

# **INSPEÇÃO PARA AVALIAÇÃO DO ESTADO DE UMA EDIFICAÇÃO DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO**

Vladimir José Ferrari (Universidade Estadual de Maringá) E-mail: vladimirjf@hotmail.com

**Resumo:** Uma edificação incendiada apresenta um cenário desolador e provoca impressões negativas. Entretanto, à luz da engenharia, a questão pode ser mais estética do que estrutural. Evidentemente, que a estrutura de concreto armado da edificação incendiada deve ser submetida a uma inspeção por profissional de engenharia para caracterizar as propriedades residuais da estrutura de concreto armado. Nesse sentido, casos de estruturas incendiadas, têm revelado ser mais comuns e recorrentes casos de intervenções corretivas de reabilitação do que a completa demolição da edificação. Isso é muito interessante pois tem caráter sustentável evitando-se a geração de grande volume de entulhos e gastos de energia para a construção de uma nova edificação no local. Nesse sentido, o artigo apresenta um estudo de caso realizado em uma edificação de concreto armado que foi alvo de incêndio ocorrido em meados de março de 2019. A edificação era usada como uma espécie de espaço cultural e o incêndio ocorreu de madrugada quando, felizmente, ninguém ocupava o espaço. O incêndio foi controlado pelo Corpo de Bombeiros, entretanto, não foi possível evitar o colapso de grande parte da cobertura e a perda total dos objetos que existiam no interior dos ambientes da edificação. Assim, o estudo tem por objetivo geral avaliar o estado atual da edificação por meio de inspeção da estrutura para indicar os danos existentes e se, porventura, os mesmos têm relação com o incêndio ocorrido. Para tanto, foram realizadas inspeções visuais e também foram realizados ensaios in loco. Os resultados obtidos mostram que o incêndio ocorrido foi de pequena intensidade e não resultou, portanto, em danos para a estrutura de concreto armado.

**Palavras-chave:** Estrutura, concreto armado, incêndio.

## **INSPECTION TO ASSESS THE CONDITION OF A REINFORCED CONCRETE BUILDING: CASE STUDY**

**Abstract:** A fire-damaged building presents a desolate scene and elicits negative impressions. However, in the light of engineering, the issue may be more aesthetic than structural. Clearly, the reinforced concrete structures of the fire-damaged building must undergo an inspection by a professional engineer to characterize the residual properties of the reinforced concrete structure. In this regard, cases of fire-damaged structures have proven to be more common and recurrent cases of corrective rehabilitation interventions than complete demolition of the building. This is very interesting because it has a sustainable character, avoiding the generation of a large volume of debris and energy expenditure for the construction of a new building on-site. In this sense, the article presents a case study conducted in a reinforced concrete building that was the target of a fire in mid-March 2019. The building was used as a kind of cultural space, and the fire occurred in the early morning when, fortunately, no one was occupying the space. The fire was controlled by the Fire Department; however, it was not possible to prevent the collapse of a large part of the roof and the total loss of the objects inside the building's premises. Thus, the study aims to evaluate the current state of the building through structural inspection to identify existing damage and whether they are related to the fire that occurred. To do so, visual inspections were carried out, and in situ tests were also conducted. The results obtained show that the fire that occurred was of low intensity and therefore did not result in damage to the reinforced concrete structure.

**Keywords:** Structure, reinforced concrete, fire.

### **1. Introdução**

Após um incidente caracterizado por incêndio uma das questões que se apresenta é se a edificação deve ser demolida ou se pode ser recuperada. A resposta está vinculada à atividade de inspeção para avaliar o estado da estrutura da edificação por meio de registro, caracterização e mapeamento dos danos provocados pelo incêndio.

Apesar do cenário de uma edificação incendiada ser desoladora e provocar impressões negativas, no entanto, à luz da engenharia, o problema pode ser mais estético do que estrutural. Evidentemente, como comentam Britez, Carvalho e Helene (2020), a

estrutura da edificação deve ser inspecionada por profissional de engenharia, especialista e qualificado, visando-se a caracterização das propriedades residuais da estrutura de concreto armado.

É difícil imaginar, em princípio, a decisão de demolição de uma estrutura de concreto armado que foi submetida a elevadas temperaturas procedente de um cenário de incêndio. A demolição pode ocorrer mais por comoção social ou por ausência de seguro do patrimônio. É mais comum e recorrente intervenções corretivas de reabilitação por reparos estruturais, desde que haja respaldo de uma perícia técnica detalhada, consentimento dos órgãos públicos correlatos e interesse do proprietário da edificação (Britez, Carvalho e Helene, 2020).

Segundo o que consta no item 5.7 da ABNT NBR 15200 (2012), norma brasileira que trata do tema de projeto de concreto em situação de incêndio, como são aceitos plastificações, ruínas e até colapsos locais, a estrutura somente pode ser reutilizada após um incêndio se for vistoriada, tiver sua capacidade remanescente verificada e sua recuperação for projetada e executada.

O item 5.8 da ABNT NBR 15200 (2012) destaca ainda que a verificação prevista pelo item 5.7 da mesma norma, pode eventualmente concluir que não existe necessidade de recuperação da estrutura, em casos em que o incêndio for de pequena severidade ou se a estrutura tiver proteção superabundante.

Diante do que foi exposto anteriormente, o presente artigo trata de um estudo de caso realizado em uma edificação de concreto armado que era ocupada com fins de um centro cultural de convivência e que foi alvo de um incêndio ocorrido na madrugada do mês de março do ano de 2019.

O incêndio, conforme registro realizado pelas câmeras de monitoramento espalhadas pelo local, teve início no interior da edificação e foi posteriormente controlado pelo Corpo de Bombeiros. Entretanto, ocorreu perda total dos objetos armazenados no interior da edificação e também o colapso de grande parte da cobertura da edificação que era formada por telhas de barro suportadas por uma estrutura de madeira.

Na Figura 1 tem-se o aspecto geral da edificação por meio de registro fotográfico realizado dias após o incêndio. Como se vê ocorreu colapso da região central da cobertura devido ao fogo ter consumido a estrutura de madeira que sustentava o telhado. O estudo tem por objetivo geral avaliar o estado atual da edificação por meio de inspeção da estrutura para identificar os danos existentes e se, porventura, os mesmos têm relação com o incêndio ocorrido. Para tanto, foram realizadas inspeções visuais e também foram realizados ensaios in loco.



Figura 1 – Aspecto geral da edificação após incêndio

Os resultados obtidos mostram que o incêndio ocorrido foi de pequena intensidade, não resultou, portanto, em danos para a estrutura de concreto armado. No entanto, o que se percebeu foi a existência de anomalias intrínsecas à própria estrutura de concreto armado. Essas anomalias devem ser reparadas visando-se a recuperação da edificação para que volte a ser novamente utilizada.

## 2. Dados do projeto da edificação

Na Figura 2 é indicada a Planta baixa do Projeto Arquitetônico da edificação que conta com paredes dispostas em formato hexagonal (Parede 1 a 6) e de uma parede interna (Parede 7) que divide a área nos ambientes 1 e 2, cada um com 22,70 m<sup>2</sup> de área construída. A área total da edificação corresponde a 82,64 m<sup>2</sup> e é composta por paredes de tijolos aparentes na face externa e na face interna as superfícies das paredes são revestidas com argamassa.

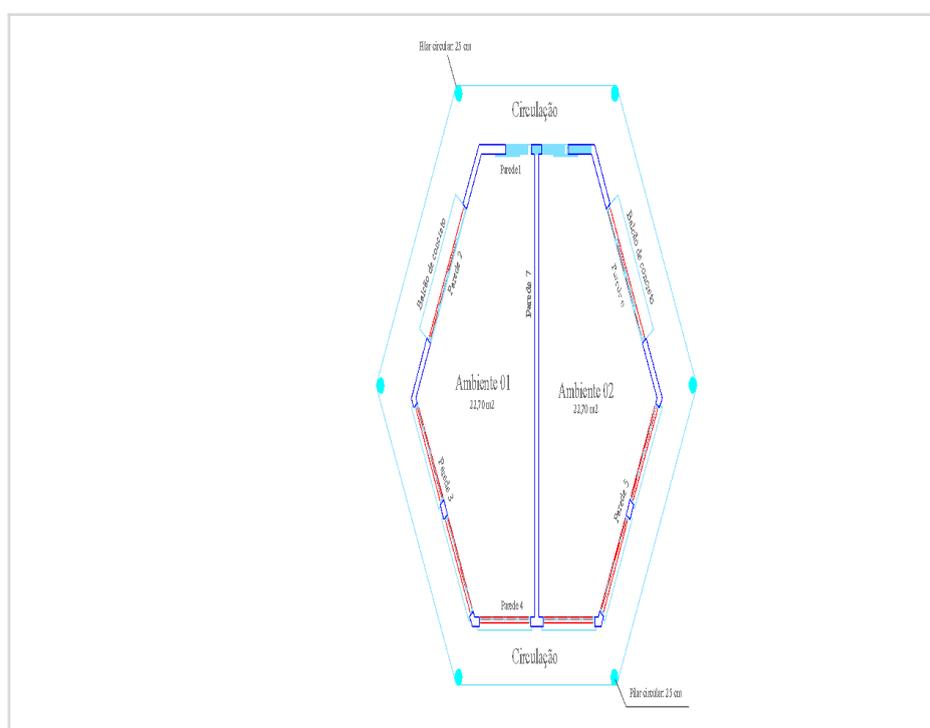


Figura 2 – Planta baixa da edificação conforme Projeto Arquitetônico

Na Figura 3 tem-se a indicação da Planta de fôrmas de vigas baldrames e da cobertura conforme Projeto estrutural da edificação. É possível visualizar o perímetro externo formado por seis pilares de concreto armado de seção circular com 25 cm de diâmetro (Pilares: P1 a P6). Os pilares P7 a P12 estão posicionados ao longo do perímetro interno formando as paredes do hexágono e, os pilares P13 a P16 estão alinhados junto a parede interna 7.

Na Cobertura existem 7 vigas (VR1 a VR7) posicionadas sobre as paredes e outras 6 vigas (VR8 a VR13) que compõem a estrutura hexagonal externa da edificação. Para efeito de nomenclatura, a estrutura de concreto armado formada pelas vigas e pelos pilares segue com a seguinte classificação:

- Pilares externos de seção circular: P1 a P6;
- Pilares de borda: P7 a P13 e P16;
- Pilares intermediários (ou de centro): P14 e P15.

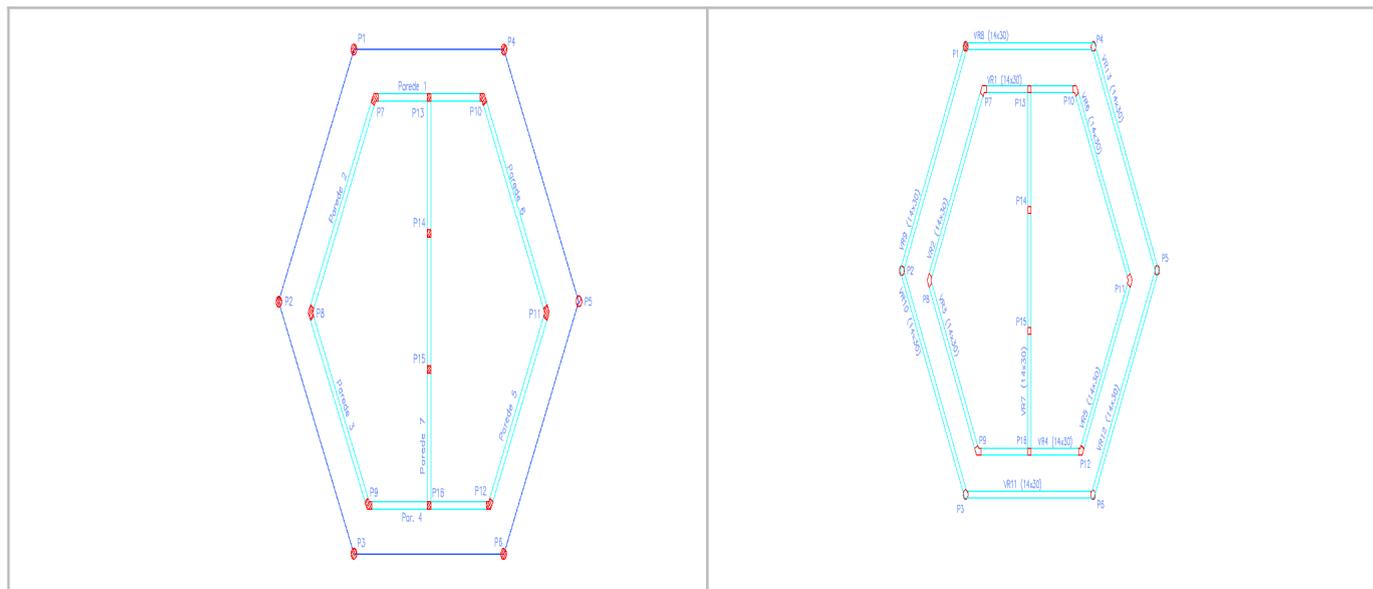


Figura 3 – Planta de fôrmas da edificação conforme Projeto estrutural (térreo e cobertura)

### 3. Inspeção preliminar

Quando da inspeção da edificação observou-se que toda a cobertura tinha sido removida bem como todo o revestimento argamassado das paredes internas (Figura 4).

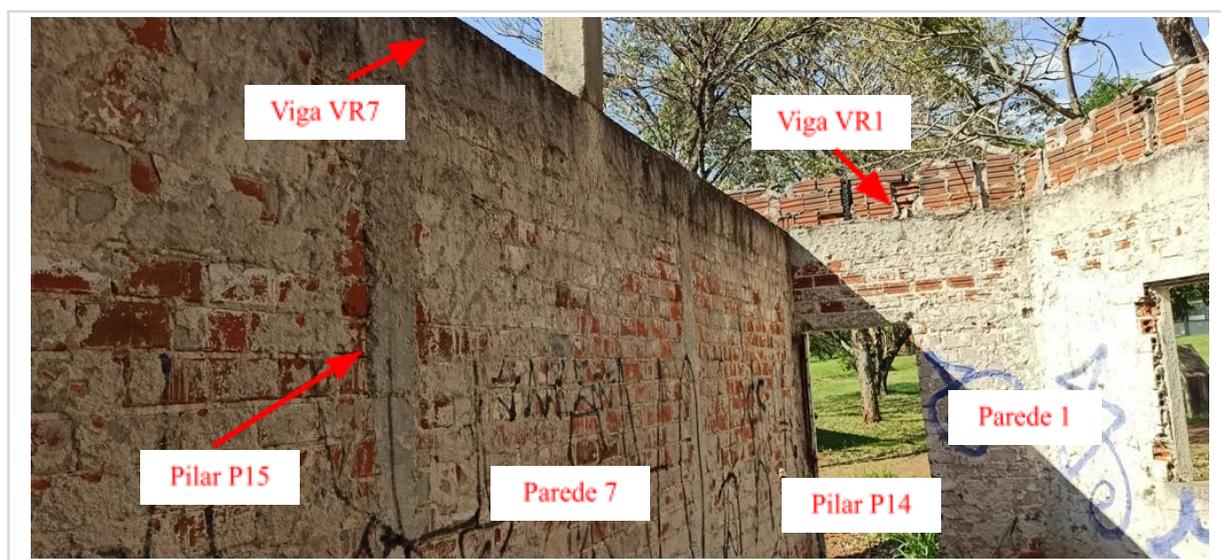


Figura 4 – Aspecto da superfície interna das paredes 1 e 7

Os elementos estruturais, vigas e pilares, foram inspecionados preliminarmente de forma visual e com uso de um martelo metálico para fins de registro de superfícies com som cavo diferenciado indicativo de deslocamentos (fenômeno típico em superfícies de concreto quando submetido a elevadas temperaturas). Na Tabela 1 são registrados os elementos estruturais da edificação em que foi observada a incidência de manifestação patológica conforme a inspeção preliminar realizada. Na Figura 5 tem-se o mapeamento das manifestações patológicas conforme o elemento de sua incidência.

Tabela 1 – Elementos estruturais da edificação e danos existentes conforme inspeção preliminar

Elementos	Nomenclatura	Danos
P1	A	Trincas verticais na direção do eixo do pilar: topo e base
P2	A	Trinca vertical na direção do eixo do pilar: topo
	B	Degradação da pasta de cimento de revestimento: topo, base e centro;
P3	A	Trinca vertical na direção do eixo do pilar: topo;
	B	Degradação da pasta de cimento: base;
	C	Mancha de bolor;
P5	A	Trinca vertical na direção do eixo do pilar: base;
P7	D	Corrosão da armadura: base até centro do pilar;
P9	A	Trinca vertical no concreto: base;
P10	A	Trinca vertical no concreto: base;
VR1, VR2 e VR6	E	Trinca horizontal na face superior lateral;
VR7	F*	Seccionamento da seção para passagem de dutos elétricos;
	G*	Estribo exposto;
VR8 e VR9	H	Corrosão da armadura inferior;

\*Classificada como irregularidade (não-conformidade) ao invés de manifestação patológica, pois a ocorrência não está vinculada com mecanismo de degradação.

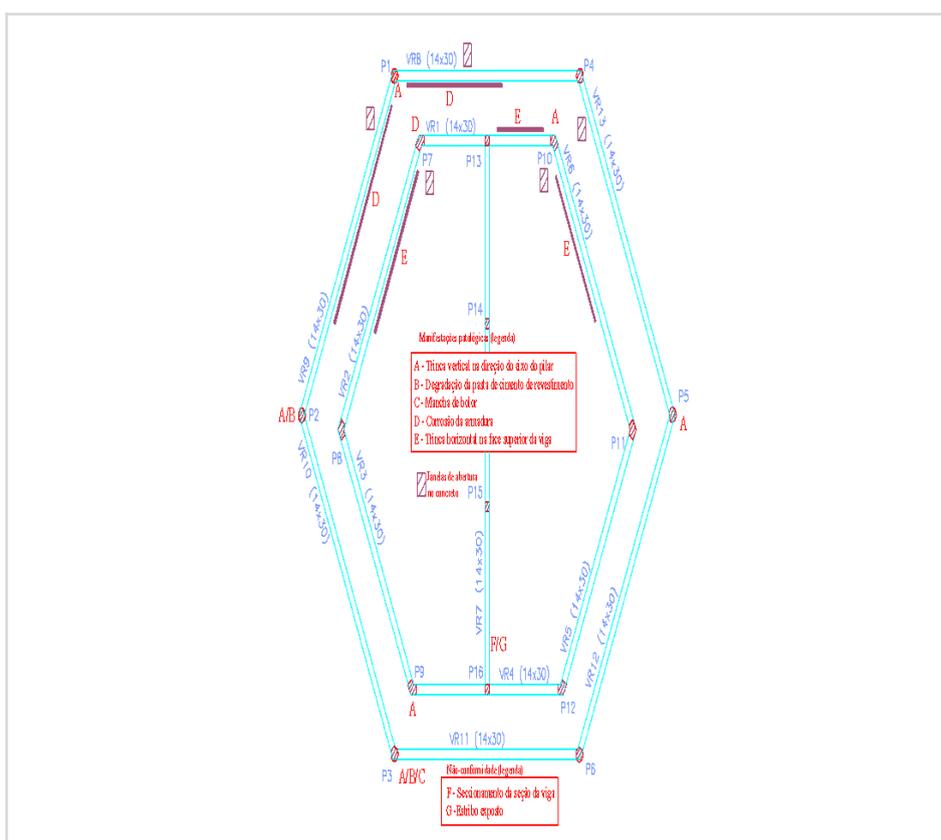


Figura 5 – Mapeamento das manifestações patológicas

Os pilares externos de seção circular e em concreto aparente (P1 a P6) foram inicialmente inspecionados (visual e com auxílio de martelo metálico) e os danos observados foram:

- Trinca vertical na direção do eixo dos pilares (Figura 6);

- Degradação da pasta de cimento de revestimento do pilar;
- Mancha acentuada de bolor;



Figura 6 – Trinca na direção do eixo do pilar P1

Pela inspeção dos pilares P7 a P16 constatou-se a existência de aço já exposto na base do pilar P7 por efeito de corrosão em estágio avançado (Figura 7) e também trinca vertical no concreto dos pilares P9 e P10, também indicativas de corrosão da armadura.



Figura 7 – Corrosão na armadura do pilar P7

Nas vigas da Cobertura as manifestações patológicas observadas foram:

- Presença de trinca horizontal na face superior das vigas: VR1 e VR2;
- Presença de trinca horizontal na face inferior lateral das vigas: VR8 e VR9;

A inspeção preliminar realizada possibilitou então, constatar que a estrutura de concreto armado da edificação (pilares e vigas) não tem sinais de danos relacionados com o incêndio ocorrido. Um dos sintomas comuns em concretos convencionais submetidos ao fogo (elevado gradiente térmico), segundo literaturas já consagradas como Abrams (1971) e Neville (1981), é a tendência de separação das camadas quentes da superfície por deslocamento das camadas mais frias do interior do elemento (esse tipo de deslocamento é conhecido por *spalling*).

O fenômeno de ocorrência de *spalling* é uma das principais manifestações do material concreto quando sob elevadas temperaturas (Britez, Carvalho e Helene, 2020). Pela inspeção preliminar nada foi observado com relação a ocorrência de deslocamento na superfície das vigas e dos pilares relacionados com a temperatura do fogo. O que, no entanto, observou-se foi a incidência de manifestações patológicas relacionadas com mecanismos de degradação do concreto como a corrosão da armadura.

Nesse sentido, procedeu-se com a etapa de inspeção detalhada para coleta de informações complementares para validação das conclusões prévias obtidas por meio da inspeção preliminar realizada.

#### 4. Inspeção detalhada

A inspeção detalhada foi caracterizada principalmente pela execução de janelas de aberturas no concreto das vigas VR6, VR9 e VR12, assim como também no concreto dos pilares P1 e P12 utilizando-se para tanto disco de corte acoplado a equipamento elétrico (demarcação do trecho), ponteira e marreta para a remoção do concreto. Os locais de execução das janelas de abertura nos elementos estruturais foram indicados por meio de legenda na Figura 5.

Na Figura 8 mostra-se o aspecto da superfície do pilar P1 antes e após a execução da janela de abertura. Como se vê, a trinca vertical na superfície do concreto coincide exatamente com a posição da barra de aço da armadura longitudinal existente. Foi constatada corrosão da barra de aço pela presença das crostas de ferrugem depositadas em todo o perímetro da barra e já provocando manchamento ferruginoso do concreto do entorno da barra.

Cascudo (1997) comenta que um quadro sintomatológico típico do fenômeno da corrosão das armaduras é formado por fissuras no concreto paralelas às armaduras, fragmentação e destacamento do cobrimento e lascamento do concreto em estágios avançados.



Figura 8 – Abertura de janela no pilar P1

A esclerometria foi utilizada como ensaio não destrutivo para fins de verificação da dureza do concreto dos pilares intermediários centrais P14 e P15. Esses pilares foram selecionados, primeiramente pelo posicionamento na estrutura (pilares de centro) e, segundo, por serem os pilares mais próximos ao foco onde ocorreu o incêndio.

A considerar que o método esclerométrico fornece informações a respeito da dureza superficial do concreto até cerca de 20 mm de profundidade (para esclerômetro com energia de percussão em torno de 2,25 N.m conforme ABNT NBR 7584, 2013), a esclerometria foi aqui utilizada para fins de verificação de efeito superficiais no concreto pelo fogo.

Para a realização do ensaio foi necessário remover com espátula resíduos de argamassa que ainda estavam aderidos ao concreto e também foi feito o uso do disco de carborundum para regularizar a superfície da área de ensaio. Em seguida procedeu-se com a delimitação da área com uso de lápis de pedreiro para marcação de um reticulado contendo 16 pontos, procurando-se manter uma distância de 3 cm entre o centro de cada retângulo.

Os resultados obtidos para o índice esclerométrico (IE) em cada pilar são indicados na Tabela 2 onde constam os resultados dos 16 impactos efetuados em cada uma das áreas de ensaio. Foi realizado o cálculo da média aritmética dos 16 valores individuais dos IEs correspondentes a cada área de ensaio.

O IE médio é mostrado ( $IE_m$ ), sendo que esse valor representa a média final obtida desprezando-se aqueles resultados individuais de forma que nenhum dos resultados esteja afastado em mais de 10%. O valor médio foi obtido do concreto do pilar P14 foi calculado a partir de 13 resultados individuais e o pilar P15 com 16 resultados individuais.

Tabela 2 – Resultados do IE dos pilares

Pilar	Valores do IE <sub>i</sub>																IE <sub>m</sub>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
P14	23	22	22	23	26	26	24	24	26	25	24	24	26	26	26	25	
P15	22	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	26	24	

Para o estabelecimento de correlação com a resistência à compressão do concreto foram utilizadas curvas de correlação obtidas pela pesquisa de Camargo e Ferrari (2020). A curva de correlação recomendada pelos autores com grau de determinação ( $R^2$ ) igual a 0,91 é indicada pela equação 1.

$$f_{ci} = 0,00397 \cdot IE_m^2 + 0,3439 \cdot IE_m - 3,47107 \quad (1)$$

Importante registrar que a correlação indicada pela equação 1 foi obtida com concretos produzidos com materiais locais, representando, portanto, o concreto da estrutura em análise. Logo foi utilizado uma curva dita confiável, construída com materiais locais.

O IE efetivo de cada área de ensaio ( $IE_a$ ) foi calculado tomando-se a equação 2.

$$IE_a = k \cdot IE_m \quad (2)$$

Em que:

- k: é o coeficiente de correção do IE conforme calibração do aparelho ( $k = 1,0$  no caso);

Na Tabela 3 tem-se a estimativa da resistência à compressão do concreto dos pilares P14 e P15 conforme ensaio esclerométrico e curva de correlação indicada pela equação 1.

Tabela 3 – Estimativa da resistência à compressão do concreto dos pilares P14 e P15

Pilar	IE <sub>m</sub>	f <sub>ci</sub> (MPa)
P14	25	14
P15	24	14

Conforme a ABNT NBR 7584 (2013), a influência da carbonatação na dureza da superfície do concreto é significativa e promove a superestimação da resistência, devendo, portanto, ser definidos coeficientes corretivos para minimizar seu efeito.

O ensaio de carbonatação consistiu em pulverizar sobre a janela de concreto de pilares e vigas a solução de fenolftaleína (indicador químico de pH) e aguardou-se de 1 a 2 minutos para avaliar se ocorre ou não alteração da cor da superfície de concreto onde a solução foi aspergida. O objetivo foi avaliar se o concreto estava carbonatado e, caso positivo, avaliar se ela chegou até a armadura.

A carbonatação corresponde a perda da alcalinidade do concreto e a causa está relacionada com a incidência do gás carbônico ( $CO_2$ ) por penetração nos poros do material. Quanto maior a porosidade maior é a velocidade de carbonatação, por outro lado, a baixa porosidade minimiza a carbonatação.

A redução da alcalinidade do concreto altera as condições de estabilidade química da película passivante da armadura, criando condições favoráveis para o início do processo corrosivo. Essa redução ocorre devido às reações entre o  $CO_2$  e os produtos de

hidratação do cimento (hidróxido de cálcio –  $\text{CaOH}_2$ ), tendo como resultado a redução do pH do concreto devido a formação do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Pela Figura 24 observa-se que todo o concreto exposto está carbonatado chegando e até ultrapassando a armadura, despassivando-a e tornando-a susceptível à corrosão. Nesse estágio, diz-se que a estrutura atingiu a vida útil de projeto ou o Estado Limite de Durabilidade (ISO 13823, 2008).

O ensaio de carbonatação foi realizado com um indicador químico do tipo solução de fenolftaleína. A solução é incolor em superfícies com pH inferior a 8,3 e para valores de pH superiores a 9,5, torna-se vermelho-carmim. Entre 8 e 9,5 fica com coloração variável de rosa a vermelho-carmim. O pH normal do concreto situa-se entre 12,6 a 13,5 e, ocorrendo a carbonatação, esse índice é reduzido a 8,5.

A consequência do processo de carbonatação tem sido percebido no caso em questão pela presença de fissuras paralelas às barras e redução da seção da armadura, ainda que incipiente.

## **5. Conclusões**

Como conclusões do estudo de caso realizado tem-se:

- A edificação investigada foi alvo de um incêndio ocorrido em meados do ano de 2019. O foco do incêndio deu-se no Ambiente interno 02, consumiu todos os objetos existentes e provocou o colapso quase que total da cobertura formada por estrutura de madeira e telhas de barro;
- O incêndio também resultou no deslocamento localizado do revestimento das paredes internas do Ambiente 02 da edificação;
- A inspeção realizada deu-se 4 anos após o incêndio e, por meio dela, foi possível identificar que a estrutura de concreto armado (pilares e vigas da cobertura) não foi afetada pelo incêndio;
- O incêndio ocorrido não atingiu temperatura suficiente para provocar fissuras e/ou deslocamentos na superfície de concreto das vigas da cobertura e pilares da edificação;
- Pela revisão de literatura desenvolvida para o presente estudo, foi possível constatar que os estudos existentes, apontam, de forma conservadora que, incêndios com temperatura acima de  $250^\circ\text{C}$  já provocam deslocamentos na superfície de concreto e a perda de resistência mecânica original do material (cerca de 25%) ocorre para temperaturas acima de  $300^\circ\text{C}$ ;
- Foi possível identificar que as trincas e fissuras existentes nas vigas e nos pilares não tem relação com o incêndio ocorrido, mas, com mecanismos intrínsecos à degradação do material estrutural;
- A principal ocorrência observada na estrutura de concreto da edificação foi a corrosão de armaduras de aço como resultado do mecanismo de degradação proveniente da carbonatação do concreto e consequente despassivação das armaduras;

- Foi verificada a incidência de corrosão de armaduras nas vigas da cobertura VR8, VR9, VR12 e VR13 e nos pilares P1, P2, P3, P5, P7 e P10. Nesses elementos o mecanismo já provocou trinca no concreto na direção paralela da armadura e redução da seção do aço em torno de até 5%;
- Nesses elementos a recomendação é pela implantação de uma metodologia de reparo específica para a recuperação de estrutura de concreto com corrosão de armadura;
- O ensaio esclerométrico revelou baixa resistência à compressão para o concreto dos pilares de centro da edificação (P14 e P15). Como o concreto encontra-se carbonatado, essa resistência pode ainda estar majorada em até 50%. Logo, além da metodologia de recuperação das regiões com corrosão da armadura, recomenda-se também proceder com extração de testemunho para efeito de comparação da resistência;
- Fica também recomendada a realização de cálculo estrutural para obtenção do novo carregamento (conforme nova cobertura – recomenda a mesma de projeto ou ainda com materiais mais leves) sobre esses pilares e comparação com a capacidade de carga nas condições atuais de resistência do concreto dos pilares;
- As trincas horizontais existentes nas vigas da cobertura VR1, VR2 e VR6 tem relação com as condições de exposição a que a estrutura vem sendo submetida ao longo dos 4 anos. A incidência da chuva diretamente sobre a face superior das vigas tem provocado condição diferenciada no concreto da mesma peça o que, resultou em expansão diferenciada por umidade e trinca ao longo da barra. A recomendação nesses elementos é a execução de reparos localizados;

### **Referências**

- ABRAMS, M. S.** *Compressive strength of concrete at temperatures to 1600F*. American Concrete Institute, Special Publication, v. 25, p. 33-58, 1971.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**, ABNT 15200 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**, ABNT 16747 – Inspeção predial – diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**, ABNT 7584 – Concreto endurecido – avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – método de ensaio, 2013.
- BRITEZ, C.; CARVALHO, M.; HELENE, P.** *Ações e efeitos deletérios do fogo em estruturas de concreto*. Uma breve revisão, Revista Alconpat, v. 10, n. 1, 2020;
- CASCUDO, O.** *O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas*, São Paulo, Pini, Ed. UFG, 1997.
- CAMARGO, M. V. C.; FERRARI, V. J.** *Resistência à compressão e módulo de elasticidade do concreto por meio de ensaios não destrutivos (END)*, Revista Matéria, v. 26, n.3, 2021.
- NEVILLE, A. M.** *Properties of concrete*, 3.ed. London; Marshfield, Mass.: Pitman, 779 p., 1981.