

REFORÇO E MONOLITIZAÇÃO DE BLOCO DE FUNDAÇÃO COM RESINA EPÓXI EM UM CONDOMÍNIO NA CIDADE DE RECIFE

Breno Otoni Valentim dos Santos

bovs@discente.ifpe.edu.br

Henrique Fernandes da Câmara Neto

henriquecamara@recife.ifpe.edu.br

RESUMO

O objetivo deste estudo foi analisar as técnicas de reforço de fundação utilizadas em uma edificação de concreto armado, localizada no bairro das Graças, em Recife-PE. O foco foi na recuperação e monolitização de 16 blocos de fundações de um prédio de 33 andares, considerando a perda de características mecânicas e interferência de agentes reativos, tais como, a Reação Álcali-Agregado (RAA), que causaram fissuras e deterioração das estruturas. A RAA ocorreu entre componentes reativos dos agregados e álcalis da pasta de cimento, formando um gel expansivo que comprometeu a durabilidade do concreto. O processo de recuperação estrutural dos blocos de fundação do edifício analisado incluiu a monolitização através de injeção de resina epóxi para reparar fissuras causadas pela Reação Álcali-Agregado (RAA). A técnica de monolitização melhorou a adesão e resistência das áreas fissuradas reestabelecendo a resistência à compressão e à tração dos elementos estruturais. O processo envolveu limpeza com ar comprimido, selagem com graute e injeção da resina sob pressão. A intervenção assegurou a integridade estrutural e preveniu a deterioração das fundações.

Palavras-chave: REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO; Resina Epóxi; Monolitização.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze foundation reinforcement techniques used in a reinforced concrete building located in the Graças neighborhood, Recife-PE. The focus was on the recovery and monolithization of 16 foundation blocks of a 33-story building, considering the loss of mechanical properties and interference from reactive agents, such as the Alkali-Aggregate Reaction (AAR), which caused cracks and structural deterioration. AAR occurred between reactive components of the aggregates and alkalis in the cement paste, forming an expansive gel that compromised the durability of the concrete. The structural recovery process of the building's foundation blocks included monolithization through epoxy resin injection to repair cracks caused by AAR. The monolithization technique improved the adhesion and strength of the cracked areas, restoring the compressive and tensile strength of the structural elements. The process involved cleaning with compressed air, sealing with grout, and injecting the resin under pressure. This intervention ensured structural integrity and prevented further deterioration of the foundations.

Keywords: ALKALI-AGGREGATE REACTION; Epoxy Resin; Monolithization.

1. INTRODUÇÃO

O concreto armado é um material criado na Europa em meados do século XIX, que, paulatinamente, foi ocupando o lugar do ferro na construção civil e nas preferências das elites da época.

Com a devastação da Europa, após a I Guerra Mundial, a evolução do concreto armado já era suficiente para uma escalada industrial de produção (Cunha e Moassab, 2022). O concreto armado é um material de construção resultante da união do concreto simples e de barras de aço, envolvidas pelo concreto, com perfeita aderência entre os dois materiais, de tal maneira que ambos resistam solidariamente aos esforços a que forem submetidos (Souza Junior, 2023). A novidade está justamente na reunião da propriedade de resistência à tração do aço com a resistência à compressão do concreto, o que permite vencer grandes vãos e alcançar grandes alturas, além disso o concreto é um material plástico, moldável, ao qual é possível os mais variados formatos. Inicialmente empregados apenas em embarcações e tubulações hidráulicas, a partir do século XIX o concreto armado passou a ser utilizado também nas edificações. Junto com aço e com o vidro, ele constitui o repertório dos chamados “novos materiais” da arquitetura moderna (Benevolo, 1976, p. 42), passando a ser produzidos em escala industrial e viabilizando arranha-céus, pontes, silos e estações ferroviárias resultando em novos objetos arquitetônicos característicos do cenário do mundo modernizado do século XX.

O concreto armado é um dos recursos mais consumidos do mundo (Castro, 2019). Em todos os lugares que observarmos, com certeza, iremos nos deparar com este material. Ele tem aceitação mundial, e no Brasil é utilizado em todo o território. Por causa da grande quantidade de matéria-prima do concreto encontrado na natureza, facilidade de aplicação do material que se molda a qualquer forma e seu custo benefício, tornando-o praticamente imbatível no mercado da construção civil.

Atualmente o concreto armado nos trouxe muitos avanços nas áreas sociais, habitação, educação, saúde, saneamento básico e de desenvolvimento das cidades. Grande parte das construções de casas, prédios, escolas, hospitais e redes de esgoto, têm usado nas suas estruturas o concreto armado.

Normalmente o concreto apresenta boas condições de proteção do aço contra a corrosão. Entretanto, esta condição é perdida à medida que o concreto é atacado por substâncias agressivas existentes no meio ambiente. As principais são o CO₂, que causa a carbonatação do concreto e consequentemente queda do seu pH; e os cloretos, que aumentam a condutividade do concreto, onde em ambos os casos ocorre o ataque a camada ou película passivante. Vale lembrar que a “película passivante” é uma camada de óxido que se forma na superfície de um material metálico, protegendo-o da corrosão. A formação desta película é resultado do processo de passivação, que é um tratamento químico.

Em relação ao concreto armado, as manifestações patológicas em estruturas de concreto armado são danos ou alterações indesejáveis que podem ocorrer ao longo do tempo. Elas podem comprometer a segurança, a estabilidade e a durabilidade da edificação.

Segundo Medeiros (2020) a metodologia de estudo do Grau de Deterioração das Estruturas (GDE), inicialmente desenvolvida por Klein (1991) e posteriormente adaptada por Castro (1994), fundamenta-se na análise de dados obtidos em inspeções de campo. Esses dados auxiliam na quantificação dos danos relacionados às manifestações patológicas identificadas, por meio de formulações destinadas a calcular um índice global de deterioração.

Dessa forma, possibilitou-se a redução da subjetividade na avaliação das estruturas, uma vez que são utilizados fatores de ponderação nos danos identificados, fundamentados na quantificação do grau de deterioração de estruturas de concreto.

Desenvolvendo um estudo sobre as patologias do concreto armado em barragens afetadas pela Reação Álcali-Agregado, Andriolo (2000) aborda os casos de represas impactadas por esse fenômeno no Brasil. O primeiro incidente de Reação Álcali-Agregado (RAA) identificado no país ocorreu na barragem de Jupia, situada em Três Lagoas-MS. Alguns órgãos e especialistas reconheceram o potencial perigo da RAA já na década de 1950, durante pesquisas em materiais e concretos para projetos no setor de hidroelétricas.

No ano de 2004 ocorreu o desabamento do Edifício Areia Branca na cidade de Jaboatão dos Guararapes, região metropolitana do Recife (PE), que foi um marco nas avaliações patológicas de fundação, onde por diversos fatores veio a colapsar a estrutura. Apesar de não ter sido causa do desabamento, uma das constatações no laudo realizado na época foram indícios de Reação Álcalis-Agregado, em proporções insuficientes de produzir fissuração nas fundações, mas que despertou os estudos sobre esse tipo de reação. Essa reação é lenta e expansiva com um quadro irreversível, que poderia contribuir para a diminuição da aderência (GUSMÃO, 2005).

A durabilidade dos materiais de construção é algo que se deseja alcançar em todo o processo construtivo e precisa ser profundamente pesquisado, destacando-se neste estudo especificamente as fundações de concreto armado.

A construção civil é uma área em constantes mudanças, em suas técnicas normativas e de execução dos principais serviços nela empregados.

Os métodos e materiais vêm se desenvolvendo de várias formas, consolidando assim, de forma afirmativa, a tecnologia da construção e a engenharia civil.

Mesmo com avanços nas técnicas de engenharia civil, as estruturas de concreto armado estão expostas aos ambientes agressivos que prejudicam a estrutura.

Muitos são os casos de estruturas que, por diversos motivos, exigem um aumento importante na sua capacidade de durabilidade. E diante disso, o conhecimento e os estudos têm levado avanços tecnológicos no processo construtivo com objetivo de evitar futuras patologias.

Exige-se um aprofundamento maior nas recuperações ou nos reforços estruturais de fundação, nas edificações de concreto armado.

Para uma maior longevidade das edificações é importante conhecer e estudar as manifestações patológicas nos diversos elementos estruturais em concreto armado. Visando compreender o aparecimento das manifestações patológicas a exemplo de fissuras, trincas e corrosão. Como também o conhecimento das técnicas de recuperação de patologias. No caso as técnicas de recuperação estrutural em fundações afetadas por RAA.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Acompanhar e fiscalizar o processo de monolitização de blocos de fundações afetados por RAA.

3. MÉTODO

Para o desenvolvimento da pesquisa, utilizamos o Método do Observador Participante

3.1 Definição do Método

O método de observação participante é uma técnica de pesquisa qualitativa, onde o pesquisador se insere ativamente no ambiente ou grupo social estudado. Ao participar das atividades e interações cotidianas, o pesquisador observa e registra comportamentos, normas e valores, buscando compreender a realidade do grupo a partir da perspectiva dos próprios membros. Essa abordagem permite uma visão mais rica e detalhada das dinâmicas sociais, captando nuances difíceis de identificar por outros métodos.

Esse método combina a observação sistemática com a participação direta, sendo flexível e adaptável conforme novos insights surgem. É amplamente aplicado em estudos culturais, organizacionais e sociais, como ao investigar comunidades indígenas, empresas ou movimentos sociais. No entanto, exige atenção a questões éticas e reflexividade para minimizar vieses e garantir o bem-estar dos participantes.

4. METODOLOGIA

Trata-se de um estudo de caso, onde foi adaptado a metodologia “observador participante”. Sendo o observador participe do processo de execução, na condição de fiscalizador.

O método foi escolhido por proporcionar uma visão detalhada e integrada das técnicas de engenharia civil empregadas numa obra de tratamento e reforço de fundações em um condomínio, onde participamos ativamente da obra como fiscalização dos serviços contratados. A interação direta com o ambiente de trabalho e a participação nas atividades diárias permitiram compreender, em profundidade, os processos técnicos, as ferramentas utilizadas e as estratégias adotadas pelas equipes.

A experiência de imersão no canteiro de obras foi essencial para a obtenção de dados autênticos, proporcionando uma descrição rica e precisa dos serviços executados. Destacando os procedimentos de aplicação de resina epóxi nas fissuras dos blocos de fundações, garantindo informações importantes da prática e conceito deste tipo de tratamento.

A metodologia aplicada neste estudo de observação e levantamento dos dados seguiu a seguinte sequência de execução:

- escavação dos blocos de fundação;
- mapeamentos e anotação das espessuras e comprimentos das fissuras, por meio de medições;
- injeção de resina epóxi, com verificação e anotação da quantidade de bicos utilizados e de resina injetada, seguindo o projeto de detalhamento e especificação da obra;
- reforço dos blocos de fundação;
- e, reaterro dos blocos e posterior concretagem do piso do subsolo.

Outra fonte de estudo que embasa este levantamento são os manuais técnicos dos produtos utilizados na recuperação e reforço estrutural dos blocos de fundação, nos quais estão as orientações de preparo e execução de resina epóxi no elemento estrutural de fundação.

4.1 Elaboração do Projeto de Intervenção

O projeto foi elaborado no ano de 2020 pelos Engenheiros Civis: Sergio Osório de Cerqueira, José de Patrocinio Figueiroa e Antônio Alves Neto

4.2 Localização do Estudo

A obra de estudo fica localizada no município do Recife, bairro das Graças, Pernambuco – Brasil.

4.3 Tipologia da Edificação

- Ocupação: edifício residencial com 33 pavimentos
- Estrutura: concreto armado, alvenaria cerâmica de fechamento.
- Fundação: blocos de concreto sobre estacas, com 33 blocos

- Idade da edificação: 20 anos
- Condições ambientais da região da edificação: classe de agressividade IV (NBR 6118:2014) com lençol freático cobrindo cerca de 90% da fundação

A adoção do método observação participante, proporciona uma valorização da observação direta com participação ativa, passando a oferecer uma melhor análise das práticas de construção civil, permitindo a compreensão mais completa do objeto de análise.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Concreto Armado

O concreto armado é um material composto fundamental na construção civil, que combina as propriedades do concreto e do aço para criar estruturas resistentes a diversos tipos de esforços, como compressão e tração. O concreto é eficaz para suportar cargas compressivas, enquanto o aço proporciona resistência à tração, completando as limitações de cada um dos materiais. O conceito de concreto armado foi introduzido no final do século XIX e, desde então, tem sido amplamente utilizado em estruturas como edifícios, pontes, viadutos e outras construções de grande porte.

Os principais componentes do concreto armado são:

- a) **concreto:** É a mistura de cimento, agregados (areia e brita), água e aditivos (se necessário). O concreto tem alta resistência à compressão, mas é relativamente fraco à tração. Para compensar essa fragilidade, o aço é incorporado à mistura, criando um material muito mais resistente e durável.
- b) **Aço (Armadura):** O aço, geralmente na forma de vergalhões ou malhas metálicas, é incorporado ao concreto para resistir a forças de tração. A armadura de aço é colocada em locais estratégicos das estruturas, como nas faces superior e inferior de vigas e lajes, onde os esforços são mais intensos.
- c) **Aderência:** A aderência entre o concreto e o aço é um fator crucial no desempenho do concreto armado. Ela garante que o aço e o concreto atuem de forma conjunta, sem que o aço se desloque dentro do concreto sob a ação das forças. A aderência é proporcionada por fatores como a rugosidade da superfície das barras de aço, a tensão superficial do concreto, o dimensionamento correto das armaduras e o processo de cura do concreto. Uma aderência adequada é essencial para a transmissão de esforços entre os dois materiais, garantindo que as forças de tração e compressão sejam distribuídas de maneira eficaz ao longo da estrutura.

O comportamento conjunto do concreto e do aço, com a aderência funcionando como mecanismo de ligação, resulta em um material muito mais eficiente, capaz de resistir a diferentes tipos de solicitações de carga, como flexão, torção e cisalhamento.

5.2 Durabilidade

Ao longo do tempo de vida total o desempenho da edificação vai caindo. A cada manutenção, conseguimos recuperar parte do desempenho perdido, porém, não totalmente. Inevitavelmente em um determinado ponto chegamos à sobrevida da edificação, onde o risco de prejuízos à segurança é bastante elevado. Por isso, deve ser levada em consideração a possibilidade de uma intervenção mais profunda.

A durabilidade das estruturas de concreto armado, especialmente em elementos de blocos de fundação, é um tema de grande relevância na engenharia civil, uma vez que garante a segurança e a integridade das construções ao longo do tempo. A durabilidade está relacionada à capacidade da estrutura de resistir a processos de degradação, mantendo suas propriedades e funções mesmo diante de ações externas, como a umidade, variações térmicas, e agressões químicas ou biológicas. Em elementos de fundação, como blocos, a durabilidade é crucial, pois esses componentes estão em contato direto com o solo e podem ser expostos a condições adversas, como ataques de agentes agressivos, umidade excessiva e ciclos de saturação e secagem.

Durabilidade das fundações de concreto armado depende de diversos fatores, incluindo a qualidade dos materiais utilizados, o tipo de exposição ambiental, a correta execução da obra e a manutenção preventiva. Mendes (2017) aponta que a escolha do concreto adequado, com a resistência e a composição apropriadas para a situação específica, é fundamental para prevenir danos causados por carbonatação ou ataque de cloretos. Além disso, a capacidade de impermeabilização e a adequada cura do concreto são fundamentais para garantir que o concreto tenha uma baixa permeabilidade, o que impede a penetração de substâncias nocivas ao aço da armadura. Farias e Pinto (2016) destacam que, em locais com presença de solos agressivos ou águas subterrâneas com alta concentração de sulfatos, a durabilidade dos blocos de fundação deve ser considerada desde o projeto, utilizando concretos com aditivos ou adições que aumentem a resistência a esses agentes.

Em termos de boas práticas, Cunha (2018) enfatiza que o controle rigoroso durante a execução, incluindo o uso adequado de formas e o cumprimento dos tempos de cura, contribui para que o concreto atinja sua resistência ideal e tenha uma vida útil prolongada. Além disso, o monitoramento contínuo das condições do solo e da estrutura ao longo do tempo é uma prática recomendada para identificar e corrigir eventuais problemas antes que se tornem críticos.

Executando a manutenção preventiva é possível obter da edificação uma vida útil residual, que acrescida à vida útil do projeto constituem a vida útil real da edificação.

5.3 Manifestações Patológicas

De acordo com Helene (1992), ainda que o concreto possa ser considerado um material praticamente eterno, desde que receba manutenção sistemática e programada, há edificações que apresentam manifestações patológicas em intensidade e incidência significativas, ocasionando altos custos para sua correção. Compromete o aspecto estético e, na maioria dos casos há uma redução da capacidade resistente, podendo chegar, em certos momentos, ao colapso parcial ou total da estrutura.

As causas da deterioração do concreto armado podem ser as mais diversas, desde o envelhecimento “natural” da estrutura até os imprevistos, e até mesmo a falta de responsabilidade de alguns profissionais que preferem utilizar materiais e formas de execução fora das especificações e normas referentes a construção civil, na maioria das vezes por alegadas razões econômicas (SOUZA, 2009). Segundo pesquisas recentes, há uma indicação de que os problemas patológicos ocorrem, em aproximadamente 50% dos casos, por falhas de projeto e planejamento das edificações (FIGUEIREDO, 2005).

Segundo Souza e Ripper (2009), “Quando o projeto de engenharia for mal detalhado, a construção for realizada com insuficientes planejamento e controle, os técnicos e operários não forem dotados da qualificação adequada e os prazos de execução forem excessivamente curtos, a estrutura de concreto resultante será quase certamente de má qualidade e irá se deteriorar de modo prematuro, absorvendo gastos de recuperação e de reforço exagerados para ser mantida em condições de uso”. Podemos identificar diversas patologias que acontecem em estruturas de concreto armado. O quadro abaixo demonstra as manifestações patológicas mais vistas em estruturas de concreto armado, além de suas principais causas e consequências.

Tabela 01 – Causas e Consequências das Patologias

Quadro 1: Tipos de manifestações patológicas		
PATOLOGIAS	CAUSAS	CONSEQUÊNCIAS
Carbonatação	Poluição (CO ₂)	Acidez do concreto
Calcinação	Incêndio	Redução do Fck
Lixiviação e eflorescência	Infiltrações, porosidades, Trincas, juntas de dilatação sem estanqueidade	Redução do calcário no concreto
Nichos de concretagem	Vibração ineficaz	Redução de seção transversal do concreto
Ruptura brusca do concreto comprimido	Falta de controle estatístico do concreto	Colapso parcial ou total
Trincas em estruturas de cobertura	Faltas de juntas de dilatação, Ausência de telhado, Não consideração dos momentos volventes	Trincas e corrosão da armadura
Corrosão da armadura	Infiltrações, pequenos cobrimentos, porosidade fissuração, poluição (CO ₂), chuva ácida (H ₂ SO ₄), presença de cloretos, falta de manutenção preventiva	Perda de seção transversal da armadura

Fonte: Santos e Interlandi, 2016

De acordo com Santos e Interlandi (2016), para identificação dessas causas das manifestações patológicas do concreto é necessário que se observe suas evidências, que geralmente acontecem nas superfícies do concreto. Porém, existem elementos que não é possível visualizar, como aquele total ou parcialmente enterrados (arrimos,

piscinas, fundações e etc.), as faces internas das juntas de dilatação e as do interior de reservatórios.

5.4 Reação Álcali-Agregado (RAA)

A manifestação patológica conhecida como Reação Álcali-Agregado (RAA) refere-se a reações químicas que acontecem entre componentes mineralógicos reativos dos agregados e os íons alcalinos e hidroxilas presentes na pasta de cimento. O resultado dessas reações é a formação de um gel expansivo, especialmente quando em contato com a água. Esse gel aumenta as tensões internas da estrutura, provocando deformações e fissuras na superfície do concreto, o que compromete a durabilidade da construção (RIBEIRO e REY, 2019). O Álcalis desenvolve-se em argamassa ou concreto, entre os íons hidroxila (OH^-) - gerados no processo de hidratação do cimento, associados aos álcalis, óxido de sódio (Na_2O) e óxido de potássio (K_2O), originária do cimento Portland ou de outras fontes e certos tipos de agregados (NBR 15577-1, 2018).

Entre as possíveis causas da redução da durabilidade e deterioração das estruturas de concreto, a reação álcali-agregado (RAA) tem sido motivo de preocupações ao meio técnico nacional (Pereira et al, 2023). A RAA, resumidamente, consiste em reações químicas que ocorrem entre agregados reativos (minerais silicosos reativos) e os hidróxidos alcalinos dissolvidos na solução dos poros do concreto [1], gerados na fase de hidratação do cimento Portland. Como resultado da reação álcali-agregado forma-se um gel higroscópico expansivo, podendo gerar expansão, fissuração, exsudação de gel e pipocamentos (pop-out) no concreto, com redução de resistência e módulo de deformação, além de movimentações diferenciais nas estruturas.

A principal consequência da reação é a expansão do concreto ou argamassa, provocando fissuração na superfície com uma distribuição aleatória, na maioria das vezes também mencionado como em forma de mapa ou de malha.

RAA, resumidamente, consiste em reações químicas que ocorrem entre agregados reativos (minerais silicosos reativos) e os hidróxidos alcalinos dissolvidos na solução dos poros do concreto, gerados na fase de hidratação do cimento Portland. Como resultado da reação álcali-agregado forma-se um gel higroscópico expansivo, podendo gerar expansão, fissuração, exsudação de gel e pipocamentos (pop-out) no concreto, com redução de resistência e módulo de deformação, além de movimentações diferenciais nas estruturas (PEREIRA et al., 2018).

5.4.1 Tipos de Reações Álcali-Agregado

Em periódicos internacionais, segundo o Guia Canadense A864- 00, (2000), ponderam que existem apenas dois tipos de RAA (Reação Álcali-Agregado): a Reação Álcali- Sílica (RAS) e a Reação Álcali-Carbonato (RAC), tratando a Reação Álcali-Silicato como um caso particular da Reação Álcali-Sílica.

a) Reação Álcali-Sílica: esta reação específica ocorre quando há o agregado reativo, juntamente com a disponibilidade álcali proveniente do cimento Portland, além de um alto grau de umidade. Está umidade é responsável por tornar disponíveis os álcalis e hidroxilas que por sua vez quebram as ligações do tipo siloxano e silanol que estão presentes no agregado reativo. Esta quebra leva a formação de um gel que

absorve água e expande (AUGUSTO PIANEZZER, 2019). É a que ocorre quando estão envolvidos agregados contendo sílica na forma amorfa que está presente em agregado como a opala, calcedônia, sílex e no quartzo, segundo Silveira, (1977). Esta reação é a mais comum em construções e é a que se desenvolve mais rapidamente.

b) Reação Álcali-Silicato é a que se processa mais lentamente e ocorre quando os agregados, constituídos por granitos, gnaisses, magmáticos e quartzitos, principalmente, contêm quartzo deformado ou criptocristalino, cuja reatividade foi descoberta há cerca de 30 anos. É uma reação que está basicamente relacionada à presença de quartzo tensionado, quartzo microcristalino a criptocristalino e minerais expansivos do grupo dos filossilicatos, um gel sílico-alcálico, causa a expansão da estrutura, causando fissuras, e consequentes rupturas drásticas.

c) Reação Álcali-Carbonato (RAC): ocorre de forma totalmente diferente da reação álcali-sílica e álcali-silicato. É a mais rara e não há formação de gel. Diferentemente das demais não é formado gel expansivo; ocorre a expansão do mineral Brucita ($Mg(OH)_2$). Além disso, também há a formação de carbonatos cálcicos e silicato magnésiano.

5.4.2 Fatores importantes para a ocorrência da RAA

Os fatores mais importantes no seu aparecimento são: álcalis, agregados reativos e água. Álcalis: Uma quantidade mínima de álcalis deve ser obtida do cimento ou de outras fontes, como aditivos, aditivos ou agregados;

Existência de unidade reativa. O grau de reatividade de um agregado está diretamente relacionado à velocidade da reação;

Presença de água. O RAA é tratado somente quando há água nos poros do concreto proveniente de alguma fonte externa (ambiente) ou interna (excesso de água de amassamento que não foi absorvida para hidratar o cimento).

É importante notar que o fenômeno não ocorre apenas quando o concreto está em contato direto com a água, mas pode ocorrer, por exemplo, nas superestruturas de pontes ou viadutos localizados em uma atmosfera com umidade relativa superior a 80%. De acordo com o capítulo mencionado por Andrade e Silva (2006) há muito tempo. Outros autores, como Figueirôa e Andrade, (2007) especificaram uma umidade relativa de 85%. Além disso, é importante lembrar que a reação ocorre através da massa de concreto, não apenas na superfície, o que dificulta a solução, pois não basta impedir a penetração da umidade do ambiente.

5.4.3 Breve Histórico da RAA

Cerca de 80 anos se passaram desde que os primeiros sintomas apareceram em estruturas de concreto, que mais tarde foram explicados como sendo causados pelos chamados da reação de agregação alcalina. Durante esse tempo, muito se avançou no desenvolvimento de métodos de diagnóstico de reações em obras existentes e na identificação de componentes de argamassa e concreto que poderiam causar uma reação. A experiência brasileira com os métodos recomendados pela ASTM começou com as pesquisas de Gitahy sobre o uso de agregados no concreto das barragens de

Jupiá e Ilha Solteira no Paraná entre 1961 e 1963. 1963. Os métodos desenvolvidos incluem vários métodos de experimentos de laboratório e de campo.

5.4.4 Procedimentos de Análise da RAA

a) Análise Petrográfica:

Este deve ser o primeiro passo para caracterizar a reatividade expansiva dos agregados de concreto. Isso é para garantir a presença de pedras e minerais que podem reagir com substratos de cimento. Esses minerais e pedras são então chamados de nocivos e, ao contrário de nocivos não reativos, que são inertes às bases mencionadas. Os métodos utilizados são recomendados nas normas americanas ASTM C856 (2018) para concreto e ASTM C295 (2019) para agregado e brasileira NBR7389, 2009. Em relação à reação do agregado alcalino, o resultado da análise e da presença de componentes reativos de álcali-sílica, como opala, cristobalita, tridimita, ardósia, gnaisses, quartzo deformado, quartzito, arenito, etc. Segundo Prizskulnik (2005), no caso de rochas carbonáticas propensas à reação álcali-carbonato, o alvo da análise petrográfica são as dolomitas ou calcários dolomíticos com resíduos argilosos insolúveis. A análise petrográfica pode ser feita em quatro etapas: análise macroscópica, análise com microscópio estereoscópico (aumento de 16x), microscópio óptico (aumento de 20000x) e microscópio eletrônico de varredura (MEV) (aumento de 1500-00x 2000 vezes), segundo Silva, P. (2007a).

b) Ensaio das Barras de Argamassa:

Metodologia: ASTM C227 (2022) e NBR 9773 (1987).

Foi desenvolvido a partir de pesquisas realizadas por Stanton entre 1942 e 1947 e foi adotado como método em 1952. Utiliza uma combinação de agregados com uma quantidade específica de cimento para formar uma argamassa com uma relação água/cimento específica (a/c). “A observação da expansão de prismas (“barrinhas”) moldadas com essa argamassa permite caracterizar o agregado quanto ao comportamento com os álcalis do cimento”. (ANDRIOLO, 1997). A expansão é considerada excessiva se exceder 0,05% após 3 meses ou 0,10% após 6 meses de moldagem e cicatrização. Este julgamento requer um período de observação de pelo menos seis meses.

- Algumas observações e desvantagens do método:
- Expansão semestral pode não ser característica de expansões posteriores;
- A representatividade da mistura de argamassa, que corresponde às dilatações que podem ocorrer no betão;
- Os agregados graúdos devem ser triturados para se adequarem à granulometria exigida pelo método, o que pode causar distorções devido à expansão do concreto;
- Em caso de dilatação excessiva, a norma recomenda a realização de outros ensaios para confirmação, como análise petrográfica do agregado e método químico;

- O método não é projetado para agregados de reação lenta usados na maioria dos casos observados no Brasil (casos de reação de silicato alcalino). A ASTM recomenda outros testes para tais agregados (ASTM C 1260 ou ASTM C 1293);

c) Ensaio Acelerado das Barras de Argamassa:

Métodos: ASTM C 1260 (2022) e NBRI.

Foi desenvolvido em 1985-1986 no NBRI - National Building Research Institute - África do Sul por Oberholster utilizando barras de argamassa ASTM Method C 227 de 25mm x 25mm x 285mm.

Examina o RAA variando o comprimento das três hastes de argamassa.

As amostras são imersas em água a 80°C por 2 horas e depois em solução de NaOH 1 N a 80°C por 16 dias. O teste geralmente dura até 30 dias. Portanto, o método é semelhante ao ASTM C 227, mas as amostras são mantidas em um ambiente mais agressivo para acelerar o desenvolvimento da reação e acelerar o teste.

O traço é cimento: agregado 1:2,25 e relação a/c = 0,5. O cimento utilizado deve atender aos requisitos da ASTM C150 e sua expansão em autoclave deve ser inferior a 0,2%.

Fazemos as seguintes leituras: 24 horas, 2 dias, 3 leituras intermediárias, 16 dias, 1 vez por semana.

Resultados da expansão das barras de leitura:

- Expansão abaixo de 0,10% após 16 dias: comportamento inofensivo (ou não reativo);
- Expansão acima de 0,20% após 16 dias: aumentos potencialmente prejudiciais;
- Expansão com valores de $0,10 \pm 20\%$ após 16 dias: possibilidade de ambos os comportamentos. Neste caso, recomenda-se estender o ensaio para 30 dias e realizar estudos adicionais para confirmar a extensão, como a análise petrográfica do agregado segundo Silva, P., (2007a).

Os métodos ASTM C-1260 e NBRI foram discutidos sob várias perspectivas, incluindo:

- Um teste muito rigoroso - capaz de classificar agregados que não são de natureza reativa;
- Também pode classificar agregados com reatividade lenta como não reativos;
- O efeito da fissuração do cimento na intensidade da expansão;
- A importância da granulometria da areia obtida da fragmentação do agregado na produção de argamassa;
- O efeito do tipo de equipamento utilizado na britagem do agregado, que altera os resultados;
- A importância do fator a/c ou do consumo de cimento nas argamassas "barri-nhas" para intensificar a reação de forma expansiva e nociva;

– A significância do teor alcalino total ou disponível de acordo com o dano; - se a expansão for maior que 0,10%, é necessário testar com prisma de concreto para ter certeza.

- A norma brasileira recentemente adotada inclui algumas alterações em relação à ASTM-C-1260. Esta é a NBR 17555 - Agregados - Reação Alcalina - Carga, aprovada em agosto de 2008

5.4.5 Ensaio de Campo

Segundo Silva, P. (2007a), os dois métodos apresentados a seguir partem do princípio do contraste de imagens.

a) Método do Acetato de Uranila

Foi desenvolvido pelo governo dos EUA em 1987 no âmbito do Programa Estratégico de Pesquisa em Rodovias (SHRP). Uma área suspeita é selecionada para análise após 8 observações visuais. Uma solução de acetato de uranila é aplicada na superfície de concreto pronta para análise.

A imagem de contraste específico é realizada usando luz ultravioleta (UV) usando o dispositivo Spectroline. No caso de produtos de reação álcali-agregado, a cor do concreto muda para verde fluorescente e amarelo sob a influência da luz ultravioleta. A mudança de cor ocorre por troca iônica.

Comentários sobre o método:

- Novas superfícies têm melhor desempenho;
- A utilização do método requer um especialista experiente;
- A falha é possível devido a um resultado falso positivo ou falso negativo;
- O acetato de uranila é um material radioativo que requer, além do risco de manuseio, a escolha de um alvo especial para cada material contaminado.

b) Método do Cobaltonitrito de Sódio

Foi desenvolvido por Guthrie e Carey, pesquisadores do Los Alamos National Laboratory, nos Estados Unidos. Também é conhecido como método das manchas ou método geoquímico.

Após observações visuais, uma área suspeita é definida para análise. Duas soluções são usadas: cobaltonitrita de sódio e rodamina. Manchas amarelas são vistas no cobalto-nitrito de sódio e manchas rosas na rodamina. A mudança de cor é visível a olho nu e ocorre quando o produto da reação, o gel, está presente.

Comentários sobre o método:

- O método é pouco divulgado;
- A escolha do tipo de rodamina pode influenciar no padrão de cor do concreto;
- É necessário um especialista experiente para aplicar o método

5.5 Injeção de Resina Epóxi

Segundo Almeida Junior (2003), a injeção de resinas de epóxi deve ser executada quando existe um problema estrutural e fissuras secas, onde a principal demanda é a execução da correta e da eficiente distribuição das forças dinâmicas e a consequente proteção da armadura contra a corrosão, recuperando a condição de rigidez e estática da estrutura. As resinas de epóxi apresentam propriedades mecânicas superiores às de quaisquer outras resinas e até mesmo do concreto. A resistência à compressão é de 60 a 100 MPa e a resistência a tração entre 30 e 50 MPa.

O uso de resina epóxi no reparo de estruturas, segundo Almeida Junior (2003), geralmente é descrito como uma técnica eficiente para recuperação, reforço e proteção de elementos estruturais danificados. A resina epóxi é amplamente utilizada devido à sua alta resistência mecânica, aderência a diferentes superfícies (como concreto, madeira e aço), e durabilidade frente a agentes químicos e intempéries.

Almeida Junior (2003) costuma destacar aspectos importantes no emprego dessa técnica, como:

- Adesão Superior: A resina epóxi possui propriedades adesivas que garantem uma fixação eficaz entre os materiais danificados e os novos elementos aplicados.
- Preenchimento de Fissuras: É usada para selar fissuras, prevenindo a infiltração de água e substâncias agressivas que poderiam acelerar o processo de deterioração.
- Reforço Estrutural: Em associação com fibras de carbono ou outros materiais compósitos, a resina epóxi é empregada para melhorar a capacidade de carga de estruturas comprometidas.
- Resistência Química: Proporciona uma barreira de proteção contra agentes corrosivos, como cloretos e sulfatos, comuns em ambientes agressivos.
- Facilidade de Aplicação: Seu uso prático, com métodos relativamente simples, permite intervenções rápidas e eficazes em reparos emergenciais.

5.5.1 Bomba Injetora

Existem disponíveis no mercado dois tipos de bomba injetora, a monocomponente e bicomponente. A primeira é utilizada para materiais menos fluidos, pois no seu uso deverá ocorrer a mistura do componente A (Base) e componente B (catalisador), através de um misturador de hélice mecânica de baixa rotação com hélice acoplada ou manualmente em vasilhames. A segunda bomba disponível é usada quando existe uma maior fluidez entre os dois componentes (A + B), onde os materiais poderão ser misturados nos bicos da injeção da máquina injetora, melhorando a injeção pela alta fluidez.

Segue abaixo os dados técnicos comparativos de duas bombas utilizadas da fabricante MC-Bauchimie:

DADOS TÉCNICOS – MC-I 510 CARACTERÍSTICA - MONOCOMPONENTE

- Vazão máxima de entrada de ar l / min 230
- PCM 8
- Máxima pressão de entrada de ar bar 8
- Taxa de transmissão pneumático/hidráulico 1 : 33
- Pressão de injeção máxima bar 264
- Volume máximo de injeção l / min aprox. 3
- Volume do reservatório integrado l 1,5
- Temperatura máxima do material °C 80
- Dimensões (altura, largura, comprimento) cm 100 / 47 / 40
- Peso kg aprox. 19

DADOS TÉCNICOS – MC-I 700 - BICOMPONENTE

Característica

- Vazão necessária de entrada de ar 500 L/min
- 18 PCM Observações
- Pressão máxima de entrada de ar 8 bar

Unidade de bombeamento bicomponente

- Relação de mistura 1 : 1 parte em volume
- Taxa de transmissão pneumático/hidráulico 1 : 25
- Volume máximo de injeção 14 L/min
- Máxima pressão de operação 200 bar

Unidade de bombeamento acoplada

- Taxa de transmissão pneumático/hidráulico 1 : 33
- Volume máximo de injeção 3 L/min
- Máxima pressão de operação 264 bar
- Comprimento da mangueira de descarga 7,5 m (Par de mangueiras para 3.000 psi de Ø 6 mm resistente a solventes com conexões em aço inoxidável, conectores M14 x 1,5 e M16 x 1,5).
- Dimensões (altura, largura, comprimento) 100 cm / 55 cm / 50 cm
- Peso 50 kg

6. DISCUSSÃO

6.1 Contexto da obra

O condomínio identificou o surgimento de fissuras no piso do subsolo, principalmente nas proximidades dos pilares. Diante disso, foi contratada uma empresa especializada para realizar uma análise detalhada e elaborar um laudo técnico das fundações. O estudo revelou diversas fissuras típicas da Reação Álcali-Agregado (RAA). Para confirmar o diagnóstico, foi realizado um ensaio petrográfico, que constatou a reatividade expansiva nos agregados do concreto.

Com a confirmação do problema relacionado à RAA, a empresa elaborou um projeto detalhado para a recuperação estrutural e monolitização dos blocos de fundação. Nesse projeto, foram especificados os procedimentos técnicos e recomendada a aplicação de resina epóxi como solução ideal para garantir a adesão da estrutura e a durabilidade das intervenções.

Após a etapa de planejamento, o condomínio realizou cotações de preços com empresas de engenharia civil e contratou uma empresa especializada para executar os reparos estruturais. Simultaneamente, foi contratada outra empresa para o acompanhamento e fiscalização da obra, assegurando que os serviços seriam realizados conforme as especificações do projeto.

É neste contexto que, no início da execução, entramos ativamente na execução dos serviços, atuando diretamente no levantamento e no acompanhamento das unidades de intervenção, garantindo que todas as etapas fossem conduzidas com qualidade e em conformidade com as especificações do projeto técnico.

6.2 Análise dos Dados

Durante as visitas técnicas, também foi realizada uma inspeção visual dos ambientes e dos materiais empregados, como concreto armado, argamassa, água utilizada na mistura, processos de fabricação de fôrmas e os tipos de ferragens. Essa abordagem buscou avaliar o sistema estrutural como um todo, identificando possíveis inconsistências ou adequações no processo construtivo.

Como parte da intervenção, foi executada a monolitização dos blocos de fundação por meio da injeção de resina epóxi de baixíssima viscosidade em trincas e fissuras, o que garantiu a consolidação estrutural, assegurando a durabilidade e estabilidade da estrutura. Além disso, foram realizados o reforço estrutural e a impermeabilização de 16 blocos de fundação, conforme detalhamento de medição na tabela descrita abaixo, com a identificação de cada bloco trabalhado, onde o reforço foi realizado através do encamisamento dos blocos com armação de novas ferragens, conforme projeto executivo da obra, aumentando a estrutura da fundação.

Tabela 02 - Medidas dos Blocos de Fundação

BLOCO	Área da Base do Bloco			Área da Lateral do Bloco (m ²)	Volume do Bloco (m ³)
	Comprimento 1 (m)	Comprimento 2 (m)	Área (m ²)		
BP01	1,52	2,52	3,83	10,50	4,48
BP02	2,53	2,53	6,40	13,16	7,49
BP03	2,53	2,53	6,40	13,16	7,36
BP04	2,53	2,53	6,40	13,16	7,36

BP05	5,20	3,60	18,72	26,40	21,53
BP06	4,50	3,50	15,75	20,80	18,90
BP07	5,70	4,50	25,65	26,52	30,78
BP08+10	10,40	9,00	93,60	120,28	322,92
BP09	8,03	9,00	72,27	105,59	249,33
BP11	4,50	3,50	15,75	20,80	18,90
BP12	5,70	4,50	25,65	26,52	30,78
BP13	1,52	2,52	3,83	10,50	4,33
BP14	2,53	2,53	6,40	13,16	6,66
BP15	2,52	2,52	6,35	13,10	5,91
BP16	2,52	2,52	6,35	13,10	6,35
BP17	5,20	3,60	18,72	26,40	13,10

Fonte: AUTOR (2024)

6.3 Fissuras

As fissuras identificadas no bloco de fundação foram ocasionadas pela Reação Álcali-Agregado (RAA). São fissuras úmidas (fator preponderante para a reação) e ativas, que tendem a aumentar com o tempo, resultando em expansão e deterioração contínua do concreto, comprometendo a integridade estrutural da fundação, se não fosse tratada adequadamente, expondo-a aos agentes agressivos.

As fissuras nos blocos variavam entre 0,2mm e 1,0mm de espessura e a profundidade era superficial, embora alguns casos nos blocos ela atravessava toda espessura do elemento estrutural.

Foram identificadas um total de 1308,00m de fissuras nos 16 blocos de fundação, tendo uma média de 81,75m por bloco. Todas estas fissuras foram marcadas e abertas para realização do tratamento com injeção de resina epóxi.

Figura 01 – Mapeamento das fissuras no bloco.



Fonte: Autor (2022)

Figura 02 – Mapeamento das fissuras no bloco.



Fonte: Autor (2022)

Figura 03 – Medição da largura da fissura.



Fonte: Autor (2022)

6.4 Monolitização

A monolitização de blocos de fundação com injeção de resina epóxi é uma técnica especializada que combina a criação de fundações monolíticas com a utilização de resinas epóxi para melhorar a integração e a resistência das fundações. Esse método pode ser particularmente útil em situações onde é necessário reforçar ou reparar fundações existentes.

O Objetivo da injeção de resina epóxi nos blocos de fundação deste prédio foi para a melhoria da adesão e coesão das regiões fissuradas e para reforço da estrutura, aumentando a resistência estrutural do bloco.

Tabela 03 – Características das resinas utilizadas

DADOS TÉCNICOS	
Composição Básica	Resina Epóxi e Poliamidas
Densidade (25°C)	1,10 kg/l (A+B)
Resistência à compressão	Resina: 53 MPa após 10 dias
	Argamassa: 50 MPa (24h); 55MPa (3 dias); 60 MPa (7 dias)

	Referência ao traço 1:7 (Sikadur 52 : Sikadur 512)
Resistência à tração	25 MPa após 10 dias (20°C / 65% u.r.a)
Resistência à flexão	50 MPa após 10 dias (20°C / 65% u.r.a)
Resistência de Aderência	Concreto: 4 MPa
	Aço: 10 MPa
Módulo de Elasticidade	10,6 Gpa
Viscosidade	500 mPas.s (20°C)
Coefficiente de Expansão Térmica	$89 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Cura Inicial	8 horas (A+B+C) (20°C / 50% u.r.a)
Cura Final	7 dias (A+B+C) (20°C / 50% u.r.a)
Vida Útil da mistura	Pot Lif = 20 minutos (1kg a 20°C / 50% u.r.a)
Temperatura de Superfície	(+5°C a +30°C)
Relação da mistura	A:B = 2:1 (em peso)

Fonte: Sika (2022)

As resinas utilizadas para a monolitização dos blocos de fundação são polímeros termorrígidos (não possuem ponto de amolecimento) usados como adesivos estruturais, sendo de base epóxi. Suas características principais é que são produtos retráteis, de baixa viscosidade, alta capacidade resistente e aderente e de bom comportamento em agentes agressivos, além de terem um processo de transição vítrea e de rigidez rápidos, mantendo suas características básicas.

A Resina utilizada na execução dos reparos da fundação do prédio em análise estão dentro dos valores mais comumente usados, 50MPa (resistência à compressão) e 25MPa (resistência à tração), após 10 dias, sendo aumentada ao longo do tempo.

As resinas aplicadas nos 16 blocos de fundação foram através de bombas injetoras de pressão monocomponente, por meio de bicos de perfuração fixados nas laterais das fissuras.

Figura 04 – Bicos de Perfuração Para Injeção de Resina



Fonte: Autor (2022)

Foram abertas as fissuras para limpeza e retirada de partículas soltas, poeiras, óleos e outros agentes contaminantes por meio de um jateamento de ar comprimido seco; após a retirada de todo este material foram seladas as fissuras superficialmente com graute (argamassa de alta resistência); os bicos foram fixados nos furos ao lado das fissuras, alternadamente, com uma distância de 15 cm a 20 cm entre eles, em furos de 8 a 12mm de diâmetro com inclinação de 45° em direção às fissuras, ao longo de toda a sua extensão.

Tabela 04 – Quantidade de Fissuras Tratadas

BLOCO	FISSURAS (m)
1	86,46
2	71,53
3	114,75
4	141,49
5	302,7
6	75,8
7	150,3
08+10	737,5
9	652,42
11	61,7
12	72,38
13	97,93
14	101,39
15	62,99
16	42,46
17	214,36
TOTAL DE FISSURAS	2986,16

Fonte: Autor (2024)

Figura 05 – Fixação dos Bicos de Perfuração nos Blocos



Fonte: Autor (2022)

Após 8h de cura da selagem das fissuras e de fixação dos bicos iniciou-se a mistura dos produtos pré-dosados da embalagem (componente A + B) manualmente (3

minutos), tendo cuidado para não elevar a temperatura da mistura causando endurecimento do produto, levando em consideração a vida útil da mistura (Pot Life = 20 minutos a 20°C), tornando-a em um material homogêneo para início da aplicação.

O produto foi injetado nas fissuras por meio de bombas injetoras elétricas mono-componente e com pressão de injeção mínima de 100 Bar (equivalente a cerca de 10 Mpa), começando a injeção das fissuras de baixo para cima na peça estrutural; quando a resina injetada afluía no bico adjacente era vedado o bico da aplicação. Após 24h de aplicação das resinas removeram-se todos os bicos e foi realizado o apicoamento em todas as laterais dos blocos de fundação para fixação de ferragens de reforço e aumento das seções dos blocos.

Figura 06 – Injeção de Resina Epóxi nos Blocos



Fonte: Autor (2022)

Tabela 05 – Quantidade de Resina Aplicada por Bloco de Fundação

BLOCO	Quantidade de Injetada (Kg)
BP01	24,00
BP02	33,00
BP03	74,00
BP04	54,00
BP05	138,00
BP06	37,00
BP07	57,00
BP08+10	211,00
BP09	342,00
BP11	31,00
BP12	37,00
BP13	43,00
BP14	41,00
BP15	44,00

BP16	33,00
BP17	109,00
TOTAL GERAL	1.308,00 Kg

Fonte: Autor (2024)

Tabela 06 - Quantidade total de bicos de perfuração fixados por bloco de fundação

BLOCO	Quantidade De Bicos de Perfuração (und)
BP01	230
BP02	291
BP03	501
BP04	457
BP05	762
BP06	323
BP07	565
BP08+10	2658
BP09	2925
BP11	298
BP12	403
BP13	587
BP14	595
BP15	407
BP16	279
BP17	1090
TOTAL GERAL	12.371 Und

Fonte: Autor (2024)

Foram analisadas as técnicas empregadas na recuperação e monolitização dos 16 blocos de fundações. Por meio desta análise constatamos que, nesta obra, para execução em 2986,16 m de fissuras tratadas, o consumo total de resina epóxi foi de 1308 Kg, fazendo uma média de resina epóxi de aproximadamente 0,45 Kg/m; e a quantidade total de bicos de perfuração utilizados para preenchimento das fissuras foram 12.371,00 unidades, o que dá aproximadamente o uso de 4,50 bicos/m.

A princípio, a obra foi orçada em R\$ 1.240.000,00 (um milhão, duzentos e quarenta mil reais), com um prazo total previsto de cinco meses. Com a pandemia da COVID-19, a obra foi concluída em doze meses. O valor final totalizou R\$ 1.727.228,42 (um milhão, setecentos e vinte e sete mil, duzentos e vinte e oito reais e quarenta e dois centavos), em razão da inclusão de serviços aditivos ao contrato inicial.

A obra em análise utilizou dois sistemas para os reparos dos blocos de fundação: a monolitização e o reforço estrutural, por meio do encamisamento dos blocos de fundação com aumento da estrutura. Caso fosse utilizado apenas o sistema de injeção de resina epóxi, sem o encamisamento, o custo da obra seria de aproximadamente R\$ 1.270.000,00 (um milhão, duzentos e setenta mil reais). Por outro lado, caso fosse realizado apenas o encamisamento, sem a injeção de resina epóxi, o valor estimado da obra seria de aproximadamente R\$ 1.540.000,00 (um milhão, quinhentos e quarenta mil reais).

No entanto, por decisão do projetista da obra, foram empregadas ambas as técnicas, combinando a monolitização com o encamisamento, garantindo maior eficiência estrutural.

7. CONSIDERAÇÕES

Existe uma norma europeia que estabelece requisitos técnicos para produtos, sistemas e métodos utilizados na reparação e proteção de estruturas de concreto armado e no tratamento de fissuras, incluindo a monolitização das estruturas. Trata-se da norma europeia EN 1504 — Produtos e Sistemas para Recuperação e Proteção de Estruturas de Concreto.

No Brasil, ainda carecemos de normas técnicas adequadas relativas aos sistemas de recuperação e proteção de estruturas de concreto. Não há regulamentações específicas para os projetos de recuperação e reforço de estruturas, embora existam teorias normativas que possibilitem a concepção de soluções. Contudo, existe uma vasta experiência acumulada em soluções mais adequadas, tanto técnica quanto economicamente, nas normas europeias vigentes há muitos anos, inclusive nos aspectos de segurança para novos usos.

Os trabalhos de reforço e recuperação estrutural são conduzidos sob a responsabilidade do projetista estrutural convencional, que possui amplo conhecimento das propriedades mecânicas e térmicas dos novos concretos. Contudo, seu entendimento sobre propriedades químicas, eletroquímicas e outros aspectos relacionados à ciência e engenharia dos materiais, especialmente à engenharia de corrosão, tende a ser limitado. Esta última, frequentemente presente em obras antigas, é um dos principais desafios para garantir a nova vida útil das estruturas atualmente exigidas. Sem uma normatização adequada, cada empresa executa os serviços conforme seus próprios critérios, sem padronização de materiais e/ou procedimentos.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA JUNIOR, W. **Utilização de sistema de injeção para a recomposição estrutural e tratamento de infiltrações das estruturas de concreto de usinas hidroelétricas**. In: ANAIS DO XXV SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS. Salvador. 2003. Rio de Janeiro: COMINTÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS - CBDB, 2003. Disponível em: <http://www.cbdb.org.br/documentos/site/92/9222.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2024.
- ANDRADE, T.W. **Curso sobre Reação Álcali – Agregado**. Recife, 2007.
- ANDRADE, T.; SILVA, J.J.R.; OLIVEIRA, R.A.; FIGUEIRÔA, J.P.; KIHARA, Y.; PECHIO, M. **Diagnóstico de Reação Álcali-Agregado em blocos de fundação de um edifício público situado na cidade do Recife/PE**. In: II Simpósio sobre Reatividade Álcali-Agregado em Estruturas de Concreto. 48o CBC, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro, IBRACON, 2006.
- ANDRIOLO, F.R. **Ensaio para avaliação da potencialidade dos materiais quanto à reação álcali-agregado e ações decorrentes**. In: Simpósio sobre RAA em estruturas de concreto, Goiânia, Anais...Goiânia, IBRACON, 1997a, p.35-43.
- ANDRIOLO, F.R. **AAR Dams affected in Brazil – Report on the Current Situation**. In: **International Conference on Alkali-aggregate Reaction in Concrete**, 11. pp. 1243- 1252, Québec, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118 – Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado**, 2014.
- AUGUSTO PIANEZZER, G.; GRAMANI, L. M.; KAVISKI, E. **Evolução das propriedades efetivas do concreto sob ação da reação álcali-sílica**. "Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería", 2019, vol. 35, núm. 1.
- BENEVOLO, Leonardo. **História da Arquitetura Moderna**. São Paulo, Perspectiva, 1976.
- CASTRO, R. B. et al. **A Evolução do Concreto Armado e Seu Impacto na Construção Civil**. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 15, n. 3, 2019. Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br>. Acesso em: 16 jan. 2025.
- CUNHA, Carlos Alberto. **Estruturas de Concreto Armado: Análise e Projeto**. 2. ed. Porto Alegre: Editora Técnica, 2018.
- FARIAS, Othon J.; PINTO, Sílvio. **Estruturas de Concreto Armado**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Técnica, 2016.

FIGUEIREDO, ENIO PAZINI. **Efeitos da carbonatação e de cloretos no concreto, Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**, IBRACON, Cap. 27, p.829 – 855, V. 2, ed. Geraldo C. Isaia, São Paulo. 2005.

FIGUEIRÔA, J. P.; ANDRADE, T. W. **O ataque da Reação Álcali – Agregado sobre estruturas de concreto**. Recife: Editora Universitária, UFPE, 2007.
KARNOPP, Diógenes; FREIRE, João de G. L. **Estruturas de concreto armado**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

MEDEIROS, A. G. de; SÁ, M. das V. V. A. de; SILVA FILHO, J. N. da; ANJOS, M. A. S. dos. **Aplicação de metodologias de inspeção em ponte de concreto armado**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 687-702, jul./set. 2020. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.
<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000300453>

MENDES, Marcos A. **Durabilidade do Concreto em Ambientes Agressivos**. São Paulo: Editora Engenharia, 2017.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. **Agregados Minerais Para Construção Civil: Areia, Brita e Cascalho**. Disponível em: http://www.pormin.gov.br/informacoes/arquivo/agregados_minerais_propiedades_aplicabilidade_ocorrencias.pdf. Acesso em: 10 jun. 2014.

NETO, Sérgio F. S. **Introdução ao concreto armado: conceitos e aplicação**. São Paulo: Editora Pini, 2016.

GUSMÃO, A. D.; TEIXEIRA, D. C. L.; ANDRADE FILHO, J. C.; VITORIO, J. A. P.; OLIVEIRA, R. A.. **Laudo Técnico sobre as Causas do Desabamento do Edf. Areia Branca**. Recife, CRE-PE, 2005.

PEREIRA, FERNANDA MACEDO, PAULO CÉSAR PEREIRA DAS NEVES, DENISE MARIA LENZ, AND JOSÉ CARLOS KRAUSE DE VERNEY. **Avaliação Da Reatividade Potencial De Rochas Utilizadas Como Agregados Na Construção Civil No Estado Do Rio Grande Do Sul**. *Matéria* 23.3 (2018): Matéria, 2018, Vol.23 (3). Web.

Pós. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura Urbanismo da FAUUSP**, 2022, Vol.29 (54), p.e176921.

PRISZKULNIK, S. **Inspeção e Diagnostico de Estruturas de Concreto Afetadas pelas Reações Cimento-Agregado**. Concreto Ensino, Pesquisas e Realizações. Geraldo C. Isaia (Editor). IBRACON. São Paulo – 2005.

Ribeiro, D. V., Rey, R. O. (2019), **Avaliação dos agregados utilizados na região metropolitana de Salvador quanto à ocorrência de Reatividade Álcalis - Agregado (RAA)**. Revista ALCONPAT, 9 (2), pp. 185 –199, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v9i2.326>

SANTOS, B.; INTERLANDI, C. **Estruturas de Concreto Armado Patologias e suas Consequências Estudo de Caso**. Engenharia Estudo e Pesquisa, ABPE, v.

16, n. 2, p.40- 47, jul./dez. 2016. Disponível em: www.revistaeep.com/imagens/volume16_02/cap05.pdf. Acesso em: 09/05/2019. p 41.

SILVA, P.N. **Curso sobre reação Álcali-Agregado**. Recife, 2007a.

SILVA, P.N. **Reação Álcali-Agregado nas Usinas Hidrelétricas do Complexo Paulo Afonso / CHESF. Influência da reação nas propriedades do concreto**. São Paulo, 2007b, 220p. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica / USP, 2007b.

SILVEIRA, J.F.A. **A expansão do concreto em barragens afetadas pela RAA e a importância das tensões confinantes**. In: Simpósio Sobre RAA em Estruturas de Concreto, Goiânia. Anais... Goiânia, IBRACON, 1977, p. 285-291.

SOUZA, V. C. M, RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 2009.

SOUZA JÚNIOR, Tarley Ferreira de. **ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: Notas de Aula**. Lavras: Instituto Federal do Rio Grande do Norte. Páginas 23. Disponível em : <https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/apostila-concreto>. Acesso em: 18 de nov. 2023.