

AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE ESTRUTURA DE CONCRETO - ESTUDO DE CASO

A.C. Azevedo¹

antonio.costaazevedo@fe.up.pt

Fernando Artur Nogueira Silva²

farturnog@gmail.com

Angelo Just da Costa e Silva³

angelo@tecomat.com.br

Marcelo Tavares Gomes de Souza⁴

marcelomtgs@gmail.com

ÁREA: (MANUTENÇÃO E RESTAURAÇÃO)

Resumo

Esta pesquisa foi desenvolvida a partir do estudo de caso da recuperação estrutural de um edifício de múltiplos pavimentos, estruturado em concreto armado, construído na cidade de Recife há cerca de 40 anos. A edificação é constituída por um pavimento semienterrado (garagem), laje de esplanada (térreo), 16 pavimentos-tipo e cobertura aporcada em concreto armado. Na investigação visual foram observadas fissuras com sintomas típicos de oxidação das armaduras em alguns pilares e vigas do prédio. Foram realizados ensaios para avaliação da profundidade de carbonatação espalhados pela estrutura, bem como extraídos testemunhos de concreto análise da sua capacidade mecânica da estrutura. Os resultados de resistência à compressão dos testemunho extraídos apontaram valores superiores (36,8MPa e 27,8MPa) aos níveis de resistência exigidos na época de execução do prédio (estimado entre 12MPa a 18MPa), mesmo considerando uma redução em função da evolução dessa propriedade ao longo dos anos (40 anos). Tal aspecto indica que as expressões para estimativa da evolução da resistência do concreto com o tempo contempladas nas normas brasileiras se mostraram precisas. Os ensaios de avanço da frente de carbonatação indicaram que poucos elementos de concreto experimentaram carbonatação integral dos seus cobrimentos, o que realça a qualidade do concreto utilizado na construção, e é consistente com os valores de resistência à compressão dos testemunhos investigados. Os resultados obtidos indicaram que a estratégia de realização conjunta de ensaios mecânicos em testemunhos extraídos, associado à determinação da profundidade de carbonatação, constituiu-se eficiente para apropriação qualitativa do comportamento do caso estudado.

Palavras-chave: Reabilitação
Investigação
Recuperação

¹ Mestrado em Engenharia Civil, Professor do Instituto Federal de Pernambuco - IFPE - Brasil

² Doutor em Engenharia Civil, Professor da UNICAP/PE - Brasil

³ Doutor em Engenharia Civil, Professor da UNICAP/PE - Brasil

⁴ Engenheiro Civil

EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE ESTRUCTURA DE HORMIGÓN - ESTUDIO DEL CASO

A.C. Azevedo⁴

antonio.costaazevedo@fe.up.pt

Fernando Artur Nogueira Silva⁵

farturnog@gmail.com

Angelo Just da Costa e Silva⁶

angelo@tecomat.com.br

Marcelo Tavares Gomes de Souza⁴

marcelomtgs@gmail.com

AREA: (MANTENIMIENTO Y RESTAURACIÓN)

Resumen

Esta investigación fue desarrollada a partir del estudio del caso de la recuperación estructural de un edificio de múltiples pisos, estructurado en hormigón armado, construido en la ciudad de Recife hace unos 40 años. La edificación está constituida por un subsuelo (garaje), losa de explanada (planta baja), 16 pisos y cubierta aporticada en hormigón armado. En la investigación visual se observaron fisuras con síntomas típicos de oxidación de las armaduras en algunos pilares y vigas del edificio. Se realizaron ensayos para evaluar la profundidad de carbonatación repartidas por la estructura, así como testigos de hormigón extraídos para un análisis de la capacidad mecánica de la estructura. Los resultados de resistencia a la compresión de los testigos extraídos apuntaron a valores superiores (36,8MPa y 27,8MPa) a los niveles de resistencia exigidos en la época de ejecución del edificio (estimado entre 12MPa a 18MPa), aun considerando una reducción en función de la evolución de esa propiedad a lo largo de los años (40 años). Tal aspecto indica que las expresiones para estimación de la evolución de la resistencia del hormigón en el tiempo contemplado en las normas brasileñas se mostraron precisas. Los ensayos de avance del frente de carbonatación indicaron que pocos elementos de hormigón experimentaron carbonatación integral en sus cubiertas, lo que realza la calidad del hormigón utilizado en la construcción, y es consistente con los valores de resistencia a la compresión de las muestras investigadas. Los resultados obtenidos indicaron que la estrategia de realización conjunta de ensayos mecánicos en testigos extraídos, asociado a la determinación de la profundidad de carbonatación, es suficiente para la caracterización cualitativa del comportamiento del caso estudiado.

Palabras clave: Rehabilitación

Investigación

Recuperación

⁴ Mestrado em Engenharia Civil, Professor do Instituto Federal de Pernambuco - IFPE - Brasil

⁵ Doutor em Engenharia Civil, Professor da UNICAP/PE - Brasil

⁶ Doutor em Engenharia Civil, Professor da UNICAP/PE - Brasil

⁴ Engenheiro Civil

1 Introdução

A avaliação do estado de conservação do patrimônio construído das cidades tem merecido atenção especial, tanto do meio científico quanto da comunidade de construção civil em geral. Em grande parte, este interesse crescente ou tem uma ligação direta com as recentes normas de desempenho editadas no Brasil no ano de 2013, que introduziram demandas específicas a serem atendidas pelas novas edificações, ou está relacionado com exigências mais rigorosas de conservação de órgãos responsáveis pela preservação de edificações históricas.

Segundo Fonseca et al. (2016), o desempenho de uma edificação, com relação a qualidade, depende do sucesso de cada uma das cinco etapas construtivas: (a) planejamento, (b) projeto, (c) escolha dos materiais, (d) execução e (e) uso. A condução diligente de cada uma destas etapas pode concorrer para a redução de manifestações patológicas em idades precoces das edificações possibilitando, destarte, um incremento na durabilidade das construções que tem efeitos diretos na satisfação dos usuários e na qualidade do ambiente construído das cidades.

As manifestações patológicas em edificações novas e antigas podem ter variadas origens que vão desde um ineficaz processo de planejamento, detalhamento, especificação e construção propriamente dita até aspectos relativos à manutenção periódica do empreendimento e podem afetar qualquer parte da construção, da fundação até a sua coberta.

Quando as manifestações patológicas se manifestam em lugares que podem ser inspecionados visualmente, como um descolamento de placas cerâmicas em uma fachada, elas são facilmente identificadas e, em algumas situações, as intervenções corretivas podem ser realizadas de maneira rápida e precisa. No entanto, quando as patologias são ocultas, tais como processos físico-químicos, carbonatação ou ação de reações álcalis agregado, sua solução costuma ser mais demorada com envolvimento de recurso financeiros mais significativos.

Os problemas em elementos de concreto armado são acentuados a depender das suas condições de exposição, notadamente quanto à salinidade e carbonatação, muito comuns em cidades litorâneas e grandes metrópoles, respectivamente. Tal cenário se torna ainda mais crítico quando essas peças estão posicionadas em áreas de fachada, sem revestimento (aparentes), durante prolongado período de tempo.

Neste contexto, o presente trabalho avaliou o estado de conservação do concreto de uma edificação residencial com 18 pavimentos localizado na cidade do Recife - Pernambuco - e analisou alternativas para a recuperação das manifestações patológicas observadas.

2 Localização da edificação

A edificação em estudo se localiza no nordeste do Brasil na Cidade do Recife no estado de Pernambuco. Se situa no centro da cidade a uma distância de aproximadamente 3 km do mar. A região possui uma média umidade relativa do ar de 74% com temperatura média de 24 °C e índice pluviométrico anual de 564 mm. A Figura 1 a seguir ilustra a fachada leste da edificação.



Figura 1: Aspecto geral da fachada leste (Autores (2017))

A edificação conta com 18 pavimentos, incluindo cobertura e um nível semi-enterrado, totalizando 16 unidades residenciais. O prédio apresenta uma solução estrutural aporticada reticulada, apoiada em pilares, vigas e lajes de concreto armado, elementos de vedação em blocos cerâmicos, com trechos diversos em balanço para apoio das varandas e extensão dos quartos.

Os elementos de fundação foram executados por meio da cravação de estacas profundas, agrupadas em blocos de coroamento de concreto, próximos ao nível do terreno, e as lajes em concreto armado maciço. No encontro entre a lâmina principal do prédio e a esplanada lateral há juntas estruturais, cujas vigas são separadas por elementos do tipo “geber”

O revestimento externo é composto por placas cerâmicas vermelhas, azulejos e trechos em pintura nas fachadas posteriores, e as esquadrias são em madeira, com folhas fixas e móveis.

3 Metodologia de Inspeção

Para esse estudo foi utilizada uma metodologia específica, conforme Figura 2, com o objetivo de detectar as principais manifestações patológicas, assim como suas causas e consequências. Os trabalhos de campo se iniciaram com uma inspeção preliminar, que consistiu, basicamente, em uma análise visual dos elementos estruturais da superestrutura por meio da investigação das áreas comuns dos pavimentos-tipo, inclusive garagem.

Foi realizado então o levantamento do histórico de construção da estrutura, fornecido pelos condôminos. Posteriormente, houve a identificação das manifestações patológicas, com realização de inspeção visual, questionamentos junto aos moradores e usuários, ensaios amostrais para a determinação de resistência à compressão em testemunhos de concreto extraídos do local, e profundidade de carbonatação. Por fim, chegou-se ao levantamento dos danos e ao diagnóstico.

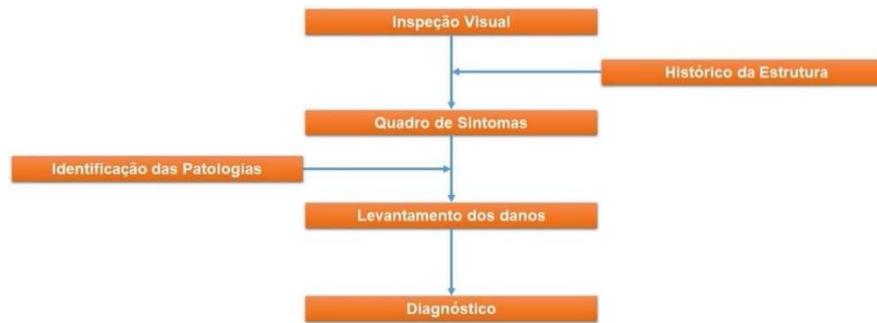


Figura 2: Metodologia de inspeção (Autores (2017))

Os testemunhos foram extraídos conforme a ABNT NBR 7680/2007, por meio de uma sonda rotativa, composta de uma coroa diamantada e resfriada por água. Toda a preparação e extração foram efetuadas por operadores experientes, não havendo quebra de testemunhos. Foram retirados 2 testemunhos com dimensões 74,5 mm X 140,2 mm e 74,6 mm x 129,5 mm (diâmetro x comprimento). O local onde foram extraídos os testemunhos foi recomposto com graute.

Após a extração os testemunhos suas faces foram regularizadas por meio de corte com uma serra metálica diamantada e em seguida foi feita a adequada retífica. Após estas preparações os testemunhos foram levados para se realizar o ensaio à compressão. Como a relação altura/diâmetro dos testemunhos foi de 1,88 e 1,74 foi necessária a aplicação de fatores ponderadores da resistência de 0,991 e 0,979 para os testemunhos 1 e 2 respectivamente.

3.1 Resultados e discussão

De uma maneira geral, foram observados pontos diversos de fissuras e destacamento das peças de concreto, típicas de oxidação das armaduras, em especial nas bases dos pilares situados no pavimento térreo (Figura 3) e também espalhados ao longo da extensão da fachada, tanto nos pilares (Figura 3) quanto nas vigas de periferia. Há também relatos de problemas pontuais de oxidação nas áreas internas dos apartamentos, principalmente nas varandas.

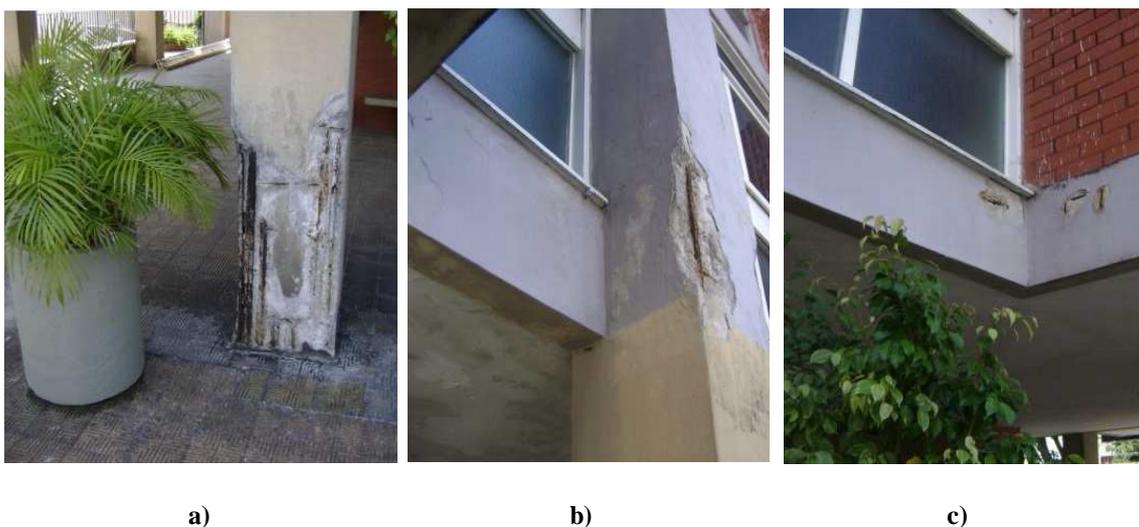


Figura 3: a) aspecto de oxidação pronunciada verificada na base do pilar do térreo; b) Detalhe de trecho com oxidação de pilar e c) Detalhe de trecho com oxidação da viga verificado na fachada. (Autores (2017))

Apesar desses problemas relatados, em geral os elementos em concreto das peças estudadas apresentam estado de conservação considerado em um nível compatível com o período de tempo, levando em conta as agressivas condições ambientais nas quais permaneceram expostos. Importante destacar que, na época da concepção do prédio, a normalização brasileira não apresentava cuidados relativos à durabilidade das estruturas de concreto, a exemplo do que acontece nos dias atuais, o que corrobora para o estado de conservação observado.

Ponto importante para a discussão é que, durante a inspeção visual, não foram identificadas peças de armadura com perda de seção superior a 10%, o que obrigaria a realização de intervenções mais contundentes, com a substituição das barras de aço nos locais afetados. Porém, a simples observação da oxidação, e consequentes fissuras nos elementos estruturais, é motivo de preocupação no sentido de evitar sua rápida evolução, ainda mais em se tratando da região com ambiente agressivo onde a edificação se localiza.

Dentre esses cuidados destaca-se a pequena espessura de cobrimento nos elementos da estrutura (Figura 4), o que favorece a ocorrência dos problemas de destacamento e oxidação das barras de aço. Além disso, as exigências de resistência característica à compressão do concreto na época de execução do prédio eram na ordem de 12MPa a 18MPa, o que favorece a entrada de agentes agressivos no interior das peças



Figura 4: - Detalhe de oxidação em pilar com baixa espessura de cobrimento. (Autores (2017))

Por essa razão a NBR 6118-2014 e a NBR 12.655-2015 estabelecem valores máximos para a relação água/cimento, limites mínimos para a espessura de cobrimento e consumo cimento por m^3 de concreto, em função das condições de agressividade do meio no qual a edificação vai ser construída. Essas demandas normativas são usualmente referidas como requisitos de qualidade do projeto, e visam exatamente dotar as estruturas de concreto de uma proteção mínima contra a ação de agentes agressivos, notadamente os efeitos da carbonatação e do ataque por sulfatos e cloretos.

A edificação em estudo, entretanto, foi projetada e construída baseada em normativas que não indicavam a necessidade de considerações especiais, em projeto e em construção, para o enfrentamento das ações do meio ambiente sobre as estruturas de concreto e os materiais utilizados, notadamente o cimento, tinham outro padrão de fabricação (cimentos menos finos), aspecto que justifica o atual estado de conservação em que o mesmo se encontra.

Ao longo da estrutura foram observados diversos pontos de oxidação da armadura, seja em pilares, vigas ou lajes, inclusive nas áreas internas mais protegidas, mesmo que em menor intensidade. Importante destacar que, em geral, os agentes agressivos, em especial a névoa salina, utilizam a água como veículo para penetrar no concreto, de modo que é natural que os elementos estruturais localizados nas periferias apresentem maiores níveis de degradação, quando comparados com as peças situadas nas regiões mais internas, e mesmo na área da garagem.

Durante a vistoria não foram verificados problemas evidentes de oxidação das armaduras dos elementos estruturais na área da garagem, exceção feita às vigas situadas sob as juntas, onde a infiltração da água da chuva pela laje do térreo acaba proporcionando um ambiente mais propício à ocorrência desse tipo de problema.

Importante destacar, contudo, que há indícios da realização de atividades pontuais de recuperação em algumas peças estruturais da garagem, de modo que é provável que esses elementos também já tenham apresentados problemas de oxidação similares àqueles verificados no pavimento térreo.

3.2 Ensaios realizados

Alguns ensaios foram realizados a fim de estimar a resistência à compressão, bem como avaliar o nível de despassivação das armaduras devido ao processo de carbonatação. O croqui apresentado na figura 5 indica os locais onde foram realizadas as coletas de materiais para a realização dos ensaios diversos.

Cabe destacar que, na inspeção visual, não foram constatadas fissuras com características de deficiência na capacidade mecânica da estrutura, mas apenas sintomas típicos de degradação em decorrência da oxidação das armaduras. Por conta disso, a investigação ficou mais concentrada na avaliação desses problemas, com destaque para os ensaios de determinação da profundidade de carbonatação, que indicava ser o seu principal agente causador.

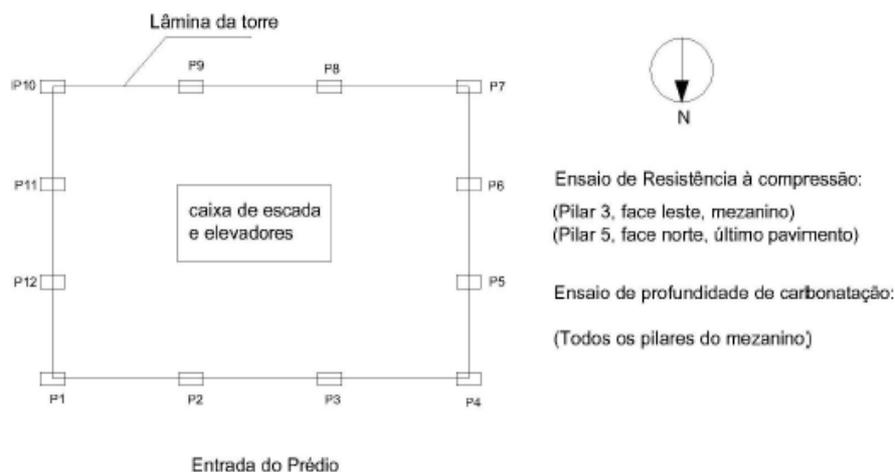


Figura 5: - Croqui esquemático da posição das amostras extraídas e utilizadas nos ensaios. (Autores (2017))

3.2.1 Determinação da resistência à compressão dos testemunhos de concreto

Como a edificação em estudo se encontrava ocupada pelos seus usuários, havia uma natural preocupação em atenuar os transtornos causados pelas investigações, a menos que os problemas observados nas análises pontuais sugerissem algo mais invasivo. Com isso, para a avaliação da capacidade mecânica optou-se pela realização apenas da extração de testemunhos de concreto, que representam com grande fidelidade o estado de suporte do material, atividade que foi seguida do imediato fechamento das peças com girth, reduzindo os danos causados.

Foram extraídos 02 (dois) testemunhos de concreto escolhidos aleatoriamente no prédio, sendo um localizado num pilar do térreo e outro na cobertura. Apesar da pequena amostragem, os valores obtidos de resistência à compressão, fornecem uma estimativa da resistência do

concreto, na atualidade de sua construção. Os testemunhos foram extraídos e ensaiados conforme a norma da ABNT NBR 7680/2007, e as resistências individuais estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados de resistência à compressão dos testemunhos extraídos

Nº	Resistência à Compressão	Localização
1	36,8	Térreo – Pilar 11
2	27,8	Cobertura – Pilar 14

Os resultados encontrados apontaram valores acima da expectativa para os níveis de resistência exigidos na época de execução do prédio, que seria na ordem de 12MPa a 18MPa. Não se pode desconsiderar que o concreto já possui cerca de 40 anos de executado, o que resulta num aumento gradativo da sua capacidade de suporte, porém de pequena representatividade.

Uma estimativa da evolução da resistência do concreto com o tempo até os dias atuais, admitindo a utilização de cimento Portland Comum CPI, de uso frequente à época, e adotando as expressões na NBR 6118-2014 para uma idade de 40 anos de construção se obteria um valor de 27%, correspondente a uma resistência à compressão atual de 25,4 MPa. Este valor é bem próximo daquele encontrado no pilar P14 da Coberta e inferior àquele encontrado no Pilar P11 no térreo. Uma explicação possível para esse comportamento pode estar associada às condições de execução e localização dos dois pilares investigados ou mesmo a utilização de concretos distintos. Investigações adicionais são necessárias para um diagnóstico mais preciso, mas, apesar disso, e não obstante a ocorrência de algumas manifestações patológicas, a edificação apresenta um comportamento satisfatório quanto às agressões por cloreto e gás carbônico.

3.2.2 Avaliação da profundidade de carbonatação

O ensaio de carbonatação foi realizado conforme as recomendações da RILEM RECOMMENDATION, sendo efetuados em todos os pilares do pavimento térreo (Figura 6), estando os resultados apresentados na Tabela 2.



Figura 6: Detalhe de trecho de pilar do térreo ensaiado para avaliação da profundidade de carbonatação (ensaio efetuado com aspersão de fenolftaleína – contraste em cor rosa para os trechos não carbonatados). (Autores (2017))

Tabela 2: Profundidade de carbonatação do concreto dos pilares.

Pilar	Profundidade de carbonatação (mm)	
	Lado Interno	Lado Externo
P1	9,1 (leste)	2,0 (norte)
P2	2,3 (oeste)	2,8 (norte)
P3	1,0 (oeste)	3,0 (norte)
P4	4,6 (oeste)	10,0 (norte)
P5	5,5 (norte)	7,3 (leste)
P6	1,0 (leste)	1,6 (sul)
P7	2,3 (leste)	3,6 (sul)
P8	2,3 (norte)	5,0 (leste)
P9	1,8 (norte)	9,5 (leste)
P10	1,8 (norte)	9,5 (leste)
P11	18,3 (sul)	10,5 (oeste)

O conhecimento da posição da frente de carbonatação em pontos de uma estrutura de concreto armado permite uma avaliação qualitativa de sua durabilidade e indica os locais onde operações de reparos são necessárias.

Quando da construção da edificação (estima-se em torno de 40 anos atrás) era prática corrente no projeto de estruturas de concreto armado na região a adoção de cobrimentos de 20 mm, 15 mm e 10 mm, para pilares, vigas e lajes, respectivamente. Os dados da Tabela 2 indicam que, à exceção do Pilar P11 os demais pilares da edificação não tiveram seu cobrimento integralmente carbonatado, aspecto que sugere um eficiente trabalho na confecção do concreto utilizado nestes elementos estruturais. Mesmo o Pilar P11 estando mais afetado pela carbonatação, a média entre as profundidades de carbonatação na sua face sul e oeste resulta num valor de 14,35 mm que é inferior ao possível cobrimento adotado quando da sua execução. Este aspecto realça mais ainda a qualidade do concreto utilizado na sua confecção. Ademais, importante registrar que este pilar apresentou um valor de resistência à compressão dos testemunhos extraídos de 36,8 MPa bem superior à prática local à época, que costumava especificar valores de resistência característica à compressão de 20 MPa.

Uma avaliação conceitual qualitativa da carbonatação em faces externas de componentes estruturais de concreto armado expostos a intempéries pode ser conduzida mediante consulta ao ábaco da Figura 7 a seguir, que fazia parte da versão de 2000 da NBR 6118:2014. Neste ábaco, é possível correlacionar a vida útil de projeto com a espessura do cobrimento das armaduras e com a qualidade do concreto (C-10 a C-50), em função do ambiente (nesse caso, zona urbana).

Como pode ser observado no ábaco da Figura 7, para um cobrimento de 20 mm, os pilares da edificação em estudo teriam uma vida útil de projeto de 20 anos, valor que foi certamente ultrapassado em várias dos pilares da edificação como atestam os baixos valores da profundidade de carbonatação obtidos na maioria dos elementos investigados.

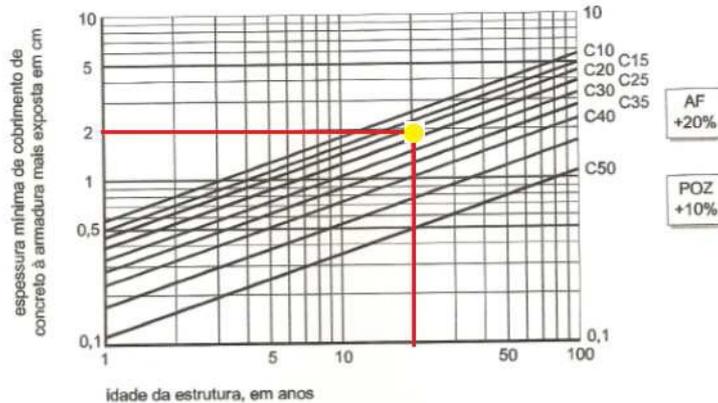


Figura 7: Correlação qualitativa - cobrimento e vida útil de projeto (NBR 6118:2000)

4 Conclusões

Esta pesquisa foi desenvolvida a partir do estudo de caso da recuperação estrutural de um edifício de múltiplos pavimentos, estruturado em concreto armado, construído na cidade de Recife há cerca de 40 anos. A edificação é constituída por um pavimento semienterrado (garagem), laje de esplanada (térreo), 16 pavimentos-tipo e cobertura aporticada em concreto armado. Foram extraídos testemunhos com dimensões de 74,5 mm x 140,2 mm e de 74,6 mm x 129,5 mm (diâmetro x comprimento) através de sonda rotativa com coroa diamantada para se avaliar os reais valores da resistência à compressão do concreto na estrutura e o nível de despasse das armaduras em função do processo de carbonatação dos cobrimentos dos elementos de concreto.

Foi demonstrado que as expressões para estimativa da evolução da resistência do concreto com o tempo contempladas nas normas brasileiras são suficientemente precisas.

Os ensaios de avanço da frente de carbonatação indicaram que poucos elementos de concreto experimentaram carbonatação integral dos seus cobrimentos, aspecto que realça a qualidade do concreto utilizado na construção e é consistente com os valores de resistência à compressão dos testemunhos investigados.

Os resultados obtidos indicam que a estratégia de realização conjunta de realizar ensaios mecânicos em testemunhos extraídos e avaliar a profundidade de carbonatação em peças de concreto se constitui em meios eficientes de apropriação qualitativa do desempenho de edificações de concreto armado.

5 Bibliografia

- (1) MARQUES, V. S. **Recuperação de estruturas submetidas à corrosão de armaduras** : definição das variáveis que interferem no custo. 2015. 104 f. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre.
- (2) FONSECA, J.; SILVA, D.; OLIVEIRA, A.; SILVA, G.; SANTOS, N. **Fatores cardiais que comprometem a durabilidade das construções** . In: I Seminário de Patologia e Recuperação, 2016, Recife. SIMPAR 2016. Recife, 2016.
- (3) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR- 6118: **Projeto de Estruturas de Concreto: procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- (4) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR- 7680: **Concreto**



PATORREB 2018

—
Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2007.