

## **ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E METODOLOGIAS DE INTERVENÇÕES EMPREGADAS NA RECUPERAÇÃO DO ESTÁDIO GOVERNADOR MAGALHÃES PINTO**

*CASE STUDY: ANALYSIS OF THE PATHOLOGICAL MANIFESTATIONS AND METHODOLOGIES OF INTERVENTIONS USED IN THE RECOVERY OF THE GOVERNADOR MAGALHÃES PINTO STADIUM*

**Luisa Batalha Ribeiro**

Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais  
batalha.luisa@gmail.com

**Antônio Neves de Carvalho Júnior**

Prof. Dr., Universidade Federal de Minas Gerais  
ancj@ufmg.br

### **RESUMO**

A patologia das construções é o ramo da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas, as origens e as consequências das deficiências das construções. As manifestações patológicas em uma estrutura tendem a agravar-se com o tempo, fazendo-se necessária a realização do diagnóstico o quanto antes para se recomendar a terapia necessária e se dar ao início o processo de recuperação. O diagnóstico é feito através do mapeamento dos sintomas, análise dos dados, estudos primários e realização de ensaios. Associado ao tratamento das anomalias, deve-se sempre recomendar um plano de manutenção preventivo. No presente trabalho, realiza-se um estudo de caso a respeito das inspeções realizadas e intervenções recomendadas no Estádio Governador Magalhães Pinto, nos anos de 2008 e 2009.

**Palavras - chave:** Manifestações patológicas. Recuperação. Terapia. Manutenção.

### **ABSTRACT**

The pathology of construction studies the symptoms, mechanisms, causes, origins and consequences from civil constructions effects. The pathological problems in the structures tend to get worse over time, so, it is necessary perform a diagnostic as soon as possible, recommend the best therapy and begin the recovery process. The diagnostic is performed after analyzing the map of symptoms, data, primary studies and tests. A preventive maintenance plan should always be associated with the treatment of anomalies. This article presents a study about the inspections and interventions recommended to recovery the Governador Magalhães Pinto Stadium, performed between the years 2008 and 2009.

**Keyword:** Pathology. Recovery. Therapy. Maintenance.

## **1 INTRODUÇÃO**

As estruturas de concreto armado são, certamente, as mais empregadas no Brasil. O crescimento acelerado da construção civil fez com que muitos riscos fossem assumidos na utilização desse tipo de material. Juntamente com este crescimento surgiram inúmeros problemas relacionados às manifestações patológicas das estruturas, fazendo com que sua vida útil fosse reduzida e sua funcionalidade afetada.

Para a realização de obras de recuperação, faz-se necessário um reconhecimento de todas as manifestações patológicas encontradas na estrutura, com posteriores quantificações, medições e avaliações de sua evolução ao longo do tempo. É importante conhecer todos os dados já disponíveis como o reconhecimento dos materiais utilizados em sua construção, análise de projetos anteriores e detalhes específicos. Muitas vezes as informações disponíveis são insuficientes, recomenda-se então a realização de ensaios que permitam uma melhor definição da dimensão e causa dos sintomas apresentados com o objetivo de desenvolver o projeto mais adequado estruturalmente e viável economicamente à situação imposta.

## **2 ESTUDO DE CASO**

Este estudo de caso tem o objetivo de analisar os serviços de prospecções realizados nos anos de 2008 e 2009 que tiveram o objetivo de avaliar o real estado das estruturas de concreto do Estádio Governador Magalhães Pinto, o Mineirão, inserido em uma região com classe de agressividade II, segundo a ABNT NBR 6118:2004.

### **2.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS DA INSPEÇÃO VISUAL NOS PRINCIPAIS ELEMENTOS DO MINEIRÃO**

#### **2.1.1 Pilares externos**

Os pilares externos são elementos que sustentam boa parte da estrutura, eles apresentaram proteção por pintura hidrofugante a base de silano/siloxano na sua superfície de concreto, transparente e com pouco brilho. Observou-se regiões de destacamentos de concreto com evolução para armaduras expostas. Algumas das armaduras encontravam-se em processo de corrosão. Detectou-se também a presença de ninhos de brita, ou seja, uma segregação dos elementos componentes do concreto, esse tipo de anomalia se manifesta devido a ocorrência de lançamento inadequado do concreto ou fuga do material pastoso por aberturas nas formas.

### **2.1.2 Vigas de cobertura**

As vigas de cobertura são elementos de prolongamento dos pilares externos, elas sustentam as lajes de cobertura e em sua maioria apresentaram pintura de proteção a base de polímeros. Identificaram-se, áreas de destacamentos de concreto e armaduras expostas em processo de corrosão. A maioria das manifestações de armaduras expostas ocorreram devido ao baixo cobrimento das barras de aço.

### **2.1.3 Lajes da cobertura**

Nem toda a face superior das lajes de cobertura apresentou proteção mecânica. Nos setores onde as lajes se encontravam desprovidas de proteção, detectaram-se regiões com armaduras expostas em processo de corrosão, resultantes da fina camada de cobrimento. Já na face superior das lajes que apresentaram proteção mecânica, detectou-se a ausência de sistemas de impermeabilização entre as lajes e a capa de revestimento. A pintura de proteção presente nesses elementos é de base betuminosa, apenas sobre o revestimento.

Na face inferior das lajes também observou-se baixo cobrimento, resultando em armaduras expostas em processo de corrosão. Esse tipo de anomalia se manifestou em sua maioria nas extremidades da laje e em torno das juntas de dilatação. Detectou-se também pontos de fissuras e vestígios de infiltrações.

### **2.1.4 Vigas-parede**

As vigas-parede são os elementos de interligação dos pilares externos. Detectou-se nesses elementos a presença de fissuras com eflorescências, que são manifestações patológicas resultantes da lixiviação dos sais componentes do concreto para a superfície.

As fissuras presentes em fachadas podem permitir a passagem de água, luz, poeira, entre outros fatores. A interferência desses fatores na estrutura pode alterar de maneira significativa sua resistência e durabilidade. A Figura 1 demonstra a situação das vigas-parede.

Figura 1: Situação das vigas-parede.



Fonte: Empresa responsável pela recuperação.

Além disso, observou-se nessas vigas a presença de armaduras expostas por baixo cobrimento ou resultantes de regiões de destacamentos de concreto e pontos de segregação de concreto.

### **2.1.5 Vigas-guarda corpo**

As vigas-guarda corpo estão localizadas abaixo das vigas-parede, por isso, observou-se uma situação quanto a durabilidade bem semelhante entre esses elementos, segregação do concreto e armaduras expostas em corrosão por baixo cobrimento e devido aos destacamentos de concreto.

### **2.1.6 Lajes de arquibancada e geral**

De modo geral, a face inferior das lajes de arquibancada e geral encontrava-se em bom estado de conservação por estarem inseridos em uma localidade interna. Observou-se apenas a presença de pontos isolados de armaduras expostas.

Já na face superior, detectou-se a utilização de argamassa para regularização nas faces horizontais, essa argamassa apresentava trincas e destacamentos do piso original em concreto. A Figura 2 ilustra essa situação. Encontraram-se nas faces verticais das lajes de arquibancada a presença de armaduras expostas em processo corrosivo devido ao baixo cobrimento das barras de aço e devido à destacamentos de concreto.

Detectou-se nas juntas de dilatação entre as lajes a presença de selo impermeabilizante com diversos pontos com falhas e algumas regiões com completa ausência de impermeabilização.

Figura 2: Situação da face horizontal das lajes de arquibancada.



Fonte: Empresa responsável pela recuperação.

## 2.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS

### 2.2.1 Medição das espessuras das camadas de cobrimento das armaduras

A medição da camada de cobrimento é feita através de um ensaio com aparelho de uso manual, que detecta metais com alta precisão por meio de sensores eletromagnéticos.

A Tabela 1 apresenta os resultados das medianas das espessuras de cobrimento dos diferentes elementos que compõem a estrutura do Estádio Mineirão.

Tabela 1: Espessura de cobrimento das armaduras.

<b>Elemento estrutural</b>	<b>Cobrimento (mm)</b>
Pilares externos	26,5
Vigas de cobertura	16,9
Lajes de cobertura	10,6
Vigas-parede	22,3
Vigas-guarda corpo	25,5

Fonte: Adaptado dos resultados obtidos pela empresa responsável pela recuperação.

Observou-se uma falta de uniformidade entre os resultados obtidos nos diferentes elementos. Os menores resultados foram encontrados nas lajes e vigas de cobertura, enquanto os maiores resultados foram encontrados nas vigas-guarda corpo e nos pilares externos.

De acordo com o que preconiza a Norma Brasileira em vigor ABNT NBR 6118 o cobrimento nominal mínimo para estruturas inseridas em ambiente com classe de agressividade II, que é o caso do estádio, é de 25 milímetros para lajes em concreto armado e 30 milímetros para vigas e pilares em concreto armado.

Observa-se que mesmo os elementos que apresentaram valores de espessura de cobrimento mais altos, ainda se encontram fora dos parâmetros estabelecidos pela norma,

esses valores explicam a grande ocorrência de armaduras expostas generalizadas em toda a estrutura.

### 2.2.2 Avaliação da homogeneidade do concreto através do aparelho de ultrassom

O ensaio de ultrassom possibilita a verificação das condições internas da estrutura, no Mineirão, estes ensaios foram realizados nas regiões com maiores solicitações de carga com o objetivo de verificar a existência de descontinuidades no concreto. Consideraram-se satisfatórios os resultados obtidos nos elementos do estádio.

### 2.2.3 Avaliação da corrosão das armaduras por técnicas eletroquímicas (GECOR)

O ensaio para a avaliação da corrosão das armaduras consiste na utilização de um aparelho que aplica uma pequena corrente de polarização da armadura e quantifica a resistência à polarização do metal.

Os valores obtidos nos ensaios de Potencial de Corrosão e Resistividade indicaram um baixo índice de probabilidade de corrosão (em torno de 5%), tornando-se dessa forma o risco de corrosão desprezível. Apesar dos valores favoráveis obtidos, o ensaio de determinação da taxa de corrosão indicou a evolução da corrosão nos elementos estruturais com velocidade baixa à moderada.

### 2.2.4 Medição da profundidade da carbonatação

O ensaio de medição da frente de carbonatação consiste na visualização da alteração do pH do concreto de cobertura. Na realização do ensaio limpa-se o corpo de prova a ser utilizado e faz-se a aspersão de uma solução indicadora de pH, usualmente a fenolftaleína ou a timolftaleína.

A Tabela 2 representa as medianas dos resultados da profundidade de carbonatação nos elementos do Estádio Mineirão.

Tabela 2: Profundidade de carbonatação por elementos.

<b>Elemento estrutural</b>	<b>Carbonatação (mm)</b>
Pilares externos	10
Vigas de cobertura	0
Lajes de cobertura	0
Vigas-parede	10
Vigas-guarda corpo	10

Fonte: Adaptado dos resultados obtidos pela empresa responsável pela recuperação.

Observa-se que a mediana dos resultados de profundidade de carbonatação para os pilares externos, vigas-parede e vigas-guarda corpo é de 10 milímetros, enquanto a viga de cobertura e a laje de cobertura é de zero milímetros.

O fato dos elementos de cobertura não apresentarem profundidade de carbonatação deve-se à existência de revestimento ou pintura de proteção nas regiões ensaiadas. É natural que ensaios realizados em áreas revestidas apresentem resultados que caminhem para a nulidade, uma vez que produtos de revestimentos formam uma barreira contra a carbonatação e outros vários mecanismos de degradação do concreto. Nas regiões das lajes e vigas de cobertura desprovidas de proteção mecânica os resultados acompanharam a mediana dos demais elementos.

### **2.2.5 Ensaios de resistência à compressão axial, módulo de elasticidade e teor de cloretos e sulfatos.**

Ensaios desse tipo são de extrema importância para subsidiar informações para possíveis futuros projetos de reforço da estrutura.

Para o ensaio de resistência à compressão axial, o testemunho é levado até uma máquina que, através de uma prensa, exerce uma força gradual de compressão até que ele se rompa. De acordo com a investigação de projetos iniciais da construção da estrutura do Estádio Mineirão, a resistência do concreto à compressão era estabelecido em 18 MPa. Em análise dos resultados dos ensaios atuais, a mediana dos resultados indica que pode-se considerar como resistência média à compressão axial o valor de 38,4 MPa, ou seja, um valor em torno de 113% maior do que o previsto em projeto.

O objetivo do ensaio de módulo de elasticidade é verificar o nível atual do módulo de a mediana dos resultados obtidos indica que pode-se considerar como módulo de elasticidade médio dos elementos do Mineirão o valor de 28,2 GPa.

O objetivo do ensaio de verificação do teor de cloretos e sulfatos é identificar o teor desses elementos incorporados nas estruturas de concreto do estádio, analisando se as quantidades observadas podem causar possíveis interferências em sua durabilidade. Com os resultados obtidos, descartou-se as possibilidades de contaminação da estrutura.

## **2.3 PREVISÃO DA VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO**

Para a realização da previsão da vida útil das estruturas de concreto escolheu-se um método no qual a velocidade de carbonatação é proporcional à raiz quadrada do tempo. O

resultado da previsão da vida útil é o período de tempo necessário para que toda a camada de cobrimento da armadura seja carbonatada.

O tempo de exposição da estrutura considerado foi de 44 anos, levando em consideração que o ano de 1965 é o ano zero.

A Tabela 3 representa o tempo da vida útil dos elementos encontrados através da análise realizada.

Tabela 3: Previsão da vida útil dos elementos da estrutura.

<b>Elemento estrutural</b>	<b>Previsão da vida útil (anos)</b>
Pilares externos	155
Vigas de cobertura	63
Lajes de cobertura	50
Vigas-parede	110
Vigas-guarda corpo	143

Fonte: Adaptado dos resultados obtidos pela empresa responsável pela recuperação.

Analisando-se a situação apresentada, percebe-se que as vigas e lajes de cobertura apresentaram os menores valores de previsão da vida útil do concreto, uma vez que a análise desses elementos foram realizadas em regiões desprovidas de revestimento.

As lajes de cobertura apresentaram como tempo de previsão de vida útil apenas 50 anos, sabendo-se que a data zero considerada foi o ano de 1965, na data do presente estudo de caso essas armaduras já teriam encerrado a sua vida útil há dois anos. Mas, realizou-se o estudo para previsão da vida útil do concreto das estruturas com base nos dados recolhidos nos anos de 2008 e 2009, considerando-se que nenhum dos elementos sofreriam qualquer tipo de intervenção durante os anos que se seguissem.

Sabe-se que o Estádio Mineirão sofreu uma série intervenções para recuperação e melhorias com o objetivo adequar-se à Copa do Mundo de Futebol de 2014. Além disso, é importante ressaltar que o término da vida útil de projeto não significa o colapso da estrutura, e sim que os elementos de concreto entrarão em início de corrosão.

## **2.4 PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES PARA A RECUPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DA ESTRUTURA**

Com o objetivo de prolongar a vida útil do Estádio Mineirão através da recuperação e proteção dos seus elementos estruturais, recomendou-se uma série de terapias a serem adotadas de imediato para eliminar as anomalias existentes. Tais terapias devem ser

associadas às manutenções previstas da estrutura e à posteriores inspeções periódicas e suas implicações de possíveis intervenções fora do cronograma.

Todas as superfícies expostas, internas e externas, devem ser lixadas para remoção integral da pintura, revestimentos, desmoldantes antigos e contaminações. Posterior ao lixamento, deve-se hidrojatear todas as superfícies expostas para remoção de poeira e resíduos remanescentes.

As áreas com armaduras expostas, segregações e destacamentos de concreto devem ser tratadas com o processo de remoção do concreto de toda a área deteriorada com posterior limpeza e pintura das armaduras e fechamento da região com argamassa polimérica.

Para as fissuras encontradas nas vigas-parede e nas lajes, recomenda-se preenchimento com injeção de poliuretano flexível, esse tipo de material é altamente indicado para regiões com infiltrações.

Nas áreas do piso identificadas com destacamentos da argamassa de nivelamento, recomenda-se remoção total e reconstrução com argamassa de cimento. Ainda nas arquibancadas, deve-se aplicar uma membrana de poliuréia, um material impermeabilizante bicomponente que apresenta resistência química. Essa membrana também deve ser aplicada nas áreas comuns de circulação, como halls e corredores, aliada à uma superfície antiderrapante.

Deve-se impermeabilizar a laje de cobertura com manta de PVC, que possui elevada resistência química. As selagens da junta de dilatação da laje e das arquibancadas devem ser removidas e reconstituídas com reforço de borda.

Inibidores de corrosão devem ser aplicados em todas as superfícies expostas. Posteriormente, aplica-se estuque de argamassa cimentícia em todas as superfícies, exceto nas arquibancadas e na laje de cobertura que receberam recomendação de outro revestimento. O estuque tem o objetivo de regularização das superfícies através do preenchimento de bolhas e de pequenas cavidades.

Por fim, deve-se aplicar um revestimento protetor em todas as superfícies, exceto nas arquibancadas e nas lajes de cobertura. Lembrando-se que o Estádio Mineirão é um monumento tombado, portanto, o revestimento aplicado deve ser transparente, de forma a manter a fachada em concreto aparente.

### 3 CONCLUSÃO

Por desconhecimento técnico e divergências dos parâmetros da época de construção do estádio com os atuais, constatou-se que muitas falhas construtivas foram cometidas, tais falhas foram responsáveis pela geração de grande parte das anomalias encontradas. De modo geral, os elementos componentes da estrutura apresentaram manifestações patológicas muito semelhantes entre si, como destacamentos e segregações de concreto, regiões com infiltrações e a presença de armaduras expostas, sobretudo resultantes de uma baixa camada de cobrimento das barras de aço.

Encontraram-se poucas anomalias que afetassem a funcionalidade da estrutura, em sua maioria, afetavam apenas a durabilidade, constatando-se que nenhuma delas interferia estruturalmente na estabilidade do estádio. Como a estrutura de estudo encontra-se em uma região com pouca agressividade ambiental, as manifestações patológicas observadas não evoluíram de forma agressiva, chegou-se então à conclusão de que todos os elementos com anomalias eram passíveis de recuperação.

Realizou-se uma análise sobre a previsão da vida útil e sabendo-se que o Estádio Mineirão sofreu uma série de intervenções para adequações da Copa do Mundo de Futebol de 2014, entende-se o porquê de tais estruturas estarem atualmente em bom estado de conservação.

Por fim, analisou-se e descreveu-se terapias adequadas para a recuperação da estrutura, tais terapias devem associar-se à manutenções previstas, inspeções periódicas e possíveis intervenções extraordinárias, de modo à manter a integridade e funcionalidade do Estádio Mineirão ao longo dos anos.

### REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto- Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo: Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1988.

HELENE, P.. **A Nova NBR 6118 e a Vida Útil das Estruturas de Concreto**. In: II Seminário de Patologia das Construções. 2004, Porto Alegre. Novos Materiais e Tecnologias Emergentes. Porto Alegre: LEME.UFRGS, 2004. v.1.

ANDRADE, M. D. C. P. **Manual diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**; tradução e adaptação: Antônio Carmona e Paulo Helene. São Paulo: Pini: 1992.

SOUZA, V. C. M. de; RIPPER, T.. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. Ed. São Paulo: Pini, 1985. 255 p. ISBN 85-7266-096-8.