

Controlo de qualidade da espessura do betão de recobrimento das armaduras nas estruturas



André Valente
Monteiro

Bolseiro de Doutoramento
LNEC/UPS/IST/FCT
Lisboa
Avmonteiro@lnec.pt



Arlindo Freitas
Gonçalves

Investigador Coordenador
LNEC
Lisboa
Arlindo@lnec.pt

SUMÁRIO

Hoje em dia é praticamente consensual no seio da comunidade científica que a insuficiência da espessura do betão de recobrimento é uma das principais causas de deterioração prematura das estruturas de betão armado por corrosão das armaduras. Contudo, a maioria das normas de execução que lidam com questões de durabilidade não fornecem indicações para uma adequada inspeção e controlo da conformidade da espessura do betão de recobrimento nas obras. Para tal, foi desenvolvido pelo comité técnico da RILEM TC 230-PSC – *Performance-based specifications and control of concrete durability*, um documento técnico com um conjunto de linhas orientadoras e regras para a inspeção da espessura do betão de recobrimento, adaptadas ao tipo de estrutura a inspecionar. Nesta comunicação são descritas, sumariamente, as metodologias apresentadas no referido documento.

Palavras-chave: Controlo da conformidade, durabilidade do betão, betão de recobrimento, análise estatística.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, é reconhecido por grande parte da comunidade científica que a insuficiência da espessura de recobrimento é uma das principais causas da degradação prematura das estruturas do betão armado por corrosão das armaduras. Contudo, a grande parte das normas e documentos técnicos que lidam com a durabilidade do betão não fornecem quaisquer indicações para a preconização de uma inspeção adequada da espessura do betão de recobrimento das armaduras nas estruturas.

A maioria das normas de dimensionamento e execução estabelece que um recobrimento nominal, c_{nom} , deve ser especificado nos desenhos de dimensionamento estrutural, assumindo *a priori* uma margem de segurança, Δc_{dev} , adequada ao tipo de construção, geralmente entre 10 e 15 mm para estruturas sem requisitos de execução especiais, por forma a que o limite mínimo c_{min} , necessário para garantir a durabilidade do betão armado, não seja ultrapassado em toda a estrutura, tal que:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad (1)$$

A existência de um limite mínimo “absoluto” para a espessura do betão de recobrimento dificulta o desenvolvimento de planos de inspeção uma vez que, na generalidade das obras, é impraticável verificar se este limite é satisfeito em toda a estrutura. Por este motivo, a norma portuguesa NP EN 13670-1 [1] admite uma abordagem estatística onde é permitida uma determinada percentagem dos recobrimentos abaixo do limite mínimo c_{min} , não fornecendo contudo quaisquer orientações para a sua inspeção em obra.

Assim, foi elaborado um capítulo no novo relatório do comité técnico da RILEM TC 230-PSC [2], a ser publicado brevemente, onde são fornecidas linhas orientadoras e bases estatísticas para a inspeção e avaliação da espessura do betão de recobrimento nas estruturas, disponibilizando três procedimentos distintos – Procedimento A, baseado numa inspeção por variáveis, e os Procedimentos B e C, baseados numa inspeção por atributos – que assumem o recobrimento mínimo como um valor característico (percentil) abaixo do qual é permitida uma determinada percentagem da população dos recobrimentos (5 ou 10%).

Nesta comunicação são descritos, sumariamente, os procedimentos estabelecidos no referido relatório da RILEM.

2. PROCEDIMENTO A

Nesta secção é descrito um procedimento para estimar o recobrimento mínimo numa certa malha de armaduras numa estrutura, ou num conjunto de elementos estruturais, e para verificar a sua conformidade com as especificações, com base numa inspeção por variáveis. Para tal, assume-se que a população dos recobrimentos da malha de armaduras em questão é normalmente distribuída.

Este procedimento não é recomendado para avaliar os recobrimentos de armaduras em pequenas áreas das estruturas, em zonas com particulares pormenorizações de armadura (e.g. zonas de descontinuidade das estruturas) ou em elementos com caixas de armaduras muito rígidas (e.g. pilares e vigas de edifícios), uma vez que a população dos recobrimentos pode-se afastar significativamente da distribuição normal. Nestas situações, os Procedimentos B e C serão mais adequados.

Os passos do Procedimento A consistem no seguinte:

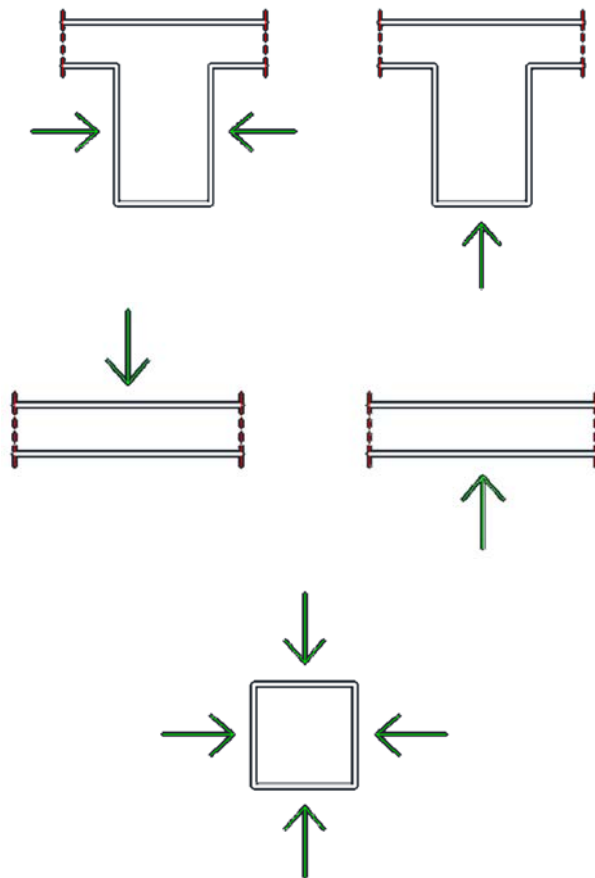
1. Selecionar a população dos recobrimentos;
2. Definir um método de amostragem;
3. Executar as medições das espessuras dos recobrimentos;
4. Verificar a validade dos pressupostos estatísticos e a ocorrência de *outliers*;
5. Estimar o recobrimento mínimo;
6. Verificar a conformidade do recobrimento mínimo com as especificações.

2.1 Seleção da população dos recobrimentos

A população dos recobrimentos a selecionar deve dizer respeito a uma determinada malha de armaduras na qual as exigências em termos de recobrimento devem ser constantes em toda a sua extensão. A malha de armaduras deve pertencer, sempre que possível, a elementos com semelhantes dimensões e com os mesmos pormenores de armadura, espaçadores e fios de atar, e construídos de preferência com a mesma equipa e método de construção. Desta forma, antes da seleção da população de recobrimentos a inspecionar, é importante analisar toda a informação disponível sobre o dimensionamento e execução dos elementos de betão armado (e.g. diâmetro e disposição das armaduras, colocação e altura dos espaçadores, alterações das equipas ou do método de construção etc.).

São apresentados na Fig. 1 alguns exemplos de populações de recobrimentos em obra, tendo por base apenas a localização das malhas de armaduras nos elementos estruturais.

No caso de se pretender controlar a qualidade de execução durante a construção ou no caso de se suspeitar da ocorrência de alterações na qualidade de execução de elementos estruturais numa obra existente, pode ser mais adequado dividir a estrutura em múltiplos lotes que serão inspecionados individualmente e de forma independente entre eles.



Vigas – a população de recobrimentos das malhas laterais dos estribos não deve ser considerada distinta da população de recobrimentos da malha inferior.

Lajes – A população dos recobrimentos deve apenas incluir a malha de armaduras numa determinada direção e pertencente apenas a uma das faces da laje.

Pilares – A população dos recobrimentos em pilares com dimensões laterais semelhantes pode incluir as malhas dos estribos em toda a periferia.

Figura 1. Exemplos de populações de recobrimentos.

2.2 Método de amostragem e medição dos recobrimentos

Os principais objetivos do método de amostragem são obter uma amostra representativa da população a avaliar e o de garantir que as medições que compõem a amostra são estatisticamente independentes.

Os métodos de amostragem mais comuns são o método aleatório e o método sistemático. No primeiro os locais de medição dos recobrimentos são distribuídos aleatoriamente ao longo de toda a extensão do lote (Fig. 2a), enquanto no segundo os locais de medição são igualmente espaçados ao longo de toda a extensão do lote (Fig. 2b).

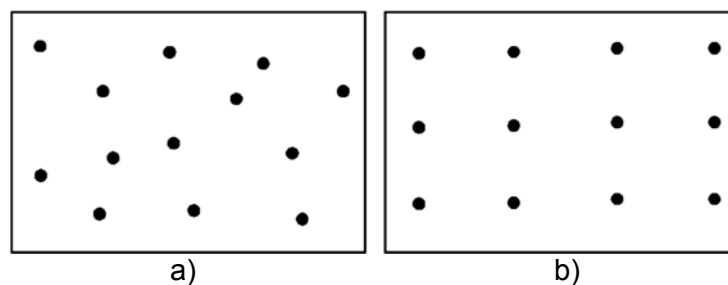


Figura 2. Método de amostragem aleatório vs. método de amostragem sistemático (cada ponto representa uma medição).

Devido à continuidade e rigidez das armaduras, as medições de recobrimentos efetuadas em locais próximos entre si podem estar espacialmente autocorrelacionadas, comprometendo assim o pressuposto de independência estatística assumido na generalidade dos métodos de análise estatística. Contudo, no caso de elementos estruturais com caixas de armaduras rígidas, a autocorrelação entre medições pode ser significativa, mesmo para espaçamentos de alguns metros entre medições. Na Fig. 3 é apresentado um exemplo de medições do recobrimento de estribos ao longo de uma geratriz da periferia de um pilar onde é possível verificar claramente a inclinação da caixa das armaduras no interior do pilar, fazendo com que medições de recobrimento obtidas a vários metros de distância estejam autocorrelacionadas.

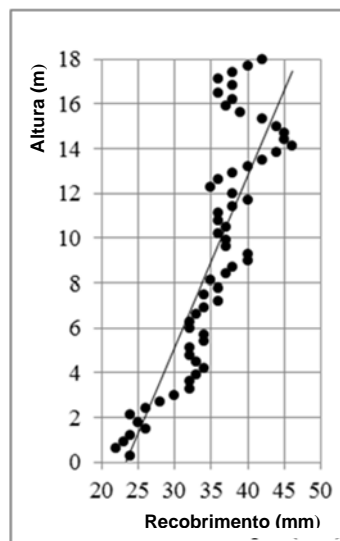


Figura 3. Exemplo de autocorrelação espacial das medições dos recobrimentos num pilar.

Outra prática a evitar, e que pode levar à ocorrência de autocorrelação espacial das medições de recobrimentos, é a da medição de recobrimentos em faces opostas de elementos estruturais. Por exemplo, devido à grande rigidez das caixas de armaduras frequentemente encontrada na generalidade dos pilares de edifícios e pontes, é comum detetar elevadas espessuras de recobrimento em faces opostas às quais são detetadas espessuras reduzidas (Fig. 4).

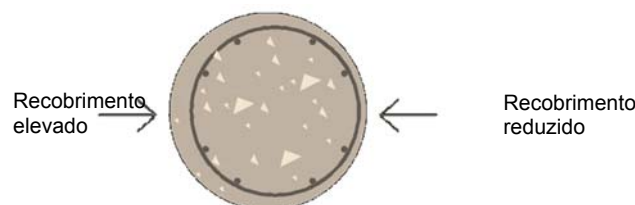


Figura 4. Corte transversal de um pilar genérico evidenciando a autocorrelação espacial entre faces opostas da secção devida à rigidez da caixa de armaduras.

Relativamente ao tamanho da amostra, N , este deve depender da importância da estrutura, da dimensão do lote e dos custos de inspeção (especialmente no caso de estruturas de difícil acesso). Aumentar o tamanho da amostra não só melhora a precisão da estimativa do recobrimento mínimo e o grau de certeza quanto à conformidade do lote, mas também facilita a deteção de múltiplas populações que podem eventualmente estar a ser representadas pela amostra. O código alemão [3], por exemplo, na sua metodologia baseada na inspeção por variáveis, estabelece um mínimo de $N = 20$ medições.

Após ter definido o tamanho da amostra e os locais de medição, deve-se então executar as medições dos recobrimentos por um operador experiente, utilizando um equipamento devidamente calibrado, tendo o cuidado de respeitar as indicações do do respetivo fabricante. O operador experiente deve ter competência para evitar erros grosseiros de medição, associados, por exemplo, à medição de recobrimentos de varões com muito reduzido espaçamento ou de varões (ou outros materiais metálicos) não incluídos na malha de armaduras a inspecionar.

2.3 Verificação da validade dos pressupostos e deteção de *outliers*

Como já referido, a análise estatística utilizada neste procedimento pressupõe que a população segue uma distribuição normal e que as medições são estatisticamente independentes.

Em qualquer inspeção, deve ser efetuada a verificação da normalidade. Um dos métodos mais comuns consiste na construção do gráfico de probabilidade (descrito em [2]).

Relativamente à verificação da independência estatística das medições que compõem a amostra, os métodos existentes na literatura podem não ser suficientemente eficientes, uma vez que, na generalidade das obras, a autocorrelação espacial das medições não segue um padrão. Este motivo reforça a importância dos cuidados a ter no método de amostragem, conforme descrito na secção anterior.

A deteção de potenciais *outliers* pode ser efetuada através dos métodos descritos na norma internacional ISO 5725-2 [4]. Sempre que detetados, devem ser investigadas as suas causas, sendo as mais comuns:

- Colocação inadequada de um espaçador;
- Medição do recobrimento de varões muito próximos, sobre fios de atar, sobre varões pertencentes a uma malha de armaduras diferente da inspecionada ou outros metais existentes no elemento estrutural, ou;
- Medição fora do domínio de calibração do equipamento;
- Medição do recobrimento de uma extremidade de um varão;
- Pormenorização insuficiente dos espaçadores ou dos fios de atar numa determinada zona.

Os *outliers* devem ser removidos da amostra. Contudo, para a última causa atrás mencionada (pormenorização insuficiente dos espaçadores ou dos fios de atar), a zona da estrutura correspondente ao *outlier* deverá ser avaliada à parte do restante lote. Adicionalmente, deve-se investigar, ao longo do lote, a possibilidade da ocorrência sistemática destas zonas em determinadas localizações dos elementos estruturais.

2.4 Estimativa do recobrimento mínimo

O recobrimento mínimo da população investigada pode ser estimado com base na seguinte expressão:

$$\hat{c}_{min} = \bar{c} - k \times s \quad (2)$$

onde \bar{c} e s são a média e o desvio padrão da amostra, e k o fator de tolerância que deve ser escolhido com base no percentil e no nível de confiança pretendido para a estimativa do recobrimento mínimo. No Quadro 1 apresentam-se valores para o fator k .

Quadro 1. Fatores de tolerância.

| Tamanho da amostra, N | Valores de k para o percentil 5 | | | | Valores de k para o percentil 10 | | | |
|-------------------------|-----------------------------------|------|------|------|------------------------------------|------|------|------|
| | Nível de confiança | | | | Nível de confiança | | | |
| | 50% | 75% | 90% | 95% | 50% | 75% | 90% | 95% |
| 10 | 1,70 | 2,10 | 2,57 | 2,91 | 1,32 | 1,67 | 2,07 | 2,35 |
| 11 | | 2,07 | 2,50 | 2,81 | | 1,65 | 2,01 | 2,28 |
| 12 | 1,69 | 2,05 | 2,45 | 2,74 | 1,31 | 1,62 | 1,97 | 2,21 |
| 13 | | 2,03 | 2,40 | 2,67 | | 1,61 | 1,93 | 2,16 |
| 14 | 1,68 | 2,01 | 2,36 | 2,61 | 1,30 | 1,59 | 1,90 | 2,11 |
| 15 | | 1,99 | 2,33 | 2,57 | | 1,58 | 1,87 | 2,07 |
| 20 | 1,67 | 1,93 | 2,21 | 2,40 | 1,29 | 1,53 | 1,77 | 1,93 |
| 25 | | 1,89 | 2,13 | 2,29 | | 1,50 | 1,70 | 1,84 |
| 30 | 1,66 | 1,87 | 2,08 | 2,22 | 1,28 | 1,47 | 1,66 | 1,78 |
| 40 | | 1,83 | 2,01 | 2,13 | | 1,44 | 1,60 | 1,70 |
| 50 | 1,65 | 1,81 | 1,97 | 2,06 | 1,28 | 1,43 | 1,56 | 1,65 |
| 60 | | 1,79 | 1,93 | 2,02 | | 1,41 | 1,53 | 1,61 |
| 80 | | 1,77 | 1,89 | 1,96 | | 1,39 | 1,49 | 1,56 |
| 100 | | 1,76 | 1,86 | 1,93 | | 1,38 | 1,47 | 1,53 |
| 120 | | 1,75 | 1,84 | 1,90 | | 1,37 | 1,45 | 1,50 |
| 150 | | 1,74 | 1,82 | 1,87 | | 1,36 | 1,43 | 1,48 |
| 180 | | 1,73 | 1,80 | 1,85 | | 1,35 | 1,42 | 1,46 |
| 200 | | 1,72 | 1,79 | 1,84 | | 1,35 | 1,41 | 1,45 |
| 300 | | 1,71 | 1,76 | 1,80 | | 1,34 | 1,39 | 1,42 |
| 400 | | 1,70 | 1,75 | 1,78 | | 1,33 | 1,37 | 1,40 |
| ∞ | 1,64 | | | | 1,28 | | | |

O percentil a escolher para a estimativa do recobrimento mínimo depende da percentagem permitida de recobrimentos abaixo do valor mínimo previsto em projeto c_{min} – percentil 5 no caso desta percentagem ser de 5 %, e o percentil 10 no caso desta percentagem ser de

10 %. É recomendado que esta percentagem seja de 5 % nos casos da margem de segurança prevista em projeto ser de $\Delta c_{dev} = 15$ mm, e 10 % para os casos em que $\Delta c_{dev} = 10$ mm. Contudo, muitos documentos técnicos recomendam que esta percentagem seja 5 % quando estão envolvidas questões de durabilidade (e.g. [5] e [6]).

2.5 Verificação da conformidade

O critério de conformidade do lote inspecionado consiste em satisfazer a seguinte expressão:

$$\hat{c}_{min} \geq c_{min} \quad (3)$$

onde \hat{c}_{min} é o valor do recobrimento mínimo do lote estimado com base na secção anterior, e c_{min} o recobrimento mínimo previsto em projeto.

Devido à incerteza estatística, o critério de conformidade definido em (2) implica risco para o construtor e riscos para o dono de obra. É de salientar que o valor máximo destes riscos pode ser estabelecido através do nível de confiança utilizado na estimativa do recobrimento mínimo, ou seja, o nível de confiança de 90 % está associado a um risco máximo do construtor de 90 % e a um risco máximo do dono de obra de 10 %.

Entenda-se como risco do construtor a probabilidade de rejeitar um lote (“bom”) com uma percentagem de recobrimentos abaixo de c_{min} inferior à permitida, e como risco do dono de obra a probabilidade de aceitar um lote (“mau”) com uma percentagem de recobrimentos abaixo de c_{min} superior à permitida. O nível de confiança escolhido para \hat{c}_{min} não deve ser muito elevado, sendo o valor de 75 %, à partida, um bom compromisso para a generalidade das obras.

3. PROCEDIMENTO B

Para o caso em que se pretenda apenas verificar a conformidade do lote, o documento da RILEM [2] fornece um procedimento mais simples que o Procedimento A onde não são assumidos quaisquer pressupostos relativamente à distribuição da população dos recobrimentos na estrutura.

Os passos a seguir são idênticos aos do Procedimento A, excluindo os passos 4 e 5.

Para verificar a conformidade basta contar o número de medições na amostra inferiores a c_{min} e compará-lo com o valor de aceitação A_c . Se o número de medições inferiores a c_{min} não for superior a A_c , o lote pode ser considerado como conforme. No Quadro 2 são apresentados valores para A_c em função do tamanho da amostra e do risco máximo do dono de obra.

Quadro 2. Valores de aceitação.

| Tamanho da amostra, N | Valor de aceitação, A_c | | | | | | | |
|-------------------------|----------------------------|-----|-----|----|----------------------------|-----|-----|----|
| | Percentil 5 | | | | Percentil 10 | | | |
| | Máx. risco do dono de obra | | | | Máx. risco do dono de obra | | | |
| | 50% | 25% | 10% | 5% | 50% | 25% | 10% | 5% |
| 10 | - | - | - | - | 0 | - | - | - |
| 15 | 0 | - | - | - | 0 | 0 | - | - |
| 20 | 0 | - | - | - | 1 | 0 | - | - |
| 25 | 0 | - | - | - | 1 | 0 | 0 | - |
| 30 | 0 | 0 | - | - | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 35 | 1 | 0 | - | - | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 40 | 1 | 0 | - | - | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 45 | 1 | 0 | 0 | - | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 50 | 1 | 0 | 0 | - | 4 | 2 | 1 | 1 |
| 55 | 2 | 1 | 0 | - | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 60 | 2 | 1 | 0 | 0 | 5 | 3 | 2 | 1 |
| 65 | 2 | 1 | 0 | 0 | 5 | 4 | 3 | 2 |
| 70 | 2 | 1 | 0 | 0 | 6 | 4 | 3 | 2 |
| 75 | 3 | 1 | 0 | 0 | 6 | 5 | 3 | 2 |
| 80 | 3 | 2 | 1 | 0 | 7 | 5 | 4 | 3 |
| 85 | 3 | 2 | 1 | 0 | 7 | 6 | 4 | 3 |
| 90 | 3 | 2 | 1 | 0 | 8 | 6 | 4 | 4 |
| 95 | 4 | 2 | 1 | 1 | 8 | 6 | 5 | 4 |
| 100 | 4 | 2 | 1 | 1 | 9 | 7 | 5 | 4 |
| 105 | 4 | 3 | 2 | 1 | 9 | 7 | 6 | 5 |
| 110 | 4 | 3 | 2 | 1 | 10 | 8 | 6 | 5 |
| 115 | 5 | 3 | 2 | 1 | 10 | 8 | 6 | 5 |
| 120 | 5 | 3 | 2 | 1 | 11 | 9 | 7 | 6 |
| 125 | 5 | 4 | 2 | 2 | 11 | 9 | 7 | 6 |
| 130 | 5 | 4 | 2 | 2 | 12 | 10 | 8 | 7 |
| 135 | 6 | 4 | 3 | 2 | 12 | 10 | 8 | 7 |
| 140 | 6 | 4 | 3 | 2 | 13 | 11 | 9 | 7 |
| 145 | 6 | 4 | 3 | 2 | 13 | 11 | 9 | 8 |
| 150 | 6 | 5 | 3 | 2 | 14 | 11 | 9 | 8 |
| 155 | 7 | 5 | 3 | 3 | 14 | 12 | 10 | 9 |
| 160 | 7 | 5 | 4 | 3 | 15 | 12 | 10 | 9 |
| 165 | 7 | 5 | 4 | 3 | 15 | 13 | 11 | 9 |
| 170 | 7 | 6 | 4 | 3 | 16 | 13 | 11 | 10 |
| 175 | 8 | 6 | 4 | 3 | 16 | 14 | 12 | 10 |
| 180 | 8 | 6 | 4 | 3 | 17 | 14 | 12 | 11 |
| 185 | 8 | 6 | 5 | 4 | 17 | 15 | 12 | 11 |
| 190 | 8 | 6 | 5 | 4 | 18 | 15 | 13 | 11 |
| 195 | 9 | 7 | 5 | 4 | 18 | 16 | 13 | 12 |
| 200 | 9 | 7 | 5 | 4 | 19 | 16 | 14 | 12 |
| 210 | 9 | 7 | 6 | 5 | 20 | 17 | 15 | 13 |
| 220 | 10 | 8 | 6 | 5 | 21 | 18 | 15 | 14 |
| 230 | 10 | 8 | 6 | 5 | 22 | 19 | 16 | 15 |
| 240 | 11 | 9 | 7 | 6 | 23 | 20 | 17 | 16 |
| 250 | 11 | 9 | 7 | 6 | 24 | 21 | 18 | 16 |

4. PROCEDIMENTO C

Para estruturas de grandes dimensões onde as condições de acesso possam ser limitadas, ou no caso de um elevado número de elementos prefabricados, pode ser mais apropriado adotar uma inspeção onde o item avaliado consiste numa subdivisão (unidade) do lote, em vez de numa medição individual da espessura do betão recobrimento num determinado ponto da estrutura. Para tal, os passos a seguir devem ser os seguintes:

1. Selecionar a população dos recobrimentos;
2. Definir um método de amostragem;
3. Executar as medições das espessuras dos recobrimentos;
4. Verificar a conformidade do recobrimento mínimo com as especificações.

O primeiro e terceiro passos são idênticos aos apresentados no Procedimento A. Contudo, na secção 4.2 é fornecida informação adicional para o terceiro passo.

4.1 Método de amostragem

A estrutura deve ser dividida em unidades com as mesmas dimensões. Uma unidade pode corresponder, por exemplo, a um elemento estrutural ou a uma subdivisão de um elemento estrutural. O número total das unidades que compõe o lote (tamanho do lote) deve ser contabilizado.

Uma amostra destas unidades deverá ser aleatoriamente escolhida, de tal forma que estas estejam distribuídas o melhor possível por todo o lote. O número de unidades que compõe a amostra, N , deverá ser escolhido com base no tamanho do lote e na qualidade limite pretendida (discutida na secção 4.3). Para tal, podem ser utilizados os valores recomendados pela norma internacional ISO 2859-2 [7] (ver Quadro 3).

4.2 Medição dos recobrimentos

Em cada unidade da amostra os recobrimentos devem ser medidos exaustivamente de forma que não haja dúvidas sobre a percentagem de recobrimentos abaixo do valor mínimo previsto c_{min} em projeto. Todas as unidades da amostra que apresentarem uma percentagem de recobrimentos abaixo de c_{min} superior à permitida devem ser classificadas como defeituosas.

4.3 Verificação da conformidade

O critério de conformidade deve ter por base a qualidade limite permitida, que pode ser definida como a percentagem de unidades defeituosas no lote (caso todas as unidades que compõem o lote fossem examinadas) à qual, para efeitos de inspeção, corresponde a uma probabilidade de aceitação reduzida.

Deve-se salientar que uma qualidade limite muito reduzida pode ser demasiado exigente, uma vez que, na prática, é possível ter uma estrutura com um recobrimento mínimo igual ao especificado mesmo que 50 % de todas as unidades estejam defeituosas. Assim, são propostos os valores de aceitação e os tamanhos da amostra prescritos na ISO 2859-1 [7] para as qualidades limite de 20 % e 32 %. Portanto, o lote pode ser considerado como conforme se a quantidade de unidades defeituosas na amostra não ultrapassar o valor de aceitação A_c estabelecido no Quadro 3, para a qualidade limite e o tamanho do lote estabelecidos antes da inspeção.

De modo a evitar a aceitação de lotes contendo unidades com recobrimentos excessivamente inferiores a c_{min} , é também recomendado adotar um critério adicional na classificação das unidades como defeituosas. Este critério pode ser, por exemplo, o facto de a unidade apresentar recobrimentos inferiores a c_{min} em mais de 10 mm, ao longo de um certa extensão permitida (comprimento ou área).

Quadro 3. Tamanhos da amostra e valores de aceitação (ISO 2859-2 [7]).

| Tamanho do lote | | Qualidade limite | |
|-----------------|-------|------------------|------|
| | | 20 % | 32 % |
| 16 a 25 | N | 9 | 6 |
| | A_c | 0 | 0 |
| 26 a 50 | N | 10 | 6 |
| | A_c | 0 | 0 |
| 51 a 90 | N | 10 | 8 |
| | A_c | 0 | 0 |
| 91 a 150 | N | 13 | 13 |
| | A_c | 0 | 1 |
| 151 a 280 | N | 20 | 13 |
| | A_c | 1 | 1 |
| 281 a 500 | N | 20 | 20 |
| | A_c | 1 | 3 |
| 501 a 1,200 | N | 32 | 32 |
| | A_c | 3 | 5 |
| 1,201 a 3,200 | N | 50 | 50 |
| | A_c | 5 | 10 |
| 3,201 a 10,000 | N | 80 | 80 |
| | A_c | 10 | 18 |
| > 10,000 | N | 125 | 80 |
| | A_c | 18 | 18 |

5. VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS PROCEDIMENTOS PROPOSTOS

No Quadro 4 são apresentadas de forma sumária as vantagens e desvantagens de cada um dos procedimentos atrás descritos.

Quadro 4. Vantagens e desvantagens dos procedimentos.

| | Procedimento A | Procedimento B | Procedimento C |
|--------------|---|--|--|
| Vantagens | <ul style="list-style-type: none"> • Permite estimar o recobrimento mínimo | <ul style="list-style-type: none"> • Análise de dados muito simples • Pouco afetado pela autocorrelação das medições | <ul style="list-style-type: none"> • Análise de dados simples • Não é afetado pela autocorrelação das medições • Eficiente para detetar zonas sistemáticas da estrutura com recobrimento insuficiente |
| Desvantagens | <ul style="list-style-type: none"> • Análise de dados trabalhosa • Muito afetado pela autocorrelação das medições | <ul style="list-style-type: none"> • Não permite estimar o recobrimento mínimo | <ul style="list-style-type: none"> • Não permite estimar o recobrimento mínimo • Não permite controlar os riscos máximos do construtor e do dono de obra |

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta comunicação pretende dar a conhecer o novo documento da RILEM [2] e dar apoio à inspeção da espessura do betão recobrimento nas estruturas, cujo interesse tem vindo a crescer nos últimos anos, dado o aumento da preocupação com as questões de durabilidade.

Para além do descrito nesta comunicação, o documento da RILEM [2] inclui ainda outros dois procedimentos apresentados no código alemão [3], exemplos de aplicação, indicações sobre as ações a desenvolver em caso de não conformidade e uma justificação teórica exhaustiva para cada um dos procedimentos.

REFERÊNCIAS

- [1] NP EN 13670 -1 – *Execução de estruturas em betão. Parte 1: Regras gerais*. IPQ, 2007.
- [2] Monteiro, A.; Gonçalves, A.; Gulikers, J.; Jacobs, F. – *Basis for statistical evaluation of measured cover depths in reinforcement concrete structures*. Chapter 9 of the State-of-the-Art Report. of the RILEM TC 230-PSC – *Performance-based specifications and control of concrete durability*. Ed. por H. Beushausen (em elaboração).
- [3] DBV-Merkblatt – *Betondeckung und Bewehrung nach Eurocode 2*. DBV (em alemão), 2011.
- [4] ISO 5725-2 – *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method*. ISO, 1994.
- [5] ISO 16204 – *Durability - Service life design of concrete structures*. ISO, 2012.
- [6] *fib Bulletin 34 – Model code for service life design*. fib Secretariat, 2006, Lausanne.
- [7] ISO 2859-2 – *Sampling procedures for inspection by attributes – Part 2: Sampling plans indexed by limiting quality level (LQ) for isolated lot inspection*. ISO, 1985.