

Influência da distribuição de espaçadores no cobrimento e na vida útil de lajes maciças

Influence of spacers distribution on the cover and on the service life of solid slabs

Vinícius Palm 

Ana Paula Maran 

Maria Fernanda Fávero Menna Barreto 

Denise Carpena Dal Molin 

João Ricardo Masuero 

Resumo

Para estruturas de concreto armado, a proteção das armaduras é fator fundamental para atingir o desempenho, e isso se dá através da qualidade do concreto e da espessura do cobrimento. Pesquisas apontam negligências quanto à especificação do cobrimento e a ineficácia dos procedimentos de execução. Como resultado, espessuras inadequadas são cada vez mais recorrentes. A falta de clareza das normas de execução quanto à distribuição dos espaçadores para obtenção do cobrimento projetado contribui para o agravamento da situação. Esta pesquisa consiste em um estudo de caso com diferentes distribuições entre espaçadores para a armadura positiva em lajes (padrão de obra e espaçamentos controlados de 20 cm, 40 cm, 60 cm e 80 cm). Tem-se como objetivo comparar as espessuras de cobrimento antes e depois da concretagem, associá-las à vida útil normativa e avaliar se as normas de projeto e execução são suficientes para auxiliar na obtenção do cobrimento. Constatou-se que o cobrimento mínimo para garantir a vida útil de projeto não é totalmente alcançado, porém o controle de execução e um método de disposição dos espaçadores influenciam significativamente a obtenção do cobrimento, sendo a distribuição entre espaçadores de 40 cm a que obteve melhor desempenho entre os espaçamentos avaliados.

Palavras-chave: Cobrimento. Distribuição dos espaçadores. Durabilidade. Vida útil.

Abstract

Reinforcement protection is a fundamental aspect in the performance of reinforced concrete structures, and it is achieved through concrete quality and cover thickness. Surveys have pointed to negligence regarding cover specifications and ineffective execution procedures. As a consequence, inadequate covers are increasingly recurrent. A factor that contributes to aggravate the problem is the lack of clarity of construction standards regarding the distribution of the spacers to obtain the planned cover. This research work consists in a case study with different distances between the spacers for positive reinforcement in slabs (work pattern and controlled spacing of 20 cm, 40 cm, 60 cm and 80 cm). The aim of this study is to compare the cover thicknesses before and after concreting, to associate them with the standard service life, as well as to evaluate whether the design and execution standards are sufficient to help obtain the cover. The study showed that the minimum cover to guarantee the design service life was not fully achieved, but execution control and a method for distributing the spacers would significantly influence the obtention of the cover, with a distance of 40 cm between spacers producing the best performance of all the spacing evaluated.

Keywords: Concrete cover. Spacers distribution. Durability. Service life.

¹Vinícius Palm
Universidade Federal do Rio Grande
do Sul
Porto Alegre - RS - Brasil

²Ana Paula Maran
Universidade Federal do Rio Grande
do Sul
Porto Alegre - RS - Brasil

³Maria Fernanda Fávero Menna
Barreto
Universidade Federal do Rio Grande
do Sul
Porto Alegre - RS - Brasil

⁴Denise Carpena Dal Molin
Universidade Federal do Rio Grande
do Sul
Porto Alegre - RS - Brasil

⁵João Ricardo Masuero
Universidade Federal do Rio Grande
do Sul
Porto Alegre - RS - Brasil

Recebido em 02/05/19
Aceito em 26/08/19

Introdução

A degradação precoce das estruturas é resultado do aparecimento de manifestações patológicas que geram problemas de qualidade e durabilidade. Sendo assim, as edificações são cada vez mais afetadas em termos de segurança, uso, estética e vida útil (DAL MOLIN *et al.*, 2016; MONTEIRO *et al.*, 2015).

A deterioração das armaduras em estruturas de concreto armado está relacionada aos processos de difusão, como a carbonatação e a penetração de íons agressivos (NILSSON; KAMALI-BERNARD; SANTHANAM, 2015; ABNT, 2014). Entre os principais mecanismos de deterioração, a corrosão de armadura está presente em todos os casos como um efeito de longo prazo (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011; TANG *et al.*, 2015).

O cobrimento da armadura influencia diretamente na durabilidade da estrutura, pois a camada com qualidade e espessura adequadas serve como barreira de proteção contra o efeito dos agentes agressivos, dificultando a penetração das substâncias nocivas no concreto e seu alcance às barras de aço (ROSTAM, 2005; MEDEIROS; HELENE, 2009; BUNGEY, 1989).

De modo geral, maiores cobrimentos proporcionam durabilidade mais prolongada. Entretanto, cobrimentos excessivos aumentam a expectativa de fissuras (MARSH, 2003; MOTA *et al.*, 2012), principalmente nas zonas de tração (NAVARRO *et al.*, 2018). Apesar disso, o aparecimento de fissuras se manifesta mais tardiamente, e, assim, o progresso de corrosão é mais lento (YALCINER; EREN; SENSOY, 2012; CUI; ALIPOUR, 2018; OTIENO; IKOTUN; BALLIM, 2019).

A inserção dos espaçadores em grande quantidade pode dar origem à passagem de água e íons cloreto devido ao fato de a interface espaçador-concreto apresentar maior porosidade, menor teor de cimento e, conseqüentemente, maior relação água-aglomerante (ALZYOUD; WONG; BUENFELD, 2016). Esse fato pode ser amenizado com o uso de espaçadores com texturas que permitam melhor aderência de interface (MUSLIN; WONG; BUENFELD, 2018).

Quanto às recomendações normativas, a NBR 6118 (ABNT, 2014) indica os valores de cobrimento nominal para cada elemento estrutural, associando-os a uma classe de agressividade ambiental. A norma permite a redução de 5 mm do cobrimento nominal para concretos com classe de resistência superior à mínima exigida para a correspondente classe de agressividade. Além disso, outros 5 mm podem ser reduzidos para projetos com controle rigoroso de execução. Entretanto, a norma não indica nenhum parâmetro que defina o controle de execução. Dessa forma, a especificação de cobrimento nominal tem margem para diversas interpretações.

Algumas normas internacionais (INSTRUCCIÓN..., 2008; BRITISH..., 2006; NEW..., 2006) relacionam a espessura de cobrimento de armadura com a vida útil requerida em projeto, de 50 ou 100 anos. Sabe-se que a durabilidade é dependente da espessura de cobrimento, e, assim, a vida útil desejada define o cobrimento mínimo a ser executado.

Para obter o cobrimento da armadura, a NBR 14931 (ABNT, 2004) recomenda a utilização de espaçadores na montagem do elemento estrutural a fim de garantir o correto posicionamento das barras de aço. Porém, nenhuma metodologia é indicada para o uso desses dispositivos, como distribuição ou quantidade.

Diversos trabalhos verificaram a existência de variabilidade da espessura de cobrimento efetivamente executada quando comparada com os valores especificados em projeto e as tolerâncias de execução permitidas em norma (MENNA BARRETO *et al.*, 2018; OLIVEIRA, 2018; GIGGHI, 2018; MARAN *et al.*, 2015; CAMPOS, 2013). As lajes são classificadas como elementos críticos, pois os cobrimentos medidos após a concretagem encontram-se abaixo dos cobrimentos mínimos permitidos (CAMPOS, 2013; MENNA BARRETO *et al.*, 2018).

As indicações propostas por normas internacionais (BRITISH..., 2001; INSTRUCCIÓN..., 2008) que dispõem de recomendações para distribuição de espaçadores servem como orientação para as intervenções em obra. O controle quanto à colocação e os critérios para a distribuição dos espaçadores trazem uma melhora nos resultados de cobrimento, quando comparado à situação inicial de execução, sem metodologia de uso de espaçadores (OLIVEIRA, 2018; GIGGHI, 2018; MARAN *et al.*, 2015).

O estudo proposto tem como objetivo avaliar a espessura de cobrimento executada antes e depois da concretagem, referente a diferentes distribuições de espaçadores para melhor orientação do emprego desses dispositivos. Além disso, busca-se relacionar as espessuras medidas com a vida útil normativa, por meio de um modelo matemático que considera as propriedades do concreto, as características da estrutura e a classificação do ambiente em que o estudo de caso está inserido. Com as medições dos cobrimentos efetivamente executados, foi avaliado como o controle de distribuição de espaçadores influencia no

atendimento às especificações normativas de cobrimento no projeto e execução, e, conseqüentemente, na vida útil.

Materiais e métodos

Características da obra

A obra selecionada para a realização desta pesquisa está localizada na cidade de Porto Alegre, RS. O empreendimento consiste em um condomínio residencial composto de três torres, com 15 pavimentos cada, e sua estrutura concebida em concreto armado moldado *in loco*. Suas lajes são maciças e foram executadas com a utilização de espaçadores plásticos para garantia do cobrimento especificado em projeto.

Características do projeto

Por meio dos projetos de fôrmas e armaduras, os pavimentos foram divididos em partes menores, denominadas quadrantes. Os quadrantes, definidos a partir da disposição de suas armaduras, tinham o mesmo diâmetro nas duas direções e consistiam em configuração semelhante ao das análises feitas em outros trabalhos (MARAN, 2015; MARAN *et al.*, 2015; MENNA BARRETO *et al.*, 2014), de forma a possibilitar a comparação entre eles.

Como o diâmetro da armadura influencia diretamente na obtenção do cobrimento, foram escolhidas lajes com barras de Ø5,0 mm e Ø6,3 mm, supostamente as configurações mais suscetíveis às deformações causadas pelo processo construtivo, como trânsito de operários e equipamentos sobre as armaduras (MARAN, 2015).

O cobrimento especificado em projeto foi de 25 mm, tanto na face inferior quanto na superior da laje. O projeto também apresentou duas observações importantes:

- (a) é obrigatório o uso de espaçadores plásticos para garantir o cobrimento da armadura; e
- (b) o cobrimento especificado considera controle rigoroso de execução.

Além disso, especificou-se a utilização de um concreto de 35 MPa, abatimento menor de 11 cm e módulo de deformação tangente inicial de 33,1 GPa. Não foi definido em projeto o tipo de cimento, agregados, adições e aditivos da dosagem do concreto, ficando a cargo da concreteira contratada. Também, não se definiu o método de transporte do concreto, que neste caso foi estabelecido pela construtora como bombeado.

O espaçador escolhido pela empresa foi o tipo multiapoio, e, embora tenha sido especificado 25 mm de cobrimento, utilizou-se para execução espaçadores de 20 mm. Ademais, não se identificou um padrão para disposição dos espaçadores na execução, situação comum nas atuais obras (SILVA, 2012; CAMPOS, 2013; MARAN, 2015; MENNA BARRETO *et al.*, 2018).

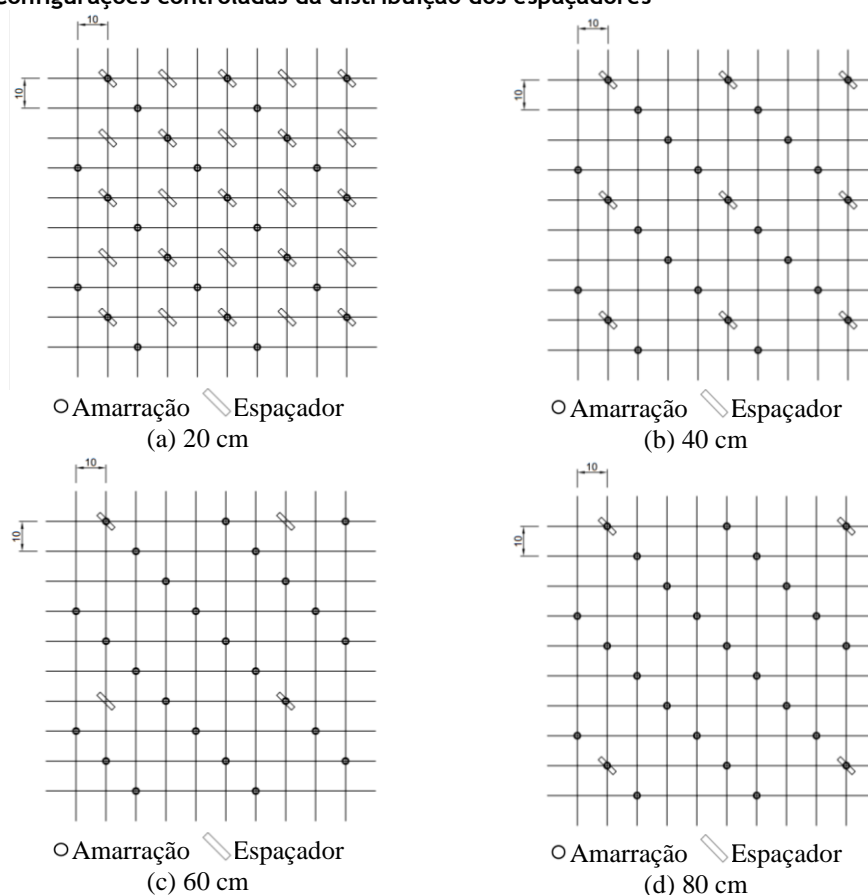
Medição do cobrimento

As medições do cobrimento foram realizadas nas armaduras positivas, em 20 pontos por laje, escolhidos aleatoriamente, em duas etapas: antes da concretagem (finalização da montagem das armaduras) e depois da concretagem (após a desforma).

As medições realizadas antes da concretagem foram feitas com um paquímetro com precisão de 0,01 mm. Já as medições após a concretagem foram realizadas com o auxílio de um pacômetro digital, que estima o valor do cobrimento da armadura com uma variação de mais ou menos 3 mm sob uma faixa de medição curta de até 60 mm de profundidade e precisão de 1 mm. Entretanto, com a posse do projeto estrutural e inserção da informação do diâmetro das barras de armadura no equipamento, as medições ficam mais apuradas, não havendo variação dentro da precisão do equipamento, e, por esse motivo, esta não foi considerada nas análises. Testes de aferição do pacômetro foram realizados anteriormente para comprovação de tal comportamento. Os dados foram apresentados considerando a precisão do pacômetro para manter as informações no mesmo padrão.

Foram realizadas medições em 18 lajes divididas em duas torres. Na primeira torre foram medidas lajes do 14º e do 15º pavimento, enquanto na segunda torre as medições foram realizadas no 5º pavimento. A geometria dos pavimentos, simétrica em dois sentidos, permitiu diferentes configurações em um mesmo andar, o que proporcionou maior amostragem de dados.

Figura 1 - Configurações controladas da distribuição dos espaçadores



Configuração das lajes medidas

Dentro dos pavimentos, foram escolhidas lajes com configurações equivalentes em termos de armaduras e variou-se o padrão na distribuição (espaçamento) dos espaçadores, de forma a identificar se esse fator é influente na obtenção do cobrimento final e qual a melhor disposição.

O padrão de distribuição dos espaçadores empregado na obra foi definido pelo operário encarregado das armaduras, que dispôs os dispositivos de maneira aleatória e sem controle.

Além do padrão da obra, foram empregados espaçadores distribuídos a cada 20 cm, 40 cm, 60 cm e 80 cm, seguindo recomendações internacionais (INSTRUCCIÓN..., 2008; BRITISH..., 2001), conforme a Figura 1.

Estimativa da vida útil

Para a estimativa da vida útil da estrutura, entre diversas metodologias existentes para o cálculo, escolheu-se o modelo desenvolvido por Possan (2010), exposto na Equação 1.

$$\text{Cobrimento} = k_c \cdot \left(\frac{20}{f_{ck}}\right)^{k_{fc}} \cdot \left(\frac{t}{20}\right)^{0,5} \cdot k_{ce} \cdot e^{\left[\left(\frac{k_{ad} \cdot ad^{1,5}}{40 + f_{ck}}\right) + \left(\frac{k_{CO2} \cdot CO_2^{0,5}}{60 + f_{ck}}\right) - \left(\frac{k_{UR} \cdot (UR - 0,58)^2}{100 + f_{ck}}\right)\right]} \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo:

Cobrimento = cobrimento necessário para atender à vida útil de projeto, em mm;

f_{ck} = resistência característica à compressão axial do concreto em MPa (para o estudo $f_{ck} = 35$);

k_c = fator variável referente ao tipo de cimento empregado (para cimento CII F, $k_c = 21,68$);

k_{fc} = fator variável referente à resistência à compressão axial, em função do tipo de cimento utilizado (para cimento CII F, $k_{fc} = 1,50$);

t = vida útil do concreto em anos (considerou-se a vida útil normalizada de 50 anos, $t = 50$);

ad = teor de adição pozolânica acrescido na dosagem do concreto, em % em relação à massa de cimento (na dosagem do concreto utilizou-se 7,5%, logo $ad = 7,5$);

k_{ad} = fator variável referente às adições pozolânicas da concreto – sílica ativa, metacaulim e cinza de casca de arroz – em função do tipo de cimento utilizado (para cimento CII F, $k_{ad} = 0,24$);

UR = umidade relativa média, em % (para o estudo utilizou-se $UR = 76,5\% = 0,765$);

k_{UR} = fator variável referente à umidade relativa, em função do tipo de cimento utilizado (para cimento CII F, $k_{UR} = 1100$);

CO_2 = teor de CO_2 da atmosfera, em % (para o estudo utilizou-se $CO_2 = 0,0405\%$).

k_{CO_2} = fator variável referente ao teor de CO_2 do ambiente em função do tipo de cimento utilizado (para cimento CII F, $k_{CO_2} = 18,00$); e

k_{ce} = fator variável referente à exposição à chuva em função das condições de exposição da estrutura (para ambiente interno protegido da chuva, $k_{ce} = 1,30$).

Tal modelo leva em consideração o avanço da frente de carbonatação em estruturas de concreto armado. Essa escolha motivou-se diante de sua maior facilidade de aplicação, pois emprega valores tabelados por Possan (2010) para os coeficientes utilizados na equação.

Para o cálculo da estimativa da vida útil, utilizaram-se informações fornecidas pela construtora quanto aos materiais empregados no concreto e as informações da cidade de Porto Alegre, RS, no que se refere ao ambiente de exposição.

Sendo assim, considerou-se concreto classe 35, produzido com cimento CII F 40, com acréscimo de 7,5% de adição pozolânica na dosagem do concreto; já o elemento estrutural se encontra inserido em ambiente urbano com teor de CO_2 de 0,0405% (NATIONAL..., 2018), umidade relativa de 76,5% (média anual para Porto Alegre, fornecida pelo INMET (INSTITUTO..., 2018), exposição interna protegida da chuva (situação mais crítica).

Para alcançar a vida útil de projeto (VUP) mínima normalizada de 50 anos (ABNT, 2013), diante das características consideradas do concreto e do meio ambiente, a estrutura analisada demandou um cobrimento mínimo de 16,2 mm.

Resultados e discussões

Considerações sobre o cobrimento

No projeto, ao especificar um cobrimento de 25 mm e ao considerar controle rigoroso de execução, subentende-se pela NBR 6118 (ABNT, 2014) que há tolerância de 5 mm para a execução do cobrimento. Sendo assim, o cobrimento mínimo que deveria ser respeitado em todos os pontos do elemento estrutural era de 20 mm. Ressalta-se que dados como cobrimento nominal, tolerância de execução e cobrimento mínimo deveriam estar claramente expostos no projeto, não permitindo margens para suposições.

Ao adotar incorretamente um espaçador de 20 mm, mantendo-se um controle rigoroso de execução descrito em projeto, a equipe responsável pela execução alterou o cobrimento mínimo de 20 mm para 15mm, uma vez que não é permitido eliminar a tolerância de execução. Dessa forma, nesta pesquisa considerou-se como cobrimento mínimo de execução a ser atendido o valor de 15 mm.

Analisado sobre uma perspectiva de desempenho e vida útil, no que diz respeito à carbonatação, a partir dos materiais utilizados e das condições de exposição, o cobrimento mínimo para atingir uma vida útil estimada de 50 anos foi de 16,2 mm. Esse cobrimento deve ser garantido na execução, caso contrário afetará a durabilidade da estrutura (ABNT, 2014; DEUTSCHES..., 2008; INSTRUCCIÓN..., 2008; BRITISH..., 2006; INSTITUTO..., 2005; INSTITUTO..., 1987).

A adoção de espaçadores de 20 mm pela equipe de obra não foi uma decisão tecnicamente correta, uma vez que, para atender ao cobrimento mínimo, seria necessário que o cobrimento em todos os pontos da armadura não fosse menor que o tamanho do espaçador utilizado. Nessa situação não há tolerância de execução, e mesmo um controle rigoroso exige tolerância mínima de 5 mm. Sendo assim, os espaçadores adotados deveriam possuir dimensões do cobrimento nominal especificado em projeto (25 mm).

Cobrimentos antes da concretagem

Os cobrimentos medidos antes da concretagem, obtidos em lajes executadas segundo os padrões da obra, encontram-se expostos na Tabela 1, em que cobrimentos inferiores ao mínimo de execução (15mm) estão destacados em vermelho. Cobrimentos iguais ou superiores a 15 mm e inferiores ao estimado pelo modelo empírico para garantia da vida útil de projeto de 50 anos (16,2 mm) estão destacados em laranja.

O cobrimento médio é de 13,7 mm para armaduras de 6,3 mm e de 10,8 mm para armaduras de 5,0 mm. Observa-se que, assim como em Maran (2015) e Menna Barreto *et al.* (2014), o cobrimento tende a ser menor para armaduras de menor diâmetro, apontando para a influência da rigidez da malha da armadura utilizada na obtenção do cobrimento. Destaca-se a grande variação da medida dos cobrimentos, desde inexistentes até 1,5 vez o cobrimento do espaçador empregado (20 mm). Além disso, ressalta-se a grande ocorrência de valores inferiores ao cobrimento mínimo de execução (15mm) e do cobrimento mínimo previsto pelo modelo empírico para garantia da vida útil de projeto (16,2 mm).

Foram observadas, durante a concretagem, situações como grandes áreas sem espaçadores, assim como espaçadores tombados ou mal posicionados, fôrmas sujas, até 14 operários trabalhando sobre a laje simultaneamente, algumas amarrações e reposicionando de espaçadores plásticos de última hora, e mangote da bomba disposto diretamente sobre a malha existente. Essa é uma situação recorrente em diversas obras (CAMPOS, 2013; MARAN *et al.*, 2014; FREIBERGER, 2015; GIGGHI, 2018; OLIVEIRA, 2018), como mostra a Figura 2.

As Tabelas 2 e 3 mostram as medições de cobrimento realizadas antes da concretagem na segunda e na terceira laje respectivamente. Observa-se que, quando um padrão definido é seguido, não importando qual seja, identifica-se redução no coeficiente de variação devido ao aumento do controle, assim como ocorreu em Maran *et al.* (2015). Além disso, constatam-se valores médios mais próximos da dimensão do espaçador (20 mm) e redução da quantidade de cobrimento abaixo do mínimo estimado pelo modelo empírico (16,2 mm).

Tabela 1 - Valores dos cobrimentos medidos antes da concretagem sem controle do distanciamento dos espaçadores

VALORES DE COBRIMENTO EM LAJES (mm)						
Configuração: padrão da obra					Pavimento: 14° - Torre 2	
ANTES DA CONCRETAGEM						
Lajes	L1 - 6,3 mm (5,3x7,4 m)	L2 - 6,3 mm (5,3x7,4 m)	L3 - 6,3 mm (5,3x7,4 m)	L4 - 6,3 mm (5,3x7,4 m)	L5 - 5,0 mm (5,0x7,3 m)	L6 - 5,0 mm (5,0x7,3 m)
Espaçadores	sem critério	sem critério	sem critério	sem critério	sem critério	sem critério
1	17	20	18	10	0	20
2	16	19	11	9	10	19
3	10	19	8	2	9	3
4	22	9	14	22	20	0
5	19	20	20	14	12	5
6	13	0	20	10	19	9
7	6	3	17	20	14	20
8	13	0	20	19	5	2
9	19	20	15	14	0	20
10	10	22	10	18	0	10
11	19	10	3	0	15	10
12	19	4	25	0	3	0
13	19	5	26	12	1	14
14	21	23	24	20	20	12
15	0	13	14	11	18	1
16	10	20	10	5	20	10
17	30	15	6	7	21	0
18	12	12	10	1	7	19
19	20	9	10	19	25	13
20	14	13	16	20	18	7
Média	15,5	12,8	14,9	11,7	11,9	9,7
Desvio padrão	6,5	7,5	6,4	7,4	8,3	7,3
Coef. variação	42,4%	58,8%	43,2%	63,3%	69,7%	75,5%

Figura 2 - Condições durante a concretagem do pavimento



Tabela 2 - Valores de cobrimento medidos antes da concretagem com controle do distanciamento dos espaçadores

VALORES DE COBRIMENTO EM LAJES (mm)								
Configuração: padrões definidos					Pavimento: 5º - Torre 3			
ANTES DA CONCRETAGEM								
Lajes	L7 - 6,3 mm (3,9x7,4 m)	L8 - 6,3 mm (5,0x7,4 m)	L9 - 6,3 mm (5,0x7,4 m)	L10 - 6,3 mm (4,7x7,4 m)	L11 - 5,0 mm (3,2x4,9 m)	L12 - 5,0 mm (3,2x4,9 m)	L13 - 5,0 mm (3,5x4,25 m)	L14 - 5,0 mm (4,9x5,6 m)
Espaçadores	cada 20 cm	cada 40 cm	cada 60 cm	cada 80 cm	cada 20 cm	cada 40 cm	cada 60 cm	cada 80 cm
1	26	22	20	19	21	20	21	22
2	22	19	16	19	22	23	22	20
3	18	18	17	19	19	17	20	20
4	21	20	21	21	17	21	20	16
5	22	21	22	13	21	19	20	20
6	21	21	22	14	23	22	21	8
7	18	21	23	21	21	19	23	21
8	23	22	10	19	23	20	19	25
9	18	22	19	9	21	20	9	8
10	21	22	22	33	19	21	22	15
11	24	21	21	21	17	21	19	15
12	23	20	21	18	25	26	25	5
13	20	20	22	23	25	19	19	12
14	22	20	21	21	20	23	21	20
15	21	22	20	17	22	22	20	19
16	20	22	19	22	22	27	4	21
17	23	24	20	19	22	19	19	18
18	21	20	10	18	25	23	17	23
19	25	21	17	18	23	21	21	17
20	21	23	18	21	23	13	18	15
Média	21,5	21,1	19,1	19,3	21,6	20,8	19,0	17,0
Desvio padrão	2,2	1,4	3,6	4,6	2,3	3,0	4,7	5,3
Coef. variação	10,1%	6,6%	19,1%	24,1%	10,8%	14,5%	24,7%	31,4%

Tabela 3 - Valores de cobrimento medidos antes da concretagem com controle no distanciamento dos espaçadores

VALORES DE COBRIMENTO EM LAJES (mm)				
Configuração: padrões definidos			Pavimento: 15° - Torre 2	
ANTES DA CONCRETAGEM				
Lajes	L15 - 6,3 mm (5,3x6,0 m)	L16 - 6,3 mm (5,3x6,0 m)	L17 - 6,3 mm (5,3x6,0 m)	L18 - 6,3 mm (5,3x6,0 m)
Espaçadores	cada 20 cm	cada 40 cm	cada 60 cm	cada 80 cm
1	21	21	21	18
2	22	24	22	14
3	23	24	21	18
4	19	25	15	11
5	23	19	21	12
6	21	19	18	22
7	20	20	20	16
8	16	20	13	17
9	19	19	22	13
10	21	16	19	19
11	20	21	15	13
12	24	22	15	18
13	18	22	10	19
14	26	19	24	19
15	21	19	30	20
16	20	20	19	19
17	18	15	14	19
18	20	21	22	15
19	22	14	19	11
20	18	23	29	18
Média	20,6	20,2	19,5	16,6
Desvio padrão	2,3	2,9	5,0	3,2
Coef. variação	11,4%	14,3%	25,7%	19,5%

Cobrimentos após a concretagem

Os cobrimentos medidos após a concretagem, realizados em lajes executadas conforme o padrão da obra, estão mostrados na Tabela 4.

Quando se comparam os valores medidos antes da concretagem (Tabela 1) com os de depois da concretagem (Tabela 4), identifica-se aumento no cobrimento médio e diminuição no coeficiente de variação. No entanto, a média ainda está abaixo do cobrimento proporcionado pelo espaçador de 20 mm. Observa-se grande ocorrência de cobrimentos menores que o mínimo estimado pelo modelo empírico (16,2 mm) e pelas considerações da execução (15 mm).

Diferentemente da configuração padrão da obra, para os padrões definidos de distribuição de espaçadores (20 cm, 40 cm, 60 cm e 80 cm), os valores médios de cobrimento antes da concretagem (Tabelas 2 e 3) foram, em geral, superiores aos obtidos depois da concretagem (Tabelas 5 e 6).

Pôde-se verificar tendência de diminuição nos valores médios de cobrimento à medida que o espaçamento entre espaçadores aumentava, assim como em Maran *et al.* (2015). O inverso ocorreu com o coeficiente de variação. Identificou-se aumento na quantidade de valores abaixo do mínimo estimado pelo modelo empírico (16,2 mm) ou de execução (15 mm) após a concretagem.

Andrade (2001) estabelece uma classificação do nível de controle de execução com características qualitativas baseadas no coeficiente de variação da espessura de cobrimento. Um controle de execução classificado como alto apresenta um plano efetivo de distribuição dos espaçadores, emprego de espaçadores adequados e controle rigoroso do lançamento do concreto nas fôrmas. O autor classifica o nível de controle como alto quando o coeficiente de variação se restringe a um valor máximo de 15%, nível médio de 35% e nível baixo de 55%.

Neste trabalho nenhuma medição apresentou valor de coeficiente de variação que corresponda ao controle rigoroso de execução. Para as medições com padrões definidos, a maioria ficou no nível de controle médio, já para a configuração padrão da obra, todos os valores ficaram no nível baixo de controle.

Sendo assim, não há evidências de um controle rigoroso na execução, nem mesmo após as intervenções na distribuição dos espaçadores, embora com estas se tenha percebido melhora na classificação de nível de controle definido por Andrade (2001).

A partir disso, para definir controle rigoroso e se beneficiar da redução da tolerância de execução do cobrimento, não bastam a indicação do uso de espaçadores, como cita a NBR 14931 (ABNT, 2004), e o controle de sua distribuição. Tem-se de controlar outros parâmetros, como diâmetro, amarração e espaçamento entre barras de armadura (COMITÉ..., 2009), assim como a qualidade dos espaçadores (MENNA BARRETO *et al.*, 2018).

Tabela 4 - Valores de cobrimento medidos depois da concretagem sem controle no distanciamento dos espaçadores

VALORES DE COBRIMENTO EM LAJES (mm)						
Configuração: padrão da obra				Pavimento: 14° - Torre 2		
DEPOIS DA CONCRETAGEM						
Lajes	L1 - 6,3 mm (5,3x7,4 m)	L2 - 6,3 mm (5,3x7,4 m)	L3 - 6,3 mm (5,3x7,4 m)	L4 - 6,3 mm (5,3x7,4 m)	L5 - 5,0 mm (5,0x7,3 m)	L6 - 5,0 mm (5,0x7,3 m)
Espaçadores	sem critério	sem critério	sem critério	sem critério	sem critério	sem critério
1	27	4	25	13	17	23
2	8	8	32	15	6	18
3	15	10	14	20	15	11
4	14	7	12	11	8	9
5	22	16	15	13	11	15
6	30	11	19	26	9	13
7	9	7	10	15	3	17
8	11	26	9	20	14	16
9	20	23	16	12	5	6
10	11	16	8	15	19	32
11	18	13	3	20	12	19
12	12	20	20	14	16	17
13	13	17	14	0	35	8
14	31	16	11	17	9	2
15	20	7	9	9	21	16
16	11	9	10	15	16	11
17	27	13	7	16	15	37
18	32	17	19	8	12	0
19	9	18	18	12	10	15
20	18	11	16	18	18	4
Média	17,9	13,5	14,4	14,5	13,6	14,5
Desvio padrão	7,9	5,8	6,7	5,4	7,0	9,1
Coef. variação	44,2%	43,3%	46,7%	37,5%	51,7%	63,2%

Tabela 5 - Valores de cobrimento medidos depois da concretagem com controle no distanciamento dos espaçadores

VALORES DE COBRIMENTO EM LAJES (mm)								
Configuração: padrões definidos						Pavimento: 5° - Torre 3		
DEPOIS DA CONCRETAGEM								
Lajes	L7 - 6,3 mm (3,9x7,4 m)	L8 - 6,3 mm (5,0x7,4 m)	L9 - 6,3 mm (5,0x7,4 m)	L10 - 6,3 mm (4,7x7,4 m)	L11 - 5,0 mm (3,2x4,9 m)	L12 - 5,0 mm (3,2x4,9 m)	L13 - 5,0 mm (3,5x4,25 m)	L14 - 5,0 mm (4,9x5,6 m)
Espaçadores	cada 20 cm	cada 40 cm	cada 60 cm	cada 80 cm	cada 20 cm	cada 40 cm	cada 60 cm	cada 80 cm
1	15	20	18	11	19	12	18	8
2	11	20	16	12	21	19	22	12
3	16	16	13	15	21	18	11	18
4	20	30	18	16	17	12	15	13
5	13	17	7	10	23	21	28	21
6	21	14	13	17	15	15	19	23
7	14	18	17	33	15	8	16	21
8	19	19	3	20	14	16	8	11
9	12	16	33	16	23	18	11	15
10	15	21	12	15	14	21	25	26
11	17	18	16	16	16	20	18	9
12	8	12	11	12	26	7	9	20
13	20	22	21	9	7	15	17	8
14	22	20	13	15	11	23	18	14
15	20	5	9	14	16	13	19	12
16	15	20	14	10	12	19	10	13
17	12	19	7	5	26	22	19	18
18	18	20	15	16	19	30	10	16
19	17	15	16	17	23	24	30	19
20	16	16	17	0	20	18	22	30
Média	16,1	17,9	14,5	14,0	17,9	17,6	17,3	16,4
Desvio padrão	3,7	4,8	6,2	6,4	5,1	5,5	6,2	6,0
Coef. variação	23,1%	26,7%	42,9%	46,1%	28,4%	31,5%	36,1%	36,7%

Tabela 6 - Valores de cobertura medidos depois da concretagem com controle no distanciamento dos espaçadores

VALORES DE COBRIMENTO EM LAJES (mm)				
Configuração: padrões definidos			Pavimento: 15° - Torre 2	
DEPOIS DA CONCRETAGEM				
Lajes	L15 - 6,3 mm (5,3x6,0 m)	L16 - 6,3 mm (5,3x6,0 m)	L17 - 6,3 mm (5,3x6,0 m)	L18 - 6,3 mm (5,3x6,0 m)
Espaçadores	cada 20 cm	cada 40 cm	cada 60 cm	cada 80 cm
1	20	10	16	24
2	21	19	21	13
3	19	23	20	16
4	16	28	15	17
5	20	19	7	21
6	21	23	11	14
7	22	15	26	25
8	21	23	22	23
9	21	22	15	24
10	15	15	13	18
11	25	24	19	17
12	23	20	20	11
13	16	17	25	18
14	13	12	12	16
15	9	29	30	16
16	17	22	23	18
17	22	25	15	8
18	28	17	16	26
19	10	31	14	17
20	20	17	11	15
Média	19,0	20,6	17,6	17,9
Desvio padrão	4,7	5,5	5,8	4,8
Coef. variação	25,0%	26,9%	33,1%	26,7%

Análise estatística

A partir dos dados apresentados (Tabelas 1 a 6), realizou-se uma análise de variância (ANOVA), apresentada na Tabela 7, para verificar a influência dos fatores controlados na pesquisa.

Considerando um nível de significância de 5%, é possível afirmar que existem diferenças significativas entre as etapas, ou seja, entre os cobrimentos obtidos antes e depois da concretagem. Esse resultado está de acordo com os encontrados por Campos (2013), Gigghi (2018) e Oliveira (2018), e já era esperado, uma vez que há a influência das solicitações sobre a armadura durante a concretagem, afetando o cobrimento final.

Diferentemente do estudo realizado por Menna Barreto *et al.* (2014) e Maran (2015), o diâmetro das armaduras não se mostrou um fator influente, muito provavelmente por terem sido avaliados apenas dois diâmetros próximos ($\varnothing 5,0$ mm e $\varnothing 6,3$ mm) naquela pesquisa, enquanto em Menna Barreto *et al.* (2014) e Maran (2015) foram avaliados mais diâmetros.

A distribuição dos espaçadores (Obra, 20 cm, 40 cm, 60 cm e 80 cm) também apresentou diferença significativa como em Maran *et al.* (2015), assim como sua interação com as etapas (antes e depois da concretagem). Sendo assim, realizou-se uma comparação múltipla de médias para cada distribuição nas etapas antes (Figura 3) e depois da concretagem (Figura 4).

Quanto à durabilidade e garantia da vida útil da estrutura, o importante é o cobrimento da armadura após a concretagem. Dessa forma, com a Figura 4, é possível afirmar que o melhor desempenho (cobrimento mais próximo ao proporcionado pelo espaçador – 20 mm) obteve-se com as configurações com espaçadores de 20 cm e de 40 cm, uma vez que não é possível diferenciá-las, mas é possível distingui-las das demais configurações. Sob a ótica econômica, a recomendação é um espaçamento maior por proporcionar menor consumo de espaçadores, logo a distribuição mais recomendada, dentro das limitações desta pesquisa, é a de 40 cm.

Por outro lado, quando realizada uma análise de probabilidade de ocorrência (Tabela 8), segundo uma distribuição normal, de valores abaixo do mínimo estimado pelo modelo empírico (16,2 mm) e acima do

especificado no projeto (25 mm), percebe-se tendência de aumento de cobrimentos fora da tolerância à medida que se aumenta a distribuição dos espaçadores. Entretanto, para todas as configurações controladas, a probabilidade de ocorrência de medidas fora da tolerância foi inferior à configuração de obra desta pesquisa e à da realizada por Menna Barreto *et al.* (2018).

Tabela 7 - Análise de variância (ANOVA) com os resultados lidos em obra

Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	Teste F	Prob.	Influência
A (Etapa)	328,9	1	328,9	10,239	0,001437	S
B (Distribuição dos espaçadores)	4204,3	4	1051,1	32,721	0,000000	S
C (Diâmetro)	23,4	1	23,4	0,729	0,393587	N
AB	862,3	4	215,6	6,711	0,000027	S
AC	11,2	1	11,2	0,349	0,554992	N
BC	166,2	4	41,5	1,293	0,271132	N
ABC	73,8	4	18,4	0,574	0,681531	N
Erro	22485,4	700	32,1			

Figura 3 - Comparação múltipla de médias entre distribuição dos espaçadores antes da concretagem

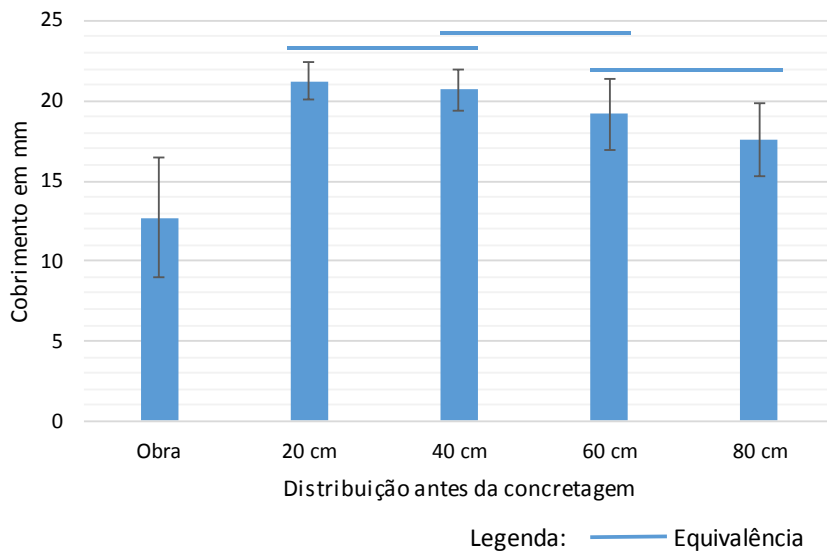


Figura 4 - Comparação múltipla de médias entre distribuição dos espaçadores depois da concretagem

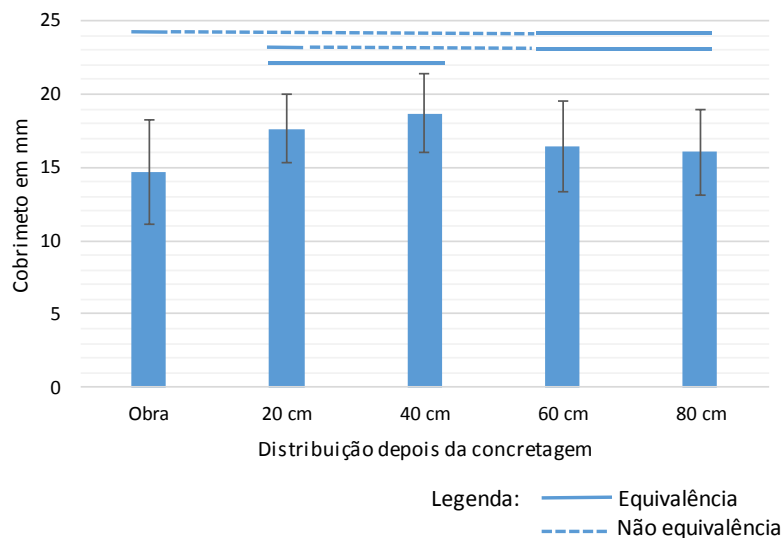


Tabela 8 - Resumo da probabilidade de ocorrência de cobrimentos medidos após a concretagem inferiores ao mínimo estimado pelo modelo empírico (16,2 mm), menores do que a dimensão do cobrimento (20 mm) e maiores do que o projetado (25 mm)

TABELA RESUMO - COBRIMENTO RESULTANTE					
Ø	Disposição dos espaçadores	Pontos lidos	Probabilidade de ocorrência de cobrimento (c)		
			c < 16,2 mm	c < 20 mm	c > 25 mm
5,0 mm	cada 20 cm	20	36,91%	66,01%	8,14%
5,0 mm	cada 40 cm	20	40,36%	67,11%	8,89%
5,0 mm	cada 60 cm	20	43,31%	67,05%	10,68%
5,0 mm	cada 80 cm	20	49,00%	72,87%	7,45%
5,0 mm	sem critério	40	60,78%	77,22%	8,57%
6,3 mm	cada 20 cm	40	38,49%	71,32%	4,57%
6,3 mm	cada 40 cm	40	28,30%	55,85%	13,66%
6,3 mm	cada 60 cm	40	51,30%	74,28%	7,12%
6,3 mm	cada 80 cm	40	52,02%	75,55%	6,23%
6,3 mm	sem critério	80	56,96%	77,28%	6,66%

A tolerância foi calculada levando-se em consideração que os cobrimentos abaixo do valor mínimo estimado pelo modelo empírico (16,2 mm) prejudicam a durabilidade da estrutura, diminuindo a vida útil de projeto (50 anos), e que cobrimentos maiores do que o projetado (25 mm) prejudicam o desempenho estrutural.

Os dados apresentados na Tabela 8 confirmam que, sem critério de distribuição de espaçadores, a probabilidade de ocorrência de valores insatisfatórios é maior do que na existência de critérios. A tabela também mostra que, em lajes, valores inferiores ao mínimo para armadura positiva têm maior tendência de ocorrência quando comparados com os superiores ao projetado, o que pode ser intuído pelo próprio processo de execução em obra.

Apesar de o controle de execução proporcionar melhoria nos valores de cobrimento, nenhuma configuração atinge a prerrogativa normativa em que todos os valores devem atender ao cobrimento mínimo (ABNT, 2014). Sendo assim, mais estudos quanto à distribuição de espaçadores e sua qualidade são necessários para a garantia de durabilidade da estrutura.

Conclusão

A partir dos resultados alcançados no presente estudo, constata-se que os cobrimentos medidos após a execução não atendem às especificações de projeto, das normativas e do modelo empírico de estimativa de vida útil (16,2 mm).

A falta de informação no projeto sobre o cobrimento, tais como classe de agressividade considerada, cobrimento mínimo e especificação de controle rigoroso de execução, abre margem para diferentes interpretações das tolerâncias de execução, o que reflete a ausência de exigências e diretrizes normativas nesse aspecto.

A garantia da obtenção de um cobrimento adequado não é um problema resolvido com o padrão de execução de obras usualmente empregado: operários e equipamentos trafegando diretamente sobre as armaduras. O suporte normativo existente no Brasil sobre o assunto indica apenas que é preciso utilizar espaçadores, mas não há nenhuma indicação de quais critérios de desempenho que os espaçadores devam cumprir e qual o número ou disposição deles para se atingir o cobrimento exigido.

Nenhum dos padrões de distribuição de espaçadores estudados garantiu o cobrimento mínimo em todos os pontos. Entretanto, a existência de uma metodologia de distribuição dos espaçadores contribuiu significativamente para a melhora da espessura de cobrimento. Neste estudo, a distribuição de espaçadores com o melhor desempenho é de 40 cm.

Ressalta-se que a solução do problema com espessuras de cobrimento pode não ser obtida apenas com a distribuição dos espaçadores e pode envolver outras considerações, como a adoção de armaduras de maior diâmetro (mais rígidas), de uma tolerância maior de execução para o cobrimento e/ou de plataformas para tráfego de operários e equipamentos, entre outras.

As tolerâncias de cobrimento da NBR 6118 (ABNT, 2014) parecem ser insuficientes para o padrão de execução empregado nas atuais obras. Não há evidências que corroborem o uso de uma tolerância de apenas

5 mm com um padrão de execução rigoroso, visto que se controlaram a quantidade e a disposição dos espaçadores e, mesmo assim, as medições ultrapassaram a tolerância de 5 mm.

A associação da espessura de cobertura nominal com valores de tolerância de execução bem definidos com a vida útil projetada é cada vez mais necessária e deve ser abordada em normas e projetos.

Referências

- ALZYOUD, S.; WONG, H. S.; BUENFELD, N. R. Influence of reinforcement spacers on mass transport properties and durability of concrete structures. **Cement and Concrete Research**, v. 87, p. 31-44, 2016.
- ANDRADE, J. J. de O. **Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras**: iniciação por cloretos. Porto Alegre, 2001. Tese (Doutorado em Engenharia) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: execução de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 7973-2**: spacers and chairs for steel reinforcement and their specification: part 2: fixing and application of spacers and chairs and tying of reinforcement. London, 2001.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 8500-1**: concrete complementary british standard to BS EN 206-1: part 1: method of specifying and guidance for the specifier. London, 2006.
- BUNGEY, J. H. Environmental effects on surface measurements. In: INTERNATIONAL CONFERENCE BAHRAIN SOCIETY OF ENGINEERS, 3., Bahrain, 1989. **Proceedings [...]** Bahrain, 1989.
- COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. **EN 13670**: execution of concrete structure: part 1: geral. Brussels, 2009.
- CAMPOS, D. de. **Cobertura de armadura em estruturas de concreto armado**: análise comparativa entre valores antes, durante e depois da concretagem. Porto Alegre, 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- CUI, Z.; ALIPOUR, A. Concrete cover cracking and service life prediction of reinforced concrete structures in corrosive environments. **Construction and Building Materials**, v. 159, p. 652-671, 2018.
- DAL MOLIN, D. C. C. *et al.* Contribuição à previsão da vida útil de estruturas de concreto. In: KAZMIERCZAK, C. S.; FABRICIO, M. M. (org.). **Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras**: materiais e sustentabilidade. São Carlos: Scienza, 2016.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 1045-1**: concrete, reinforced and prestressed concrete structures: part 1: design and construction. Berlin, 2008.
- FREIBERGER, L. G. **Cobertura de armaduras em estruturas de concreto armado: análise comparativa entre os valores especificados em projeto e os executados em obras no município de Santa Rosa**. Santa Rosa, 2015. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Santa Rosa, 2015.
- GHIGGI, A. C. **A influência da distribuição de espaçadores no cobertura de armaduras em estruturas de concreto armado**. Lajeado, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2018.
- INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD. **CBH 87**: hormigón armado. La Paz, 1987.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normal Climatológica do Brasil 1981-2010**: umidade relativa do ar. 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso em: 17 nov. 2018.

INSTITUTO URUGUAYO DE NORMAS TÉCNICAS. **UNIT 1050**: proyecto y ejecución de estructuras de hormigón em masa o armado. Uruguay, 2005.

INSTRUCCIÓN ESPAÑOLA DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL. **EHE 08**: capítulo XIII: ejecución. España, 2008.

MARAN, A. P. **Análise da influência da distribuição de espaçadores na garantia da espessura de cobrimento especificada em lajes de concreto armado**. Porto Alegre, 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

MARAN, A. P. *et al.* Assessment of cover to reinforcement in slabs using different spacer and tying distances. **Ibracon Structures and Materials Journal**, v. 8, n. 5, p. 625-643, 2015.

MARAN, A. P. *et al.* da espessura de cobrimento de armadura em uma laje com diferentes distanciamentos entre espaçadores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 56., Natal, 2014. **Anais [...]** Natal, 2014.

MARSH, B. Specification and achievement of cover to reinforcement. **Advanced Concrete Technology Set**, v. 1, p. 1-9, 2003.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. In: CONCRETO: Ciência e Tecnologia. São Paulo: Ibracon, 2011.

MEDEIROS, M. H. F.; HELENE, P. Surface treatment of reinforced concrete in marine environment: influence on chloride diffusion coefficient and capillary water absorption. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 3, p. 1476-1484, 2009.

MENNA BARRETO, M. F. *et al.* **Cover to steel in reinforced concrete structures and their spacers. Concrete cover thickness and plastic spacers**. LAP LAMBERT Academic Publishing. Mauritius, 2018.

MENNA BARRETO, M. F. *et al.* Influência do diâmetro da armadura do cobrimento final em lajes de concreto armado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 56., Natal, 2014. **Anais [...]** Natal, 2014.

MONTEIRO, A. V. *et al.* Basis for the statistical evaluation of measured cover depths in reinforced concrete structures. In: BEUSHAUSEN, H.; LUCO, L. F. (ed.). **Performance-based specifications and control of concrete durability**. New York: Springer, 2015.

MOTA, J. M. F. *et al.* Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido ao ataque de íons cloreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 54., Maceió, 2012. **Anais [...]** Maceió, 2012.

MUSLIM, F.; WONG, H. S.; BUENFELD, N. R. The interface bond strength between reinforcement spacer and concrete. In: YOUNG RESEARCHERS' FORUM: INNOVATION IN CONSTRUCTION MATERIALS, 4., England, 2018. **Proceedings [...]** England, 2018.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Recent Global Monthly Mean CO₂**. U. S. Departamento of Commerce. 2018. Disponível em: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>. Acesso em: 17 nov. 2018.

NAVARRO, I. J. *et al.* Life cycle impact assessment of corrosion preventive designs applied to prestressed concrete bridge decks. **Journal of Cleaner Production**, v. 196, p. 698-713, 2018.

NEW ZEALAND STANDARD. **NZS 3101-1**: concrete structures standard: part 1: the design of concrete structures. Wellington, 2006.

NILSSON, L. O.; KAMALI-BERNARD, S.; SANTHANAM, M. Durability of reinforced concrete structures and penetrability. In: BEUSHAUSEN, H.; LUCO, L. F. (ed.). **Performance-based specifications and control of concrete durability**. New York: Springer, 2015.

OLIVEIRA, G. S. **Avaliação da influência da distribuição de espaçadores e amarração das armaduras no cobrimento de concreto às armaduras de lajes: análise em obras**. Porto Alegre, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

OTIENO, M.; IKOTUN, J.; BALLIM, Y. Experimental investigations on the influence of cover depth and concrete quality on time to cover cracking due to carbonation-induced corrosion of steel in RC structures in the urban, inland environment. **Construction and Building Materials**, v. 198, p. 172-181, 2019.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**. Porto Alegre, 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

ROSTAM, S. Service life design of concrete structures: a challenge to designers as well as to owners. **Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)**, v. 6, n. 5, 2005.

SILVA, O. S. P. da. **Cobrimento de armadura em estruturas de concreto armado**: análise comparativa entre o valor especificado em projeto e o em execução em obras na cidade de Porto Alegre. Porto Alegre, 2012. (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

TANG, S. W. *et al.* Recent durability studies on concrete structure. **Cement and Concrete Research**, v. 78, p. 143-154, 2015.

YALCINER, H.; EREN, O.; SENSOY, S. An experimental study on the bond strength between reinforcement bars and concrete as a function of concrete cover, strength and corrosion level. **Cement and Concrete Research**, v. 42, p. 643-655, 2012.

Vinicius Palm

Departamento de Engenharia | Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Av. Osvaldo Aranha, 99 | Porto Alegre - RS - Brasil | CEP 90035-190 | Tel.: (51) 3308-4240 | E-mail: vini_palm@hotmail.com

Ana Paula Maran

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura | Universidade Federal do Rio Grande do Sul | E-mail: anapaulamaran@gmail.com

Maria Fernanda Fávero Menna Barreto

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura | Universidade Federal do Rio Grande do Sul | E-mail: mfmennabarreto@gmail.com

Denise Carpena Dal Molin

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura | Universidade Federal do Rio Grande do Sul | E-mail: dmolin@ufrgs.br

João Ricardo Masuero

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura | Universidade Federal do Rio Grande do Sul | E-mail: joao.masuero@ufrgs.br

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

Fax: +55 (51) 3308-4054

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.