | |
| Concreto armado | Laje ²⁾ | 20 | 25 | 35 | 45 |
| | Viga/Pilar | 25 | 30 | 40 | 50 |
| Concreto protendido ¹⁾ | Todos | 30 | 35 | 45 | 55 |

¹⁾ Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

²⁾ Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

³⁾ Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Obs.: Em elementos pré-fabricados, os cobrimentos deverão obedecer ao item 9.2.1.1 da NBR 9062 (2006).

Tabela 3.4: Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.

Fonte: NBR 6118 (2003, p. 18)

| Concreto | Tipo | Classe de agressividade (tabela 6.1) | | | |
|---|------|--------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | | I | II | III | IV |
| Relação água/cimento em massa | CA | $\leq 0,65$ | $\leq 0,60$ | $\leq 0,55$ | $\leq 0,45$ |
| | CP | $\leq 0,60$ | $\leq 0,55$ | $\leq 0,50$ | $\leq 0,45$ |
| Classe de concreto (ABNT NBR 8953) | CA | $\geq C20$ | $\geq C25$ | $\geq C30$ | $\geq C40$ |
| | CP | $\geq C25$ | $\geq C30$ | $\geq C35$ | $\geq C40$ |
| NOTAS | | | | | |
| 1 O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655. | | | | | |
| 2 CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado. | | | | | |
| 3 CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido. | | | | | |

- Detalhamento das armaduras – Visando facilitar a execução (por exemplo, para utilização de aparelho vibrador);
- Controle da fissuração – Aberturas limites, visando à integridade da estrutura de concreto, conforme abaixo.

Tabela 3.5: Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental. Fonte: NBR 6118 (2003, p.

72)

| Tipo de concreto estrutural | Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão | Exigências relativas à fissuração | Combinação de ações em serviço a utilizar |
|-----------------------------|---|-----------------------------------|---|
| Concreto simples | CAA I a CAA IV | Não há | -- |
| Concreto armado | CAA I | ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm | Combinação freqüente |
| | CAA II e CAA III | ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm | |
| | CAA IV | ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm | |

OBS.: 1. Para elementos de armadura ativa (sistemas protendidos), conforme a NBR 6118, “esses limites devem ser mais restritos” pela “possibilidade de corrosão” da armadura “sob tensão”. 2. Conforme a Norma 6118 (2003, p. 5) o estado limite de

abertura das fissuras (ELS-W), é o estado em que as fissuras se apresentam com aberturas iguais aos máximos especificados na tabela acima.

- Medidas especiais – Aplicação de revestimentos e materiais de proteção (por exemplo, aplicação de pinturas impermeabilizantes);
- Inspeção e manutenção preventiva – Projeto ou manual contendo orientação quanto a procedimentos corretos para atingir e ampliar a durabilidade da estrutura de concreto.

4. DEGRADAÇÃO DO CONCRETO ARMADO

A estrutura de concreto após sua execução, na qual se preza, fundamentalmente, pela segurança e durabilidade, deve ser avaliada quanto ao desempenho, conforme Souza e Ripper (1998):

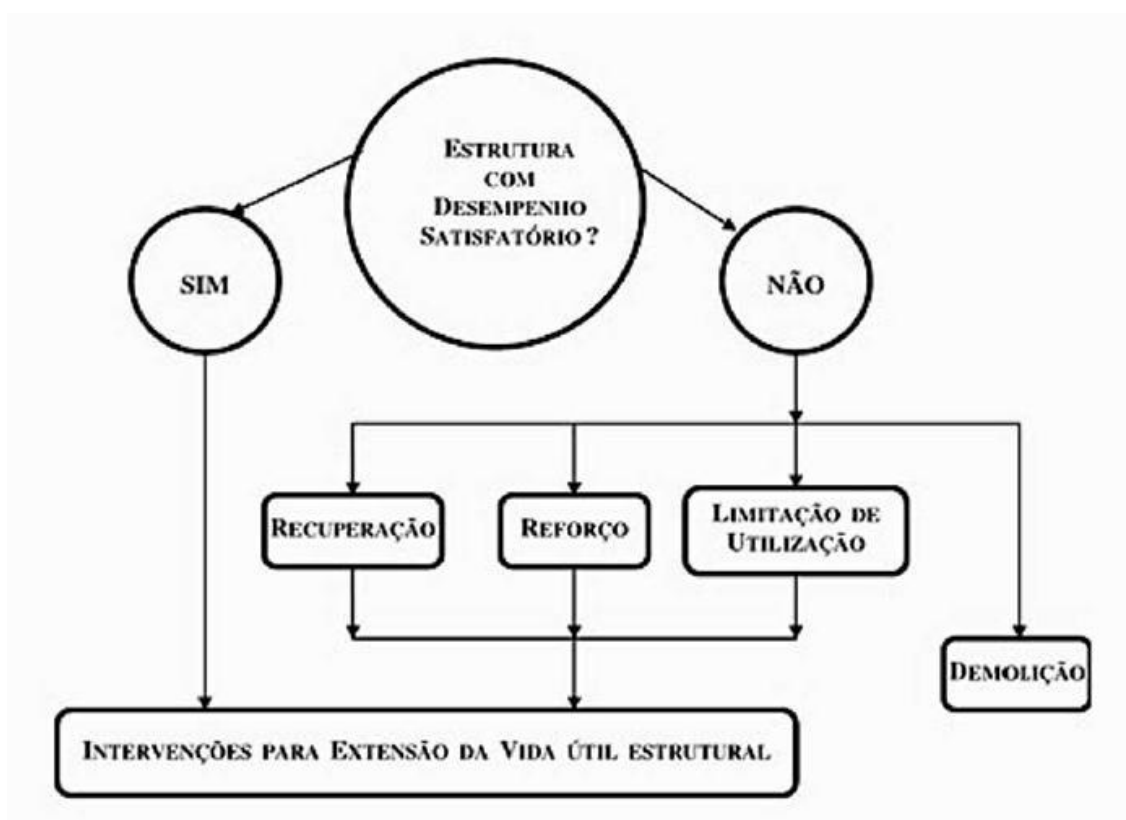


Figura 4.1: Fluxograma de desempenho estrutural, Souza e Ripper (1998).

Conforme Souza e Ripper (1998) a construção civil pode ser abrangida por três etapas básicas: concepção, execução e utilização. Em cada etapa pode haver constituição de patologias, sendo que quanto mais próximo à detecção for do início da deterioração maior a chance de correção sem grande oneração do empreendimento.

Na etapa da elaboração do projeto do empreendimento, é dispendida muita atenção para a concepção e projeto básico de arquitetura, e até recentemente a

especificação de materiais era realizada apenas pelo construtor, visando lucro na escolha de materiais de baixa qualidade, porém com o advento da NBR 15575:2013 - Edificações habitacionais — Desempenho, é obrigatória a especificação da durabilidade dos materiais utilizados, com padrões básicos para cada tipo.

Na etapa de execução da estrutura devem ser utilizados materiais compatibilizados com as especificações em projeto, e deve se ressaltar nesta etapa o treinamento da mão de obra. O treinamento consiste em adaptar o funcionário à situação real da obra, qualificá-lo para a execução da tarefa com segurança e qualidade. E ainda é nesta etapa que a fiscalização interna deve ser rotineira e rigorosa para evitar repetição de erros e para avaliar a qualidade da execução.

Enquanto na etapa de utilização da estrutura, deve ser dada atenção especial em relação às atividades de manutenções preventivas, que segundo a NBR 15575 (2013) estas devem “ser realizadas ao longo da vida total da edificação para conservar ou recuperar a sua capacidade funcional” para o atendimento das “necessidades e segurança dos seus usuários”.

5. FISSURAÇÃO

5.1 Causas Frequentes

Segundo Souza e Ripper (1998) a fissuração é uma manifestação patológica, ou seja, um sintoma gerado por fatores inerentes à estrutura (intrínsecos) ou causada pelo meio externo (extrínsecos), Souza e Ripper (1998) ressalta os seguintes pontos:

- Deficiências de Projeto – Especialmente por falta de previsão de cargas e reações da estrutura.
- Contração Plástica – Devida à rápida evaporação da água, logo após o lançamento do concreto.
- Assentamento do Concreto / Perda de Aderência – Quando a fluidez do concreto é muito plástica a armadura pode estar sujeita ao descolamento com material ao seu entorno, e o lançamento de novas camadas de concreto sobre camadas em processo de pega avançado.
- Movimentação de Escoramentos e/ou Fôrmas – Devido fôrmas feitas com material pouco resistente ou de maneira incorreta.
- Retração – Acontecimento comum, mas que é minimizado por processo de cura contínuo.
- Deficiências de Execução – Execução em canteiro não compatível com descrição em projeto.
- Reações Expansivas – O produto de reações como a reação álcalis-agregado que sofre expansão.

- Corrosão das Armaduras – A corrosão do aço pela diminuição do pH (quando menor que 9), causando dilatação da armadura.
- Recalques Diferenciais – Sondagem do terreno com falhas ou má distribuição de cargas sobre as fundações.
- Variação de Temperatura – Devido à dilatação e contração térmica, especialmente em peças planas horizontais, pela incidência a maiores coeficientes térmicos.
- Ações Aplicadas – Envolve acidentes com impacto de grandes cargas concentradas, como colisões de veículos.

5.2 Classificações de Movimentação

5.2.1 Fissura Ativa

De acordo com PIANCASTELLI (AECweb, 2014), fissuras ativas (viva, instável, em movimento) são aquelas que apresentam variação da abertura, esta variação pode ser checada através de “selos” rígidos em gesso ou vidro, e ainda pode ser medida através de fissurômetro, como mostrado na figura 5.1, abaixo:

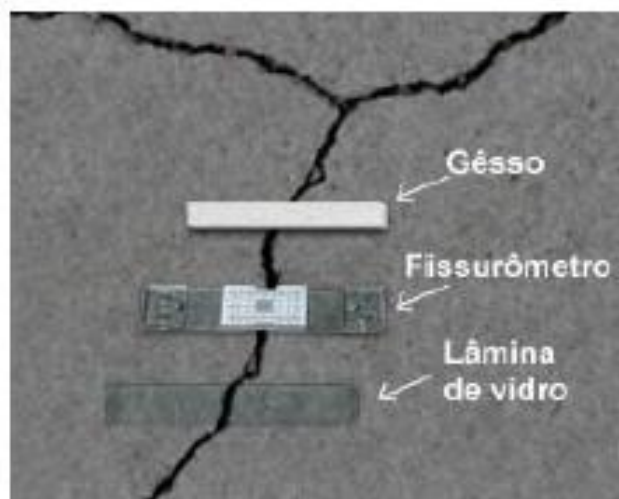


Figura 5.1: Exemplos de selos rígidos e fissurômetro, AECweb.

Também se deve proceder com a identificação do agente causador como atuante, pois assim a fissura é considerada instável.

5.2.2 Fissura Inativa

Na fissura inativa (morta, estável, sem movimento), a confirmação para este tipo é realizada pelo mesmo método da fissura ativa. Neste caso o agente causador é dado como não atuante, conforme PIANCASTELLI (AECweb, 2014), onde a fissura é considerada como estável.

5.3 Definição do Tratamento

No mercado atualmente existem diversas alternativas de tratamento para fissuras ativas e inativas, como o microcimento, resina epóxi ou epoxídica, o mastique poliuretano entre outros produtos. Um dos tratamentos utilizados mais recente é a injeção de resina de poliuretano, tanto para fissuras ativas e inativas. Para a utilização deste tipo de produto deve-se proceder com a identificação da grandeza da abertura

da fissura, definir o objetivo do tratamento e verificar presença de água ou agente corrosivo.

5.3.1 Grandeza da Abertura - Instrumentos

Instrumento calibrador de lâmina: é uma ferramenta trabalha com a tentativa de inserção no interior da fissura de diversas lâminas de aço ou alumínio, cada lâmina com espessura calibrada diferente das demais.



Figura 5.2: Instrumento calibrador de lâmina, Google/Imagens.



Figura 5.3: Medição de fissura com calibrador de lâmina, Google/Imagens.

Comparador de fissuras: Cartão plástico transparente assinalado com traços de diversos tamanhos para aferição e comparação direta com a fissura.



Figura 5.4: Comparador de fissuras, Google/Imagens.

Fissurômetro ou Extensômetro: Instrumento capaz de medir como régua graduada através de dispositivo de abertura e/ou encolhimento.

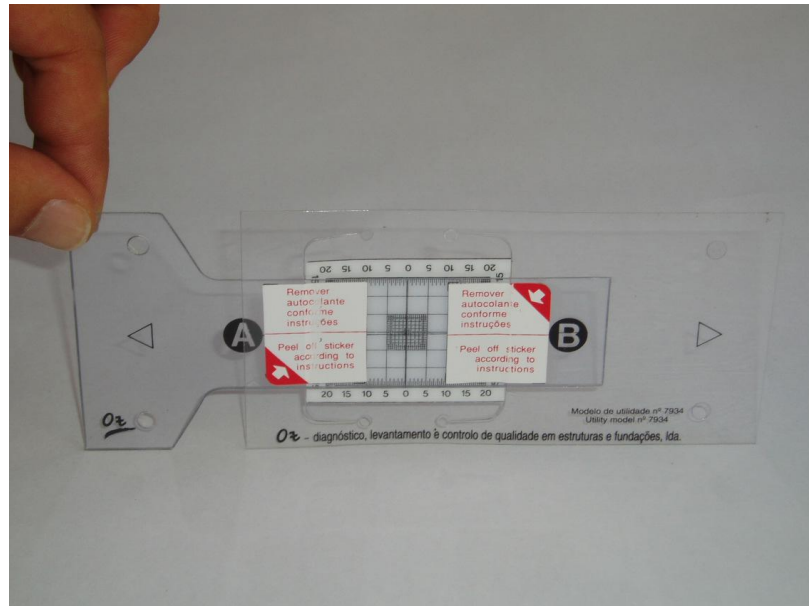


Figura 5.5: Fissurômetro, OZ.

Há ainda instrumentos em aperfeiçoamento como o método do processamento digital, segundo Martins e Júnior (2011) por meio de fotografia “é realizado no domínio espacial da imagem, atuando diretamente nos pixels da imagem.”, neste processamento de imagens é realizada a leitura de abertura de fissura, sendo que a vantagem é obter todas as nuances e variações de abertura da fissura.

5.3.2 Objetivo do tratamento

Deve-se definir na etapa de planejamento qual o objetivo do tratamento, este podendo ser para a reconstituição do monolitismo da estrutura, ou com função de junta natural, neste caso a estrutura continuará instável e a região de encontro da fissura estará em movimento.

5.3.3 Agentes corrosivos

Para definição do produto de injeção, deve-se proceder com a identificação do meio onde será realizado o reparo. Em ambientes agressivos, por exemplo, canalizações de esgoto, as resinas epoxídicas são mais recomendadas, pela melhor capacidade de suporte a ataques químicos.

6. TIPOS DE TRATAMENTO COM USO DE INJEÇÃO

6.1 Principais Produtos de Injeção

Há no mercado, atualmente, quatro tipos principais de produtos visando o tratamento de estruturas de concreto através da injeção destes. A tabela 6.1 relaciona o tipo de produto com a situação do ambiente de aplicação e seu objetivo no tratamento de estruturas de concreto:

Tabela 6.1: Resinas versus aplicação, MC BAUCHEMIE.

| Sistemas de Injeção | Seco (sem presença de água) | | Úmido (com presença de umidade) | | Fluxo (grande presença de água) | |
|-----------------------|--|---------------------|--|---------------------|---|--------------------|
| | Estrutural | Selamento | Estrutural | Selamento | Selamento | Impermeabilização |
| Resina Epóxi | MC-Injekt 1264 compact MC-Injekt 1264 TF-TR | * | MC-Injekt 1264 compact MC-Injekt 1264 TF-TR | * | * | * |
| Microcimento | Centricrete FB / Centricrete UF | * | Centricrete FB / Centricrete UF | * | * | * |
| Resina de Poliuretano | MC-Injekt 2700 L | MC-Injekt 2300 flow | MC-Injekt 2700 L | MC-Injekt 2300 flow | MC-Injekt 2033 + MC-Injekt 2300 flow | * |
| Gel Acrílico | * | * | * | * | * | MC-Injekt GL-95 TX |

Cada tipo de produto será caracterizado nos próximos itens.

6.1.1 Resina de Poliuretano

As resinas de poliuretano são divididas em rígida e flexível. A resina rígida tem função estrutural, ou seja, recompõe a monoliticidade da estrutura, enquanto que a resina flexível é aplicada para que a fissura trabalhe com função de junta. A escolha do produto, como já dito anteriormente, depende da grandeza da fissura e ainda se no ambiente de aplicação há presença de água.

A empresa MC-BAUCHEMIE têm 03 linhas principais de produtos a base de resina de poliuretano, conforme tabela 6.2, abaixo:

Tabela 6.2: Resinas de poliuretano, MC BAUCHEMIE.

| Produto | Descrição/Material | Bomba | Viscosidade | Embalagens |
|---------------------|---|-----------------------|-------------|------------------|
| MC-Injekt 2033 | Espuma de poliuretano hidroativa para injeção e tamponamento provisório | MC-I 510 | 400 mPa.s | Kit de 10 litros |
| MC-Injekt 2300 flow | Resina de poliuretano de baixa viscosidade para injeção e selamento de trincas com movimentação | MC-I 510/ MC-I 700 | 55 mPa.s | Kit de 20 litros |
| MC-Injekt 2700 L | Resina de poliuretano rígido para injeção estrutural | MC-I 700 | 200 mPa.s | Kit de 40 litros |

Conforme Takagi e Júnior (IBRACON, 2014), a injeção com uso de resina a base de poliuretano é facilitada pela baixa viscosidade do produto (tabela 6.2), apresentando boa penetração, com indicação para fissuras com abertura maior que 0,1mm.

E ainda, segundo Takagi e Júnior (IBRACON, 2014), em casos que tenham “fluxo de água ou água sobre pressão hidrostática” deve ser utilizado primeiramente a “resina de poliuretano hidrorreativa expansiva” (MC-Injekt 2033) para estancar o fluxo de água (esta espuma tem reação em 30 a 60 segundos em contato com a água e possui capacidade para expandir de 10 a 40 vezes do volume original), e após este processo poderá ser aplicado à resina de poliuretano para selamento ou para recuperar a monoliticidade da estrutura (conforme pode ser visualizado na tabela 6.1, em presença ou ausência de umidade).

6.1.2 Resina de Epóxi

Segundo Takagi e Júnior (IBRACON, 2014), a resina a base epóxi é bastante resistente a esforços de compressão e tração, com resistência da ordem de 60 a 100 MPa e de 30 a 50 MPa, respectivamente, sendo indicado para recuperar a monoliticidade de elemento estrutural. Sua baixa viscosidade também é uma qualidade que torna o produto eficiente na percolação pelo interior da fissura.

Para a utilização deste produto há uma ressalva quando à umidade do elemento em recuperação, pois a presença de água reduz consideravelmente a resistência do produto, ressalta Takagi e Júnior (IBRACON, 2014),

A presença de água/umidade pode causar o aparecimento de bolhas na matriz do produto. Estas bolhas diminuem consideravelmente a sua resistência bem como prejudicam muito a aderência, (...). Teores de umidade maiores que 15% podem reduzir em até 90% as resistências destas resinas.

A empresa MC-BAUCHEMIE têm 02 linhas de produtos a base de resina de epóxi, conforme tabela 6.3, abaixo:

Tabela 6.3: Resinas de epóxi, MC BAUCHEMIE.

| Produto | Descrição/Material | Bomba | Viscosidade | Embalagens |
|------------------------|---|----------|-------------|----------------------------|
| MC-Injekt 1264 compact | Resina epóxi bicomponente para injeção e reparo estrutural de trincas | MC-I 510 | 300 mPa.s | Kit com 6 latas de 1 litro |
| MC-Injekt 1264 TF-TR | Resina epóxi ultrafina para injeção e reparo estrutural de trincas secas e úmidas | MC-I 510 | 145 mPa.s | Kit com 10 litros |

O processo de injeção desta resina é o mesmo que é utilizado para injeção de resinas a base de poliuretano, que será exposto mais a frente.

6.1.3 Microcimento

Este produto de injeção apresenta resistências similares aos concretos

convencionais utilizado na construção civil, com cerca de 40 a 50 MPa de resistência à compressão e de 5 a 7 MPa de resistência à tração, com objetivo de recuperar a monoliticidade da estrutura em tratamento.

A empresa MC-BAUCHEMIE têm 02 linhas de produto de microcimento, conforme tabela 6.4, abaixo:

Tabela 6.4: Microcimento, MC BAUCHEMIE.

| Produto | Descrição/Material | Bomba | Viscosidade | Embalagens |
|----------------|--|----------|------------------------------|-----------------|
| Centricrete FB | Microcimento para injeção e reparo estrutural de trincas em concreto | MC-I 910 | 67 segundos (funil de Marsh) | Kit de 30 kg |
| Centricrete UF | Microcimento ultrafino para injeção e reparo estrutural de trincas em concreto | MC-I 910 | 45 segundos (funil de Marsh) | Kit de 27,38 kg |

Segundo Takagi e Júnior (IBRACON, 2014), o microcimento é indicado para fissuras de aberturas maiores que 0,2mm, podendo ser utilizado em fissuras secas ou úmidas. Na aplicação do microcimento devem ser utilizados bicos injetores plásticos e bomba específica, conforme tabela 6.5 abaixo:

Tabela 6.5: Equipamentos para aplicação do microcimento, MC BAUCHEMIE.

| | Equipamento | Tipo | Informações adicionais |
|---|-------------------|---|--|
|  | MC-I 910 | Bomba para injeção de microcimento | Bomba para injeção de microcimento Compressor: 8 PCM Centricrete FB / Centricrete UF |
|  | Bicos de Plástico | Bico de plástico para injeção de microcimento | Para injeção de produtos de base mineral. Pressão Máx: 30 bar |

6.1.4 Gel Acrílico

Este produto tem função impermeabilizante e selante, ou seja, é aplicado para a formação de uma membrana impermeável e para preenchimento de fissuras ativas. O gel acrílico apresenta baixa viscosidade, sendo indicado para o tratamento de fissuras a partir de 0,1 mm.

A empresa MC-BAUCHEMIE tem 01 linha de produto de gel acrílico, conforme apresentado na tabela 6.6, abaixo:

Tabela 6.6: Gel Acrílico, MC BAUCHEMIE.

| Produto | Descrição/Material | Bomba | Viscosidade | Embalagens |
|--------------------|--|----------|-------------|----------------|
| MC-Injekt GL-95 TX | Gel acrílico polimérico para o selamento e impermeabilização de estruturas | MC-I 700 | 30 mPa.s | Kit de 54,5 kg |

A aplicação do gel acrílico, segundo a MC BAUCHEMIE, é realizada com bomba bicomponente.

6.2 Perfuração e Bicos de Injeção de Resina de Poliuretano

Na primeira etapa é feita uma limpeza no local da fissura e dos furos para evitar agentes de contaminação. A perfuração da estrutura de concreto é realizada por meio de broca de grande comprimento, com diâmetro compatível ao bico injetor utilizado. Conforme Takagi e Júnior (IBRACON, 2014), são utilizados basicamente dois modelos de bico injetores, os perfuração e os de adesão, podendo ser metálicos ou plásticos (recomendados para injeção de microcimento). Os bicos metálicos suportam maiores pressões de injeção, até 200 bar (20 MPa), podendo ser de perfuração ou adesão, quanto aos bicos de plásticos, são utilizados os de perfuração que suportam pressões de injeção de até 30 bar (3 MPa).

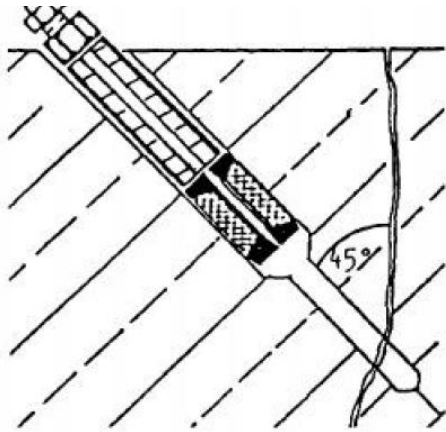
Quando for utilizada a forma cruzada, ou seja, com bicos injetores de perfuração, figuras 6.1 e 6.2, (em 45° graus com relação à superfície da estrutura para que resina injetada penetre pela fissura no centro da peça tratada), o espaçamento dos furos deve ser da ordem de 50% da espessura do elemento, quando a injeção ocorrer por somente uma face, enquanto que no caso de injeção pelas duas faces, o espaçamento deve ser da ordem de 25%.

No processo com uso de bico injetores de adesão, o espaçamento entre furos deverá ter a mesma espessura do elemento, quando a injeção ocorrer em apenas uma face, enquanto que se ocorrer pelas duas faces, a distância entre furos será da ordem de 50% da espessura do elemento.

Apresenta-se, logo abaixo, figuras e tabela para exemplificar os bicos injetores de perfuração e de adesão:

Tabela 6.7: Bicos Injetores, MC BAUCHEMIE.

| | Equipamento | Tipo | Informações adicionais |
|---|----------------------------|---------------------------------|---|
|  | Bicos de Adesão | Bico de adesão para injeção | Para injeção de trincas secas em elementos de concreto com espessura menor que 10cm. Pressão Máx: 60 bar |
|  | Bicos de Perfuração | Bico de perfuração para injeção | Para injeção em trincas úmidas e com a presença de água. Pressão Máx: 200 bar |



Figuras 6.1 e 6.2: Perfuração a 45° da superfície do substrato, MC Bauchemie.

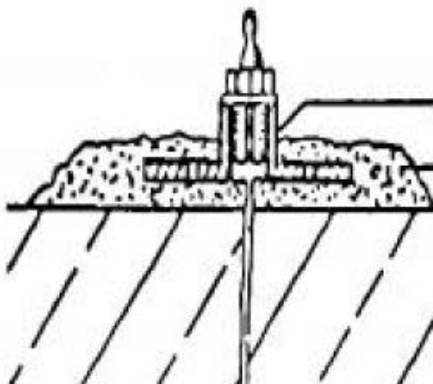


Figura 6.3 e 6.4: Posicionamento dos bicos de adesão, MC Bauchemie.

E conforme Takagi e Júnior (IBRACON, 2014), para os bicos injetores de adesão deve ser realizado “selamento superficial ao longo de toda a fissura, deixando os últimos 2 a 3 cm sem o selamento superficial para escape do ar aprisionado dentro da fissura”. Após 24 horas do selamento da fissura a injeção poderá ser realizada, pois o adesivo já possui resistência ao arranque.



Segundo Takagi e Júnior (IBRACON, 2014), quando há fluxo de água ou água sob pressão, os bicos de perfuração são mais indicados devido “ao mecanismo de fixação que é feito através da pressão que a parte de borracha faz contra as

paredes do furo quando esta é comprimida”. Quando o bico de perfuração é solicitado em altas pressões (acima de 200 bar) há um mecanismo de alívio que libera a pressão para não causar danos à estrutura em recuperação.

6.3 Bombas de Injeção de Resina de Poliuretano

Há dois tipos de bombas no mercado, a Bomba Monocomponente e a Bomba Bicomponente. A primeira bomba é utilizada para resinas menos fluidas, pois no seu uso os materiais da resina (Componente A – Base e Componente B – Catalisador) deverão ser misturados (com utilização de pás misturadoras em baixa rotação ou manualmente com qualquer elemento não contaminante) em vasilhame único, o que causa perda de fluidez. Já a segunda classe de bombas, as Bicomponentes, permite que a resina injetada tenha maior fluidez, pois os materiais da resina poderão ser misturados já no bico da injeção (após a colocação destas em vasilhames distintos acoplados na bomba), o que melhora a penetração da resina pela alta fluidez. A tabela 6.8, abaixo, apresenta as características das bombas do fornecedor MC BAUCHEMIE:

Tabela 6.8: Bomba Monocomponente e Bicomponente, MC BAUCHEMIE.

| | Equipamento | Tipo | Informações adicionais |
|---|-------------|----------------------|--|
|  | MC-I 510 | Bomba Monocomponente | Para injeção de resinas de poliuretano e epóxi Compressor: 8 PCM MC-Injekt 1264 compact / MC-Injekt 1264 TF-TR MC-Injekt 2033 / MC-Injekt 2300 flow |
|  | MC-I 700 | Bomba Bicomponente | Para injeção de resinas de poliuretano e gel acrílico Compressor: 20 PCM MC-Injekt 2300 flow / MC-Injekt 2700 L MC-Injekt GL-95 TX |

A injeção propriamente dita deve ser efetuada, após a ligação do mangote a máquina de ar comprimido, e colocação do material misturado (bomba monocomponente) ou do material para mistura (bomba bicomponente) no reservatório da bomba. Ajusta-se o manômetro com a pressão desejada e conecta-se a pistola do mangote da bomba ao bico injetor.

Após o início do bombeamento deve ser verificada em bicos injetores próximos a fuga de material, pois indica que houve boa percolação da resina na estrutura de concreto por meio da fissura. Com a injeção em todos os bicos injetores, o processo está finalizado. Após o tempo de 1 a 2 minutos, a resina inicia seu processo de expansão e endurecimento (polimerização), cobrindo maior número possível de vazios na fissura.

Deve ser observada a questão da segurança do aplicador durante todo o procedimento, com utilização de equipamento de proteção individual. E após a cura do material, excessos podem ser retirados mecanicamente.

7. CASOS DE INJEÇÃO DE RESINA DE POLIURETANO

7.1 Caso Usina Jirau 1

Será apresentado caso real de injeção de resina de poliuretano em obra de concreto armado. A recuperação ocorreu na laje de galeria mecânica da casa de força nº 3 da margem direita Usina Hidrelétrica de Jirau a cerca de 100 quilômetros de Porto Velho - Rondônia.-.

Logo abaixo será exposto o passo a passo através de fotos do processo de execução, pela empresa G-Maia:



Figura 7.1: Local a ser recuperado, G-Maia.



Figura 7.2 e 7.3: Identificação das fissuras, G-Maia.



Figura 7.4: Perfuração inclinada com broca longa, G-Maia.



Figura 7.5: Perfuração inclinada com broca longa, G-Maia.



Figura 7.6: Colocação dos bicos injetores nas laterais e ao longo da fissura, G-Maia.



Figura 7.7: Colocação dos bicos injetores nas laterais e ao longo da fissura, G-Maia.



Figura 7.8: Aplicação da resina, G-Maia.



Figura 7.9: Injeção de Resina com ressurgimento na fissura, G-Maia.



Figura 7.10: Aspecto após aplicação da resina, G-Maia.



Figura 7.11: Retirada dos bicos injetores por corte, G-Maia.



Figura 7.12: Aspecto após execução do serviço, G-Maia.

7.2 Caso Usina Jirau 2

Será apresentado o segundo caso de injeção de resina de poliuretano em obra de concreto armado. A recuperação ocorreu em parede da galeria mecânica da casa de força da margem esquerda Usina Hidrelétrica de Jirau a cerca de 100 quilômetros de Porto Velho - Rondônia.

Execução pela empresa G-Maia.



Figura 7.13: Aspecto da estrutura com fluxo constante de água, G-Maia.



Figura 7.14: Injeção espuma de poliuretano para vedação da fissura, G-Maia.



Figura 7.15: Injeção espuma de poliuretano para vedação da fissura, G-Maia.



Figura 7.16: Aspecto após aplicação e limpeza.

8. CONCLUSÃO

O concreto é o material construtivo mais utilizado no mundo, com uma diversidade gigantesca de utilizações, isso implica em grandes custos de produção, transporte, armazenamento e execução em obras estruturais de responsabilidade como a construção de edifícios, pontes, reservatórios e demais obras.

Em proporcionalidade ao consumo crescente de concreto, há o grande aparecimento de manifestações patológicas, causadas por imperícia, imprudência e falta de planejamento dos envolvidos no setor construtivo.

Em busca da durabilidade das estruturas de concreto, apresenta-se a solução tecnológica da injeção de resina de poliuretano, destinada a realizar o selamento ou recomposição da monoliticidade, de forma não destrutiva, com qualidade, desempenho e rapidez.

Porém a avaliação das anomalias (causas e efeitos) deve ser realizada, para que a solução tecnológica não seja utilizada de forma provisória, mas sim permanente em conjunto com a manutenção da mesma.

Deve-se presta atenção quanto à qualidade dos produtos utilizados, e especialização da mão de obra, para que a eficiência da solução seja satisfatória atendendo a necessidade da estrutura tratada.

9. BIBLIOGRAFIA

HELENE, P. *Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto*. 2ª ed. São Paulo: Editora Pini, 1992.

MARCELLI, M. *Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras*. 1ª ed. São Paulo: Editora Pini, 2007.

THOMAZ, E. *Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação*. 1ª ed. São Paulo. Editora Pini, 1989.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AECweb. Patologias do concreto. Disponível em: <http://www.aecweb.com.br/cont/n/patologias-do-concreto_6160> Acesso em: 28 mar. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15.575: Edificações Habitacionais — Desempenho*. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2003.

CANOVAS, M. F. *Patologia e terapia do concreto armado*. 1ª ed. São Paulo. Editora Falcão Bauer. 1988.

CONSTRUTORA G-MAIA – Fotos e Notícias. Disponível em <<http://www.g-maia.com.br/>> Acesso em 25 fev. 2014.

DIRECIONAL CONDOMÍNIOS. *Impermeabilização nos condomínios, qual a melhor solução? Engenheiros abordam técnicas diversas, erros comuns e período ideal para os trabalhos*. Disponível em:

<<http://www.direcionalcondominios.com.br/impermeabilizacao/impermeabilizacao-nos-condominios-qual-a-melhor-solucao-engenheiros-abordam-tecnicas-diversas-erros-comuns-e-periodo-ideal-para-os-trabalhos.>> Acesso em 27 mar. 2014.

IBRACON. Concreto: material mais consumido no mundo. Disponível em <http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf> Acesso em 20 mai. 2014.

IBRACON. Recuperação Estrutural: diagnósticos e terapias para prolongar a vida útil das obras. Disponível em <http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_49.pdf> Acesso em 20 mai. 2014.

JUNIOR, W. A. *Utilização de sistemas de injeção para a recomposição estrutural e tratamento de infiltrações das estruturas de concreto de usinas hidrelétricas*. Comitê Brasileiro de Barragens - XXV Seminário Nacional de Grandes Barragens. Disponível em: <<http://www.cbdb.org.br/documentos/site/92/9222.pdf>> Acesso em 02 mai. 2014, 08:00:00

MARTINS, A. P., JUNIOR, J. C. P. Inspeção de fissuras em alvenaria utilizando visão computacional. DINCON 2011 – 28 de Agosto a 1º de Setembro – Conferência Brasileira de Dinâmica Controle e Aplicações. Disponível em: <<http://www.sbmac.org.br/dincon/2011/files/articles/056.pdf>.> Acesso em: 31 mar. 2014, 19:30:00.

MC BAUCHEMIE. Catálogos. Disponível em <<http://www.mc-bauchemie.com.br/>> Aceso em 10 mar. 2014, 09:30:00.

OZ – Diagnóstico, Levantamento e Controlo de Qualidade em Estruturas e Fundações, Lda. Disponível em: <<http://www.oz-diagnostico.pt>> Acesso em 20 mar. 2014.

PIANCASTELLI, E.M. *Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado*. 1ª ed. Depto. Estruturas da EEUFMG, 1997.

PINI – téchne. *Recuperação Subterrânea*. Disponível em <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/167/recuperacao-subterranea-tuneis-variadas-estao-sujeitos-a-fissuracao-infiltracao-285851-1.aspx>> Acesso em 09 abr.

2014.

SOUZA, V. C. M., RIPPER, T. *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. 1ª ed. São Paulo: Editora Pini, 1998. 3 cap. 121 p.

TAKAGI, E. M., JUNIOR, A. W. Utilização de tecnologias de injeção para o aumento da durabilidade das estruturas de concreto armado. Disponível em <<http://site.ibracon.org.br/>> Acesso em 10 abr. 2014.