

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Guilherme Silva de Oliveira**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO DE  
ESPAÇADORES E DA TOLERÂNCIA DE EXECUÇÃO NO  
COBRIMENTO DE CONCRETO PARA ARMADURAS DE  
LAJES: ANÁLISE EM OBRA**

Porto Alegre  
Dezembro 2018

**Guilherme Silva de Oliveira**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO DE  
ESPAÇADORES E DA TOLERÂNCIA DE EXECUÇÃO NO  
COBRIMENTO DE CONCRETO PARA ARMADURAS DE  
LAJES: ANÁLISE EM OBRA**

Trabalho de Conclusão de Curso a apresentado à Comissão de  
Graduação de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientadores: Denise Carpena Coitinho Dal Molin e João Ricardo Masuero**

Porto Alegre  
Dezembro de 2018

**GUILHERME SILVA DE OLIVEIRA**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO DE  
ESPAÇADORES E DA TOLERÂNCIA DE EXECUÇÃO NO  
COBRIMENTO DE CONCRETO PARA AS ARMADURAS DE  
LAJES: ANÁLISE EM OBRA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelos Professores Orientadores e pela Comissão de Graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 14 de dezembro de 2018

Profa. Denise Carpena Coitinho Dal Molin  
Dra. Pela universidade de São Paulo (EPUSP)  
Orientadora

Prof. João Ricardo Masuero  
Dr. Pela universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)  
Orientador

**BANCA EXAMINADORA**

**Profa. Denise Carpena Coitinho Dal Molin (EPUSP)**  
Dra. Pela Universidade de São Paulo (EPUSP)

**Prof. João Ricardo Masuero (UFRGS)**  
Dr. Pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

**Profa. Angela Borges Masuero (UFRGS)**  
Dra. Pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

**Profa. Ana Paula Maran (URI Santo Ângelo)**  
MSc. Pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Dedico este trabalho aos meus pais, Marcelo e Susana, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à professora Denise Dal Molin e ao professor João Ricardo Masuero, orientadores do presente trabalho, por todo o conhecimento transmitido, e pela disponibilidade e paciência apresentados ao longo de todo o seu desenvolvimento. Agradeço à professora Angela Masuero por ter me ajudado na escolha deste tema de TCC, por ter me apresentado aos meus orientadores e sempre ter disponibilizado os materiais e trabalhadores do laboratório, indispensáveis para a realização deste trabalho.

Agradeço à Ana Maran, por toda ajuda, disponibilização de material de leitura e a grande contribuição nas ideias que nortearam o trabalho experimental. Agradeço à Maria Fernanda pelas boas ideias e toda ajuda prestada.

Agradeço ao estagiário da obra e ao engenheiro responsável pela mesma, onde foram realizadas as medições, por todo o apoio e empenho em oferecer sempre as melhores condições para que este trabalho fosse realizado, mesmo com o andamento da obra em ritmo intenso e com prazos a serem cumpridos.

Agradeço aos meus supervisores do estágio, que sempre permitiram a minha ausência para a realização deste trabalho.

Agradeço aos bolsistas Giovana, Nicole e Victor, aos colegas Elias e Gustavo e ao querido sr. Ari, que mesmo em dias de chuva, se prontificaram em ajudar a realizar as medições.

Agradeço à minha namorada, Thawara, pela paciência e apoio durante a realização deste trabalho.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, Marcelo e Susana, por todo o apoio e confiança durante todo este percurso.

A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo  
menos outros dez.

*George Bernard Shaw*

## RESUMO

O cobrimento de concreto dado às armaduras é de grande importância na durabilidade das estruturas de concreto armado. Estudos já realizados mostraram a dificuldade das obras em garantir que a espessura de cobrimento especificada no projeto estrutural seja obtida nas estruturas, principalmente nas lajes. A falta de uma normalização brasileira que oriente a distribuição dos espaçadores é um dos fatores que contribuem negativamente para garantir o cobrimento mínimo. Além disso, as tolerâncias de execução permitidas pela norma brasileira precisam ser discutidas, pois as mesmas podem não ser tecnicamente executáveis, com os valores de 10 mm para controle de qualidade normal e 5 mm em nível de controle rigoroso. Algumas normas estrangeiras indicam a utilização do valor de 15 mm como tolerância de execução. Neste trabalho experimental, avaliou-se em uma situação real de obra a obtenção do cobrimento nas condições de execução propostas pelos responsáveis da obra, que utilizaram 1,66 espaçadores por metro quadrado. Após isto, interviu-se na distribuição dos espaçadores, testando configurações padrão de distribuição, com densidade de espaçadores (espaçadores / m<sup>2</sup>) que variaram de 2,06 a 7,01, para que se obtivessem melhores resultados. Após às análises dos resultados foi possível verificar a relação entre diversos fatores relacionados à espessura de cobrimento com a quantidade de espaçadores utilizada. Também se identificou alguns fatores que prejudicam a obtenção da espessura de cobrimento e não podem ser resolvidos apenas com a distribuição dos espaçadores, como por exemplo o sistema de fôrmas e os componentes da instalação elétrica. Foi verificado a dificuldade em se garantir os cobrimentos dentro de uma tolerância de 10 mm, e a completa impossibilidade de se garantir os cobrimentos dentro de uma tolerância de 5 mm, que são os valores de tolerância prescritos na norma brasileira. Mesmo utilizando o mais rigoroso controle de qualidade e uma alta densidade de espaçadores, conseguiu-se no máximo 55% dos cobrimentos medidos dentro da tolerância de 5 mm. Para a maior densidade de espaçadores testada, 97% dos cobrimentos medidos conseguem respeitar a tolerância de 10 mm. Para a tolerância de execução de 15mm os resultados mostraram que é possível atender o cobrimento mínimo mesmo com baixas densidades de espaçadores.

Palavras-chave: Espessura de cobrimento. Garantia do cobrimento mínimo. Tolerância de execução de cobrimento. Distribuição dos espaçadores. Cobrimento insuficiente. Durabilidade de estruturas de concreto armado.

## ABSTRACT

Concrete cover given to reinforcement is important in the durability of reinforced concrete structures. Studies have shown the difficulty of the building sites in achieving that the thickness of cover specified in the structural design is obtained in the structures, especially in the slabs. The lack of a Brazilian normalization that guides the distribution of spacers is one of the factors that make it difficult to obtain minimum cover. The allowance in design for tolerance by the Brazilian standard need to be discussed, because they may not be technically executable, under the conditions in which they are presented, in common works. In this experimental work, it was evaluated in a real situation of construction work the obtaining of the cover under the conditions of execution imposed by the managers of the construction work, that was 1.66 spacers per square meter. After this, it was changed in the spacers distribution, testing standard distribution configurations with spacers (spacers / m<sup>2</sup>) ranging from 2.06 to 7.01, in order to obtain better results. After the analysis of the results it was possible to verify the relationship between many factors related to the thickness of the cover with the number of spacers used. It was verified the difficulty in certify the covers within a tolerance of 10 mm, and the complete impossibility of certify the covers within a tolerance of 5 mm, which are the tolerance values prescribed in the Brazilian standard. Even using the most stringent quality control and a high density of spacers, was achieved a maximum of 55% of the covers measured within the tolerance of 5 mm. For the highest density of spacers tested, 97% of the covers measured within the tolerance of 10 mm. Some foreign standards indicate the use of the 15 mm value as execution tolerance. The results showed that even at the lowest spacer densities, the measured covers tend to respect this tolerance.

**Key words:** Concrete cover. Cover thickness. Minimum cover. Allowance in design for tolerance. Distribution of spacers.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Origem das manifestações patológicas nas edificações .....	25
Figura 2 – Influência da espessura de cobrimento na vida útil de projeto (na presença de cloretos) .....	31
Figura 3 – Espaçadores plásticos: (a) cadeirinha e (b) multiapoio.....	54
Figura 4 - Distribuição dos espaçadores cadeirinha, BS 7973-2.....	59
Figura 5 - Distribuição de espaçadores, Maran <i>et al.</i> (2015), onde os espaçadores estão alinhados em (a) a cada 30 cm e (b) a cada 60 cm .....	61
Figura 6 - Resultados de Maran <i>et al</i> do percentual de cobrimento dentro do especificado pela norma em função da densidade de espaçadores. Armadura de bitola 5 mm. ....	64
Figura 7 - Espaçadores multiapoio a cada 20 cm .....	65
Figura 8 – Resultados Palm, armadura de 5 mm.....	67
Figura 9 – Resultados de Palm, armaduras de 6.3 mm.....	67
Figura 10 - Distribuição de espaçadores a cada 25 cm, Ghiggi 2018 .....	68
Figura 11 - Espaçadores a cada 20 cm, Ghiggi 2018. ....	69
Figura 12 - Planta pavimento tipo .....	73
Figura 13 – Detalhe construtivo das lajes, dimensões em [cm]. ....	75
Figura 14 - Espaçador plástico multiapoio de 25 mm. ....	76
Figura 15 – Equipamentos de medição de cobrimento, (a) paquímetro digital <i>Digimess</i> e (b) pacômetro <i>Proceq</i> .....	78
Figura 16 – Quadrantes de medição. ....	79
Figura 17 – (a) Leitura do cobrimento antes das concretagens e (b) Palanque utilizado nas medições. ....	80
Figura 18 - Coleta de cobrimentos após as concretagens.....	81

Figura 19 – Configurações de espaçadores utilizadas, (a) 80 x 80 alinhado, (b) 80 x 80 escalonado, (c) 60 x 60 alinhado, (d) 60 x 60 escalonado e (e) 40 x 40 alinhado.....	83
Figura 20 - Qualidade dos espaçadores, (a) espaçador sem deformação e (b) espaçador amaçado. ....	85
Figura 21 - Caixas de luz desfavorecendo o cobrimento, (a) caixa oitavada e (b) caixa quadrada diminuindo o cobrimento localmente. ....	86
Figura 22 – Influência do sistema de fôrmas na espessura de cobrimento.....	87
Figura 23 – Pilha de elementos pesados sobre as lajes, (a) pilha de armaduras sobre e (b) pilha de componentes do andaime fachadeiro. ....	87
Figura 24 – Trabalhadores sobre as lajes, (a) Ferreiros montando as armaduras e (b) Eletricistas trabalhando sobre as lajes. ....	88
Figura 25 – Concretagem da laje, (a) Operários sobre a laje e (b) lançamento e adensamento do concreto. ....	89
Figura 26 – Cargas nas armaduras, (a) mangote e (b) Operário.....	89
Figura 27 - Distribuição de espaçadores aleatória.....	91
Figura 28 - Ausência de espaçadores nos bordos .....	91
Figura 29 – Cobrimentos com distribuição aleatória dos espaçadores, $\Delta c = 10 \text{ mm}$ .....	95
Figura 30 - Cobrimentos com distribuição aleatória dos espaçadores, $\Delta c = 5 \text{ mm}$ .....	95
Figura 31 - Laje com espaçadores alinhados a cada 80 cm.....	97
Figura 32 - Cobrimentos com espaçadores alinhados a cada 80 cm, $\Delta c = 10 \text{ mm}$ .....	100
Figura 33 - Cobrimentos com espaçadores alinhados a cada 80 cm, $\Delta c = 5 \text{ mm}$ .....	100
Figura 34 - Laje com espaçadores alinhados a cada 60 cm.....	101
Figura 35 - Cobrimentos com espaçadores alinhados a cada 60 cm, $\Delta c = 10 \text{ mm}$ .....	104
Figura 36 - Cobrimentos com espaçadores alinhados a cada 60 cm, $\Delta c = 5 \text{ mm}$ .....	104
Figura 37 – Laje com espaçadores escalonados a cada 80 cm .....	105

Figura 38 - Cobrimentos com espaçadores escalonados a cada 80 cm, $\Delta c = 10 \text{ mm}$ .....	108
Figura 39 - Cobrimentos com espaçadores escalonados a cada 80 cm, $\Delta c = 5 \text{ mm}$ .....	108
Figura 40 – Laje com espaçadores escalonados a cada 60 cm .....	109
Figura 41 - Cobrimentos com espaçadores escalonados a cada 60 cm, $\Delta c = 10 \text{ mm}$ .....	112
Figura 42 - Cobrimentos com espaçadores escalonados a cada 60 cm, $\Delta c = 5 \text{ mm}$ .....	112
Figura 43 - Laje com espaçadores alinhados a cada 40 cm.....	113
Figura 44 - Cobrimentos com espaçadores alinhados a cada 40 cm, $\Delta c = 10 \text{ mm}$ .....	116
Figura 45 - Cobrimentos com espaçadores alinhados a cada 40 cm, $\Delta c = 5 \text{ mm}$ .....	116
Figura 46 – Relação entre cobertura médio e densidade de espaçadores.....	118
Figura 47 – Relação entre o menor cobertura e a densidade de espaçadores.....	119
Figura 48 – Relação entre coeficiente de variação e densidade de espaçadores .....	121
Figura 49 – Relação entre os cobrimentos dentro da tolerância e a densidade de espaçadores para as lajes 1, 2 e 3.....	123
Figura 50 - Relação entre os cobrimentos dentro da tolerância e a densidade de espaçadores para a laje 4.....	124
Figura 51 - Relação entre os cobrimentos dentro da tolerância e a densidade de espaçadores para a laje 5.....	125
Figura 52 - Relação entre os cobrimentos dentro da tolerância e a densidade de espaçadores para a laje 6.....	126
Figura 53 – Resultados para as malhas de 5 mm de Maran <i>et al.</i> (2015). .....	127
Figura 54 – Resultados para as malhas de 5 mm do Palm (2017).....	128
Figura 55 – Resultados para as malhas de 6.3 mm do Palm (2017).....	128

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – classificação de agressividade ambiental.....	28
Tabela 2 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e a qualidade do concreto .....	30
Tabela 3 - Nível de controle de execução por Silva (2012) .....	32
Tabela 4 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm.....	37
Tabela 5 - Classes de agressividade ambiental EN - 1992 1-1 (2004) .....	40
Tabela 6 - Adequação da classe estrutural EN 1992 1-1 (2004) .....	41
Tabela 7 - Requerimento ambiental de cobrimento mínimo EN 1992 1-1 (2004).....	42
Tabela 8 - Cobrimentos mínimos para classes de exposição I e II EHE. ....	45
Tabela 9 – Cobrimento nominal BS 8500-1 (2006) .....	46
Tabela 10 - Cobrimento nominal DIN 1045-1 .....	48
Tabela 11 - Cobrimento mínimo CBH 87, em mm. ....	50
Tabela 12- Cobrimentos em uma laje situada em Porto Alegre/RS, com base em diferentes normas .....	53
Tabela 13 - Rendimento de espaçadores em lajes .....	56
Tabela 14 - Cálculo do consumo de espaçadores e distância média SINAPI .....	57
Tabela 15 - Disposição de espaçadores segundo EHE-08.....	58
Tabela 16 - Análise estatística MARAN <i>et al.</i> , referente ao posicionamento dos espaçadores. ....	62
Tabela 17 - Comparação dos cobrimentos com a norma brasileira, resultados Maran <i>et al.</i> ...	63
Tabela 18 – Comparação dos resultados obtidos por Palm (2017) com as especificações da norma brasileira. ....	66
Tabela 19 - Espessuras de cobrimento Ghiggi 2018 .....	70

Tabela 20 - Descrição das lajes .....	74
Tabela 21 - Afastamento real entre os espaçadores.....	84
Tabela 22 – Armaduras das lajes e distribuição dos espaçadores utilizadas na obra. ....	92
Tabela 23 – Medidas de cobrimento antes da concretagem, sem controle de espaçadores. ....	93
Tabela 24 – Medidas de cobrimento depois da concretagem, sem controle de espaçadores. ..	93
Tabela 25 - Verificação do atendimento à NBR 6118, espaçadores distribuídos aleatoriamente.....	94
Tabela 26 – Medidas de cobrimento antes da concretagem, 80x80 cm alinhado. ....	98
Tabela 27 - Medidas de cobrimento depois da concretagem, 80x80 cm alinhado.....	98
Tabela 28 - Verificação do atendimento à NBR 6118, 80x80 alinhado.....	99
Tabela 29 – Medidas de cobrimento antes da concretagem, 60 x 60 cm alinhado. ....	102
Tabela 30 – Medidas de cobrimento depois da concretagem, 60x60 cm alinhado. ....	102
Tabela 31 - Verificação do atendimento à NBR 6118, 60x60 alinhado.....	103
Tabela 32 - Medidas de cobrimento antes da concretagem, 80x80 cm escalonado.....	106
Tabela 33 - Medidas de cobrimento depois da concretagem, 80x80 cm escalonado.....	106
Tabela 34 - Verificação do atendimento à NBR 6118, 80x80 escalonado.....	107
Tabela 35 – Medidas de cobrimento antes da concretagem, 60x60 escalonado. ....	110
Tabela 36 – Medidas de cobrimento depois da concretagem, 60x60 escalonado. ....	110
Tabela 37 - Verificação do atendimento à NBR 6118, 60x60 escalonado.....	111
Tabela 38 - Medidas de cobrimento antes da concretagem, 40x40 alinhado.....	114
Tabela 39 – Medidas de cobrimento depois da concretagem, 40x40 alinhado. ....	114
Tabela 40 - Verificação do atendimento à NBR 6118, 40x40 alinhado.....	115
Tabela 41 – Rigidez das armaduras .....	118

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BS – Norma Britânica

CBH – Norma Boliviana

DIN – Norma Alemã

EHE – Norma Espanhola

EN – Norma Européia

NBR – Norma Brasileira

NR – Norma Regulamentadora

SINAPI - Sistema Nacional De Pesquisa De Custos E Índices Da Construção Civil.

UR – Umidade Relativa do Ar Média.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$a/c$  – Relação água cimento

$c_{nom}$  – Cobrimento nominal

$c_{min}$  - Cobrimento mínimo

$\Delta c$  – Tolerância de execução

$f_{ck}$  – Resistência característica do concreto

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA.....</b>	<b>21</b>
2.1 OBJETIVO DE PESQUISA.....	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
2.3 DELIMITAÇÕES.....	22
2.4 LIMITAÇÕES .....	22
2.5 DELINEAMENTO.....	22
<b>3 DURABILIDADE DO CONCRETO ARMADO .....</b>	<b>24</b>
3.1 DURABILIDADE DAS ARMADURAS .....	26
3.2 QUALIDADE E ESPESSURA DO CONCRETO DE COBRIMENTO.....	29
<b>4 OBTENÇÃO DA ESPESSURA DE COBRIMENTO.....</b>	<b>36</b>
4.1 ESPECIFICAÇÃO DO COBRIMENTO .....	36
4.1.1 Norma brasileira.....	36
4.1.2 Norma europeia.....	39
4.1.3 Norma espanhola.....	43
4.1.4 Norma britânica.....	45
4.1.5 Norma alemã .....	47
4.1.6 Norma boliviana.....	49
4.1.7 Resumo das normas.....	52
4.2 GARANTIA DE COBRIMENTO.....	54
4.3 EXPERIMENTOS DE DISPOSIÇÃO DE ESPAÇADORES .....	60
<b>5 TRABALHO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>71</b>
5.1 OBRA EM ESTUDO .....	71
5.2 ANÁLISE DO PROJETO .....	72

5.3 METODOLOGIA DE COLETA .....	77
5.4 DISTRIBUIÇÃO DOS ESPAÇADORES .....	82
<b>6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>85</b>
6.1 FATORES DE INFLUÊNCIA NO COBRIMENTO NÃO RELACIONADOS À DISTRIBUIÇÃO DE ESPAÇADORES .....	85
6.2 INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO DOS ESPAÇADORES NO COBRIMENTO .....	88
6.2.1 Espaçadores distribuídos segundo os critérios da obra, sem intervenção .....	90
6.2.2 Espaçadores alinhados a cada 80 cm.....	96
6.2.3 Espaçadores alinhados a cada 60 cm.....	101
6.2.4 Espaçadores escalonados a cada 80 cm.....	105
6.2.5 Espaçadores escalonados a cada 60 cm.....	109
6.2.6 Espaçadores alinhados a cada 40 cm.....	113
6.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS .....	117
6.3.1 Densidade de espaçadores e cobertura médio.....	118
6.3.2 Densidade de espaçadores e o menor cobertura lido .....	119
6.3.3 Densidade de espaçadores e o coeficiente de variação .....	120
6.3.4 Densidade de espaçadores e o atendimento às tolerâncias de execução .....	121
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>130</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>134</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O concreto armado é um material de construção muito utilizado em obras de edificações no Brasil. Sabendo de sua larga utilização, estudos sobre a durabilidade das estruturas constituídas com esse material são desenvolvidos com a finalidade de compreender a resistência à sua degradação frente às ações que a provocam.

Para se obter uma estrutura de concreto armado com boa durabilidade, deve se garantir uma boa proteção às armaduras, pois em relação ao concreto elas são menos resistentes aos agentes externos agressivos. A proteção das armaduras é dada pelo concreto que envolve a armadura, protegendo-a química e fisicamente. Segundo Medeiros (2008), um dos maiores problemas da construção civil nos últimos anos é a deterioração prematura das estruturas devido à corrosão das armaduras.

Na fase de projeto das estruturas é onde são definidos a resistência característica do concreto, relação água / cimento, módulo de deformação e a espessura de cobrimento para as armaduras com as orientações da NBR 6118 (ABNT, 2014). Essas especificações são feitas pelo engenheiro projetista da estrutura, e os valores dessas grandezas, além de influenciar o funcionamento estrutural, também contribuirão para a durabilidade da edificação, direcionando seu período de vida útil.

A mistura do concreto é muitas vezes terceirizada às centrais dosadoras de concreto, tornando indireto o controle do executor da obra, que solicita as características e materiais, faz a conferência no recebimento, no lançamento e após ser executado, mas sem um maior envolvimento na dosagem e controle da produção do mesmo. A maior atuação do executor ocorrerá na execução das fôrmas e posicionamento das armaduras, que são serviços que dependerão mais do processo construtivo e rigor de fiscalização da obra.

A dificuldade em manter as armaduras nas corretas posições inicia-se na falta de confiabilidade da qualidade do espaçador. Devido à falta de regulamentação brasileira na produção e no controle dos espaçadores, é difícil encontrar espaçadores de qualidade no mercado. Segundo Menna Barreto (2014), os espaçadores plásticos encontrados comercialmente no Brasil não atendem às normas de desempenho internacionais.

Embora a espessura do cobrimento esteja definida no projeto estrutural, não há prescrição normativa brasileira que oriente o executor na distribuição dos espaçadores que garantam a obtenção do cobrimento. A NBR 14931 (ABNT, 2004) apenas indica que o cobrimento especificado no projeto deve ser mantido com os espaçadores, porém não apresenta mais informações sobre a maneira de distribuição dos mesmos.

Estudos já realizados destacam a dificuldade encontrada em garantir na obra o cobrimento especificado no projeto estrutural, além da alta variabilidade nas espessuras de cobrimento encontradas, evidenciando a falta de planejamento e controle da distribuição dos espaçadores (CAMPOS, 2013; MARAN, 2015; PALM, 2017; SILVA, 2012; WEBER, 2014).

Este trabalho busca, através de experimentos realizados em obra, com as condições reais nela presentes, encontrar boas técnicas de distribuição de espaçadores que consigam garantir a execução do cobrimento mínimo, visando melhorar a durabilidade da estrutura e por consequência aumentar a sua vida útil. Aumentar o banco de dados sobre o assunto é de grande importância, pois para a validação de uma metodologia de distribuição de espaçadores é necessário um grande número resultados e análises, devido ao elevado número de variáveis em trabalho.

A seguir serão apresentadas as diretrizes e limitações da pesquisa; uma fundamentação teórica sobre a durabilidade das estruturas de concreto armado e sobre os elementos envolvidos nos processos de corrosão de armadura, bem como uma análise do cobrimento como um fator importante de controle de previsão de vida útil.

Além disso será discutida a especificação do cobrimento, observando as prescrições normativas brasileira e estrangeiras, que orientam a determinação da sua espessura, dando atenção principalmente à tolerância de execução apresentada em cada uma das normas, pois é um parâmetro que poderá definir a possibilidade de garantir, ou não, o cobrimento mínimo no elemento estrutural.

Também serão expostas orientações normativas estrangeiras de distribuições dos espaçadores, que visam a garantia do cobrimento mínimo, discutindo os espaçamentos adotados entre os espaçadores. Além disso será feita uma revisão dos trabalhos acadêmicos já realizados, que

testaram a eficiência de diferentes distribuições de espaçadores na garantia do cobrimento mínimo.

Ainda, se encontra uma descrição de como este trabalho experimental foi realizado, destacando a escolha da obra e a observação das suas características, além de explicar a metodologia utilizada na coleta de dados e indicar as distribuições de espaçadores escolhidas para o teste.

Por fim, será apresentado a análise dos resultados, juntamente com as considerações finais, além de sugestões para trabalhos futuros na área de distribuição de espaçadores.

## 2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para o desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

### 2.1 OBJETIVO DE PESQUISA

Este trabalho objetiva verificar, por meio de um estudo em obra, como a distribuição dos espaçadores nas armaduras positivas de lajes de concreto armado influencia a correspondente espessura de cobrimento obtida.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Em função do objetivo principal dessa pesquisa, são adotados os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar o desempenho da distribuição dos espaçadores utilizada pela empresa executora da obra no ponto de vista da obtenção do cobrimento especificado;
- analisar a influência do diâmetro das barras que formam a malha de armadura no cobrimento obtido;
- verificar as modificações que ocorrem na espessura de cobrimento durante o processo de concretagem;
- discutir sobre a adequação dos valores de tolerâncias de execução de cobrimento prescritas pela ABNT NBR 6118 (2014);
- identificar aspectos ligados à execução da estrutura que podem gerar cobrimentos inferiores ao mínimo.

## 2.3 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à análise do cobrimento obtido em armaduras positivas de lajes maciças de concreto armado, moldadas *in loco*, com malha amarrada em obra e que utilizam espaçadores plásticos do tipo multiapoio/centopeia.

## 2.4 LIMITAÇÕES

O trabalho limita-se à análise de uma obra de edifício residencial multipavimentos, situada na cidade de Porto Alegre/RS, considerando-se no estudo 6 pavimentos deste edifício. As limitações impostas são na sua maioria decorrentes da característica do projeto, como os diâmetros de barras presentes na obra e as dimensões de laje disponíveis. Além disso, o número de configurações de espaçadores a serem testadas está diretamente vinculada à quantidade de pavimentos disponíveis.

Devido à não aceitação por parte dos responsáveis pela obra das propostas de intervenção quanto aos pontos de amarração das armaduras, a amarração esteve limitada ao usualmente empregado na obra, que será descrito detalhadamente no decorrer deste trabalho.

## 2.5 DELINEAMENTO

A estrutura básica desse trabalho baseia-se em uma pesquisa bibliográfica com a finalidade de possibilitar a elaboração do plano experimental, a execução dos experimentos e a análise dos resultados:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) elaboração do plano experimental e definição das formas de distribuição de espaçadores utilizadas;
- c) medição da distância entre armadura e fôrma antes da concretagem;
- d) acompanhamento da concretagem;
- e) leituras das espessuras de cobrimento posterior a desforma;
- f) análise dos resultados.

A realização da pesquisa bibliográfica, além de contextualizar os problemas de durabilidade ocasionados pelo cobrimento insuficiente de concreto, ainda contabiliza a forma que outros trabalhos acadêmicos avaliaram o assunto: quais os métodos, parâmetros analisados e seus resultados. Esse apanhado possibilitou a definição do plano experimental adotado, e a forma de análise realizada, buscando uma melhor comparação com os dados existentes.

Para a realização de um trabalho experimental em um ambiente de obra, onde são mais difíceis de os parâmetros serem controlados, contou-se com a colaboração dos responsáveis pela obra e dos funcionários que nela trabalham, para garantir a padronização exigida das disposições de espaçadores, a fim de possibilitar uma boa confiabilidade aos resultados.

Após observação de como a empresa lidava com a distribuição dos espaçadores, e quais os resultados de cobrimento estavam sendo obtidos, foi proposta a utilização de novas distribuições de espaçadores e medidos os respectivos cobrimentos. As medições anteriores à concretagem foram feitas com um paquímetro digital, e as posteriores à concretagem com um pacômetro.

Com a análise dos resultados de cobrimento, buscou-se avaliar quais as configurações foram mais favoráveis à obtenção de uma espessura de cobrimento satisfatória, repassando a informação à obra estudada para utilização em futuros empreendimentos.

### 3 DURABILIDADE DO CONCRETO ARMADO

As estruturas de concreto armado necessitam de vida útil elevada. A baixa durabilidade causa o aumento do consumo de matérias-primas, produção de poluentes, gastos energéticos e custos de reparo e manutenção das construções (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011). Além disso há uma ocupação do solo onde ficará a edificação e o desembolso de um grande montante financeiro necessário para construir e colocar em uso um prédio. Medeiros, Andrade e Helene (2011) afirmam que aumentar a vida útil, de maneira geral, é uma boa solução a longo prazo para a preservação de recursos naturais, redução de impactos ambientais, economizando energia e prolongando o potencial de extração das reservas naturais.

Além dos custos de construção, os custos de manutenção e reparo de uma estrutura também são elevados. Estima-se que, em países desenvolvidos industrialmente, cerca de 40% do total dos recursos referentes à indústria da construção estão sendo aplicados na manutenção e reparo de estruturas existentes (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Vida útil é o tempo em que o edifício se presta às atividades para as quais foi projetado e construído de acordo com os níveis de desempenho e a correta manutenção; seu valor mínimo para a estrutura de concreto é de 50 anos, conforme a NBR 15575 (ABNT, 2013).

A norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014) define durabilidade como a capacidade de uma estrutura resistir às influências ambientais, previstas pelo projetista em conjunto com o contratante. A referida norma ainda descreve que, para atender as exigências de durabilidade, as estruturas de concreto devem:

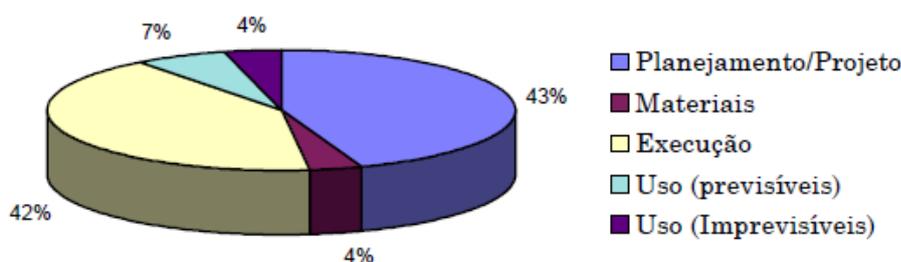
“[...] ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil” (NBR 6118 ABNT, 2014, p.15).

O desempenho em serviço é a capacidade de a estrutura manter-se em condições plenas de utilização durante sua vida útil, sem apresentar danos que comprometam, em parte ou completamente, o uso para a qual foi projetada (ABNT NBR 6118, 2014).

Segundo Mehta e Monteiro (2014), nenhum material é propriamente durável. Sua microestrutura e consequentemente suas propriedades são modificadas ao longo do tempo devido ao resultado de interações com o ambiente.

Alguns fatores que contribuem para o surgimento de manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado são: erros de projeto e execução, inadequação dos materiais, má utilização da obra, agressividade do meio ambiente, falta de manutenção ou ineficiência do controle de qualidade na construção civil (BRANDÃO, 1998). As manifestações patológicas apresentadas pelas estruturas, em sua maioria, tiveram origem devido a problemas de execução ou projeto, juntas somam 85 % dos casos, como é visto na Figura 1. Os problemas ainda se devem a mais de uma etapa da construção (ANDRADE, 1997).

Figura 1 – Origem das manifestações patológicas nas edificações



(fonte: ANDRADE, 1997, p. 74)

A resistência da estrutura de concreto à ação do meio ambiente e ao uso dependerá da resistência do concreto e da resistência da armadura. A deterioração de um dos dois comprometerá a estrutura como um todo (HELENE, 1997).

O concreto é um material naturalmente poroso, tendo em vista que, para sua produção e principalmente moldagem às fôrmas ser possível, é utilizada uma quantidade de água maior que a necessária à hidratação do cimento. A água que sobra poderá formar canais capilares ou poros, juntamente com o ar aprisionado no processo de mistura e lançamento. As conexões entre os vazios tornarão o concreto sujeito à movimentação de líquidos e gases no seu interior (BARBOSA, 2009). O fato torna possível o transporte, para o interior do concreto, de elementos agressivos a ele e à armadura.

Uma grande vantagem do concreto armado em relação aos outros materiais é que ele pode por natureza, desde que bem executado, proteger a armadura contra a corrosão, através de uma barreira física e química (HELENE, 1993). A durabilidade da estrutura de concreto está diretamente associada com a durabilidade das armaduras presentes na estrutura. Proteger adequadamente as armaduras poderá diminuir ou retardar o surgimento de patologias na estrutura de concreto armado.

A NBR 6118 (ABNT,2014) prescreve medidas mínimas de prevenção ao envelhecimento e deterioração das estruturas de concreto armado, levando em conta os mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto, à armadura e à estrutura.

A água costuma ser o fator central para a maioria dos problemas da durabilidade do concreto. Por ser um material poroso, o concreto está sujeito ao ingresso, ao seu interior, de ar e águas que contenham elementos agressivos dissolvidos, dando origem a processos químicos de degradação. Um ponto de controle e precaução é a diminuição da porosidade do concreto, visando diminuir a permeabilidade e a entrada de agentes agressivos ao interior do mesmo (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Os principais agentes agressivos à armadura, o gás carbônico  $\text{CO}_2$  e o íon cloreto  $\text{Cl}^-$ , não agredem diretamente o concreto. Porém, os agentes agressivos ao concreto atacam de forma dupla, degradando também a armadura, como os ácidos que contribuem para a redução do pH do concreto e conseqüente risco de despassivação da armadura, assim como os sulfetos e a reação álcali agregado, que geram produtos expansivos, destruindo o concreto de cobertura que dá proteção à armadura (HELENE, 1997).

### 3.1 DURABILIDADE DAS ARMADURAS

A corrosão das armaduras é um fator importante de degradação das estruturas de concreto armado. Nas manifestações patológicas das estruturas do Rio Grande do Sul, a corrosão de armaduras contribui para 14% das manifestações patológicas que geraram fissuras (DAL MOLIN, 1988). Já em Pernambuco, o montante de 64% das origens de manifestações patológicas é referente à corrosão das armaduras (ANDRADE, 1997).

A durabilidade das armaduras dependerá das características do meio ambiente onde estará inserida a estrutura. A atmosfera rural tem fraca ação agressiva às armaduras imersas em

concreto, pois os teores de agentes agressivos presentes são baixos. Na atmosfera urbana já se encontram concentrações elevadas de impurezas, como o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), tornando o ambiente mais agressivo (HELENE, 1986).

A atmosfera marinha contém cloretos de sódio e de magnésio, que são elementos extremamente agressivos às armaduras, mesmo em pequenas proporções. As atmosferas industriais, contaminadas por gases e cinzas, podem contribuir para a redução da alcalinidade do concreto, acelerando de 60 a 80 vezes o processo de corrosão, quando comparado a situações equivalentes em atmosferas rurais (HELENE, 1986).

A NBR 6118 (ABNT, 2014) classifica o risco de deterioração das estruturas de acordo com o ambiente que a mesma está inserida, distribuindo as estruturas em quatro classes de agressividade ambiental, conforme a Tabela 1.

A armadura situa-se no interior do concreto em meio altamente alcalino, estando protegida da corrosão, devido a uma película protetora de caráter passivo, que a envolve, chamada proteção química (CASCUDO, 1997). A despassivação das armaduras poderá ocorrer por carbonatação ou ação de cloretos, a depender do agente agressivo presente na atmosfera onde a estrutura de concreto armado está construída.

Tabela 1 – classificação de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação Geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>a, b</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>b</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65%, partes de estruturas protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

(fonte: NBR 6118, ABNT, 2014, p. 17)

O fenômeno da carbonatação ocorre nas superfícies expostas da estrutura de concreto armado. O CO<sub>2</sub> e outros gases ácidos presentes na atmosfera, como o SO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S (dióxido de enxofre e ácido sulfídrico, respectivamente), reduzem lentamente a alcalinidade característica do concreto decorrente das reações de hidratação do cimento. As profundidades de carbonatação aumentam inicialmente com grande rapidez, prosseguindo mais lentamente e tendendo assintoticamente à uma profundidade máxima (HELENE, 1986).

Caso a profundidade de carbonatação supere a espessura de cobrimento, a armadura é despassivada, fazendo com que o aço sofra corrosão de forma generalizada, tal como se estivesse exposta à atmosfera sem proteção, porém com o agravante de que a umidade permanece no interior do concreto, por mais tempo em contato com a armadura em relação ao aço exposto ao ar (CASCUDO, 1997).

As tensões fissuram o concreto na direção paralela à armadura, em um primeiro momento, favorecendo a penetração dos agentes agressivos, podendo ocasionar o lascamento do concreto (HELENE, 1986).

As medidas preventivas à despassivação por carbonatação consistem em dificultar o ingresso dos agentes agressivos ao interior do concreto, para isso a NBR 6118 (ABNT, 2014) recomenda um concreto de baixa porosidade para o cobrimento da armadura e o controle da fissuração na fase de projeto.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) adota as mesmas medidas preventivas no controle da despassivação por ação dos cloretos, em relação às medidas adotadas para o controle da carbonatação, consistindo em dificultar a entrada de cloretos ao interior do concreto, através de um cobrimento de baixa porosidade. Ainda, recomenda o uso de cimentos compostos por adições pozolânica ou de escória.

### 3.2 QUALIDADE E ESPESSURA DO CONCRETO DE COBRIMENTO

A maioria dos fatores responsáveis pela corrosão da armadura estão relacionados a processos de difusão, como por exemplo a carbonatação, a penetração de íons agressivos e o suprimento de oxigênio necessário para que ocorram as reações eletroquímicas. Por este motivo, é de grande importância a qualidade do concreto de cobrimento, tanto em sua espessura quanto na permeabilidade (DAL MOLIN, 1988).

O concreto protege as armaduras, desde que bem executado, física e quimicamente (HELENE, 1986). Segundo Helene (1993, p. 145):

“Um bom cobrimento das armaduras, com um concreto de alta compactidade, sem ninhos, ‘bicheiras’, vazios ou excesso de exudação e com teor de argamassa adequado e homogêneo, garante por impermeabilidade, a proteção ao aço contra o ataque de agentes corrosivos externos[...]”.

Já a proteção química proporcionada pela película passivadora é protegida mecanicamente pelo cobrimento, ao mesmo tempo que o mesmo mantém a sua estabilidade (HELENE, 1986).

Um bom cobrimento com concreto de alta qualidade não atua só como barreira física aos agentes agressivos, mas também à água e o oxigênio, que são elementos básicos necessários à existência da corrosão (HELENE, 1993).

Vaquero (2007) afirma que a proteção fornecida pelo cobrimento às armaduras depende de muitos fatores, como: a qualidade do concreto de cobrimento, atentando-se ao tipo de cimento

e relação a/c utilizados; a espessura adequada do cobrimento buscando impedir ou retardar a entrada dos agentes agressivos no concreto e o seu encontro com a armadura; a adequação do diâmetro máximo de agregado a ser utilizado com a espessura de cobrimento, de modo a evitar ninhos de concretagem, expondo a armadura; e o controle da fissuração nas peças submetidas à flexão.

Sabendo da dependência da qualidade e da espessura do concreto de cobrimento da armadura para a durabilidade das estruturas de concreto armado, a NBR 6118 (ABNT, 2014) propõe a realização de ensaios comprobatórios de desempenho da durabilidade da estrutura frente ao tipo e classe de agressividade ambiental prevista em projeto, a fim de estabelecer os parâmetros mínimos a serem atendidos. Na falta dos ensaios a mesma norma permite a utilização dos requisitos mínimos dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e a qualidade do concreto

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b, c</sup>	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classes de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT 12655.

<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

<sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

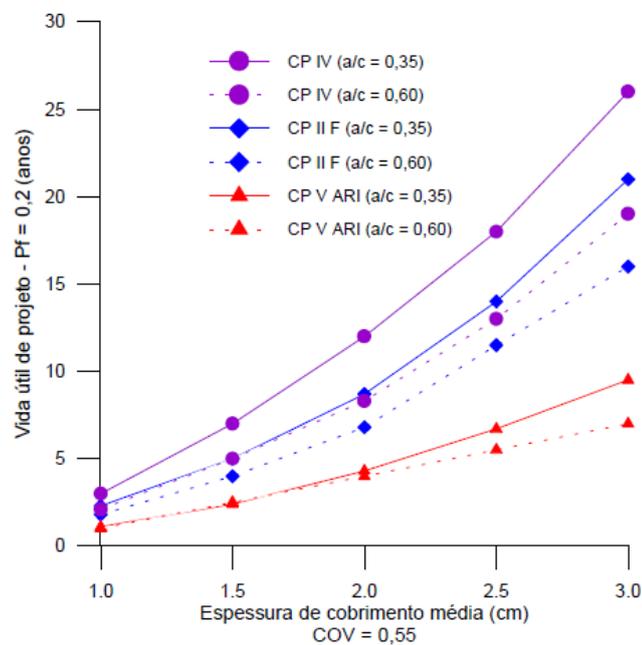
(fonte: NBR 6118 ABNT, 2014, p. 18)

Segundo Dal Molin (1988), a profundidade de carbonatação para o interior do concreto é função da raiz quadrada do tempo. Isto implica em que, ao dobrar a espessura de cobrimento, a vida útil da armadura aumenta em quatro vezes.

Em seu trabalho Andrade (2001) aplicou três modelos de previsão de vida útil para estruturas, além de elaborar seu próprio modelo, levando em conta o ataque por cloretos às armaduras. O efeito da relação a/c é evidente, onde para valores baixos de a/c se observa um retardamento no início do processo corrosivo para os concretos avaliados.

Sobre a influência do cobrimento na previsão de vida útil da estrutura, pode-se perceber que independentemente do tipo de cimento ou relação água/cimento adotados, uma diminuição na espessura do cobrimento reduz drasticamente a vida útil esperada para a estrutura. Como mostra a Figura 2, considerando o caso mais favorável à durabilidade, frente à penetração de cloretos, cimento CP-IV e  $a/c=0,35$ , a diminuição de um cobrimento de 2,5 cm para um de 1,5 cm acarretaria em uma perda de aproximadamente 10 anos de vida útil, frente à presença de cloretos.

Figura 2 – Influência da espessura de cobrimento na vida útil de projeto (na presença de cloretos)



(fonte: ANDRADE, 2001, p. 176)

Apesar da importância do cobrimento para a durabilidade e projeção de vida útil das estruturas, trabalhos realizados na cidade de Porto Alegre mostram que não é fácil garantir nas obras que seja executado a espessura de cobrimento conforme prescreve o projeto estrutural.

Em seu trabalho Silva (2012) analisou nove obras na cidade de Porto Alegre, executadas por sete empresas diferentes, cinco das quais possuíam certificação de qualidade ISO 9001 e PBQP-H nível A. Nas obras foram realizadas medições da espessura do cobrimento de vigas, lajes e pilares, antes dos elementos serem concretados. Os resultados apontaram que em 46% das

medições houve ocorrência dos valores de cobrimento inferiores aos valores do cobrimento nominal especificado em projeto, e que os cobrimentos executados em lajes apresentam os piores resultados em relação aos outros elementos estruturais, resultando 67% dos pontos medidos com cobrimento menor que o cobrimento nominal de projeto. Cabe salientar que, na análise de Silva, houve a comparação direta das espessuras de cobrimento medidas na obra com o cobrimento nominal, sem considerar a tolerância de execução.

Silva (2012), na avaliação das lajes, realizou metade de suas medições em pontos próximos aos espaçadores e metade no meio dos vãos formados entre os espaçadores. Dos cobrimentos medidos próximos aos espaçadores, 40% ficaram inferiores ao cobrimento nominal especificado em projeto, e dos medidos na metade dos vãos, 84% se mostraram abaixo do valor de cobrimento nominal.

Silva (2012) classificou o nível de controle de execução das obras em ruim, bom e excelente; em função da quantidade dos itens constatados: organização do canteiro, limpeza do pavimento medido, presença de engenheiro civil durante a concretagem, metodologia na disposição dos espaçadores, uso de EPI por funcionários e certificação de qualidade, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Nível de controle de execução por Silva (2012)

Quantidade de itens constatados	Classificação
1-2	Ruim
3-4	Bom
5-6	Excelente

(fonte: SILVA, 2012, p.68.)

Das obras analisadas, três obras foram classificadas com nível de controle ruim, duas como bom e quatro como excelentes. Porém, nenhuma delas possuía metodologia de disposição dos espaçadores (SILVA, 2012).

Os resultados não apontaram relação substancial entre as variações das espessuras de cobrimento com os níveis de controle propostos pela Tabela 3. Tanto nas obras com nível de controle ruim, quanto nas de nível de controle bom e excelente foram medidos cobrimentos que diferiam em até 80% do cobrimento nominal de projeto. Isso pode ser creditado ao fato de

nenhuma das obras possuem metodologia de disposição de espaçadores, aplicando distribuições aleatórias (SILVA, 2012).

Campos (2013) também realizou medições de cobrimento de lajes, vigas e pilares, no total de oito obras executadas por cinco empresas diferentes, na cidade de Porto Alegre/RS. Seus resultados também apontaram as lajes como o elemento estrutural mais crítico em relação à garantia do cobrimento especificado em projeto. Em seu trabalho foram realizadas medições antes e após a concretagem dos elementos, e os resultados obtidos antes da concretagem apontam que 39% dos valores de cobrimentos medidos estão inferiores ao especificado em projeto, e este valor sobe para 66% após a concretagem. Cabe salientar que, na análise de Campos (2013), houve a comparação direta das espessuras de cobrimento medidas em obra com o cobrimento nominal, sem levar em conta a tolerância de execução.

A variabilidade dos valores de cobrimento também se mostrou grande: antes da concretagem foram feitas leituras tanto com variações de cobrimento 100% negativo, que significa que no ponto medido a armadura está com cobrimento zero, quanto com variações de cobrimento de até 110% positivo, que significam que para um cobrimento nominal de projeto de 2 cm, se mediu armaduras com cobrimento de até 4,2 cm. Após a concretagem os valores ficaram entre 75% negativo, equivalente a 0,5 cm, a 110% positivo, 4,2 cm (CAMPOS, 2013).

Weber (2014) analisou as espessuras de cobrimento obtidos em obras no Vale do Taquari. No seu trabalho, as medições de lajes apresentaram a maioria das espessuras de cobrimento menores do que 40% do seu cobrimento nominal, caracterizando uma espessura de cobrimento muito abaixo da tolerância de execução descrita na NBR 6118 (ABNT, 2014). Antes da concretagem 56,67% das medições estavam abaixo do valor de cobrimento projetado, após a concretagem o percentual subiu para 66,30%.

Oliveira (2014) buscou saber quais as práticas adotadas pelas empresas, nos serviços que envolvem a obtenção de cobrimento, levando em conta os responsáveis pela: escolha do espaçador, definição do modelo de distribuição de espaçadores, execução da distribuição e conferência do uso de espaçadores. A pesquisa levantou dados de 30 obras executadas por 22 diferentes empresas, de todos os portes, em Porto Alegre/RS.

Foi verificado que a escolha do tipo de espaçador a ser utilizado na maioria dos casos é feita pelo Engenheiro da obra, cerca de 80% das obras levantadas. A responsabilidade pela definição do modelo de distribuição dos espaçadores foi apontada em 63% dos casos como sendo do Engenheiro responsável, porém houve uma significativa quantidade de casos que apontaram o Mestre de Obras ou outro como o responsável pela tarefa, totalizando 34% dos casos. Quanto à execução da distribuição dos espaçadores, em 80% dos casos é feita pelo Ferreiro, em 10% o Mestre de obras e em 10% o auxiliar de produção é tido como o responsável (OLIVEIRA, 2014).

Maran (2015) e Menna Barreto (2014) analisaram os cobrimentos obtidos em obras nas cidades de Porto Alegre/RS e Cuiabá/MT. Os cobrimentos foram medidos em fundos de lajes, de forma aleatória e distribuída, e seus resultados mostraram que nenhuma obra conseguiu garantir a execução do cobrimento mínimo em todos os pontos, ultrapassando a tolerância de execução permitida pela NBR 6118 (2014).

Palm (2017), analisando as espessuras de cobrimento em lajes de um pavimento onde a distribuição de espaçadores não foi controlada, fez um levantamento das espessuras de cobrimento medidas que estão dentro de um intervalo de 5 mm de tolerância de execução em relação ao cobrimento nominal, e verificou que menos da metade das medições se encontram nesse intervalo e que 37% estão, inclusive, fora de um intervalo de 10 mm de tolerância de execução, ou seja, estão desconformes com o especificado na NBR 6118 (ABNT, 2014).

Com esses dados à disposição, percebe-se que os cobrimentos mínimos resultantes da especificação de cobrimento nominal do projeto estrutural não estão sendo garantidos na execução das obras. Tal fato pode ser atribuído principalmente à falta de cuidado com o planejamento e execução da distribuição dos espaçadores e à falta de um referencial normativo.

A deficiência em seguir um padrão de distribuição de espaçadores que garanta o cobrimento mínimo pode ser diretamente relacionada à falta de informação sobre qual é o padrão correto a se utilizar, qual o afastamento máximo entre espaçadores para que o cobrimento mínimo seja respeitado. O engenheiro deveria repassar tal informação ao trabalhador, responsável por distribuir os espaçadores e fiscalizar a sua execução, porém a informação sobre o número necessário de espaçadores mal consegue chegar ao engenheiro, devido à deficiência da normalização brasileira.

Trabalhos que buscam testar diferentes distribuições de espaçadores, com a finalidade encontrar configurações de espaçadores capazes de garantir a execução do cobrimento mínimo têm sido realizados, são os casos de Maran *et al.* (2015), Palm (2017) e Ghiggi (2018). Como os trabalhos citados, o presente trabalho busca agregar resultados que possibilitem a escolha de uma distribuição correta de espaçadores.

## 4 OBTENÇÃO DA ESPESSURA DE COBRIMENTO

Neste capítulo serão apresentadas as considerações presentes na norma brasileira e nas instruções normativas de alguns países sobre o cobrimento de armaduras. Para cada uma das normas serão discutidos os cobrimentos mínimos e as tolerâncias de execução associados com os níveis de controle de execução descritos pelas mesmas. Também, através de um exemplo, serão indicadas as especificações de cobrimento que seriam realizadas por cada norma para laje inserida em área urbana, desde uma situação normal até ao menor cobrimento permitido pelas prescrições, considerando as reduções de cobrimento em cada norma.

Por último, é feita uma comparação do cobrimento especificado pela norma brasileira com os valores de cobrimento que seriam especificados por cada uma das normas estrangeiras para uma laje em Porto Alegre com concreto de resistência usual em obra e em condições normais de controle de execução.

### 4.1 ESPECIFICAÇÃO DO COBRIMENTO

#### 4.1.1 Norma brasileira

A espessura do concreto de cobrimento é descrita pela NBR 6118 (ABNT, 2014) como uma espessura de cobrimento mínima acrescida de uma tolerância de execução, formando o cobrimento nominal, conforme a Equação 1.

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

O cobrimento mínimo da armadura ( $c_{min}$ ) é o menor valor que deve ser respeitado ao longo de todo o elemento considerado, constituindo um critério de aceitação, conforme prescreve a NBR 6118 (ABNT, 2014). Para garantir o cobrimento mínimo, o projeto e a execução devem considerar o cobrimento nominal ( $c_{nom}$ ), assim a dimensão dos espaçadores deve respeitar o

cobrimento nominal. A NBR 6118 (ABNT, 2014) indica o uso da Tabela 4, para a determinação do cobrimento nominal, com uma tolerância de execução de dez milímetros ( $\Delta c = 10 \text{ mm}$ ).

Tabela 4 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para  $\Delta c = 10 \text{ mm}$

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto Armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup>	30		40	50
Concreto protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	45
	Viga/Pilar	30	35	45	55

<sup>a</sup> Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos ou cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para o concreto armado.

<sup>b</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, com pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitando um cobrimento nominal  $\geq 15 \text{ mm}$ .

<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes, e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos de agressividade IV.

<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45 \text{ mm}$ .

(fonte: NBR 6118 ABNT, 2014, p. 20)

Apesar de não ser descrito explicitamente na NBR 6118 (ABNT, 2014), sabe-se que o cobrimento mínimo é dependente da qualidade do concreto de cobrimento, ou seja, sua relação  $a/c$ , porosidade e resistência, enquanto a tolerância de execução é bem descrita pela norma como uma medida que depende da qualidade e do controle da execução.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) não aponta um valor único a ser tomado para a tolerância de execução, indicando que para obras correntes o seu valor deve ser maior ou igual a dez milímetros ( $\Delta c \geq 10 \text{ mm}$ ), demonstrando preocupação em elevar a espessura de cobrimento

---

Avaliação da influência da distribuição de espaçadores e da tolerância de execução no cobrimento de concreto para armaduras de lajes: análise em obra

nos casos de obras comuns. Porém, em dois trechos de seu texto a norma abre a possibilidade da escolha de diminuir a espessura de cobertura. O primeiro trecho diz:

“Quando houver um controle adequado de qualidade e limites rígidos de tolerância da variabilidade das medidas durante a execução, pode ser adotado valor de  $\Delta c = 5 \text{ mm}$ , mas a exigência de controle rigoroso deve ser explicitada nos desenhos de projeto. Permite-se, então, a redução dos cobrimentos nominais, prescritos em tabela, em  $5 \text{ mm}$  (NBR 6118, ABNT, 2014, p. 19)”.

Cabe salientar que a norma não especifica o que é um controle adequado de qualidade ou limites rígidos de tolerância de execução, podendo um profissional de engenharia optar por utilizar a redução do cobertura acreditando que possui um controle adequado de qualidade sem realmente o ter.

O segundo trecho da NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 20) que abre a possibilidade de diminuir o cobertura diz: “para concretos de classe de resistência superior ao mínimo exigido, os cobrimentos definidos em tabela podem ser reduzidos em até  $5 \text{ mm}$ ”. O trecho indica que o cobertura nominal explicitado na Tabela 4 pode ser reduzido caso se utilize um concreto de classe superior ao mínimo exigido na Tabela 2.

Apesar do texto indicar a diminuição do cobertura nominal ( $c_{nom}$ ) sem fazer referência a qual de suas duas parcelas é decorrente a redução, como a redução é sustentada pela utilização de um concreto de classe de resistência superior ao mínimo exigido, ou seja, um material de melhor qualidade, presume-se que a diminuição seja decorrente do cobertura mínimo exigido ( $c_{min}$ ), que é uma medida dependente da qualidade do concreto, e não da tolerância de execução ( $\Delta c$ ).

Sendo assim, uma obra na cidade de Porto Alegre, que por ser caracterizada como uma área urbana com classe II de agressividade ambiental, deverá ser executada com um concreto de  $f_{ck}$  de  $25 \text{ MPa}$  no mínimo, utilizando da interpretação descrita anteriormente da NBR 6118 (ABNT, 2014), as lajes poderiam ser dimensionadas com cobertura nominal de  $25 \text{ mm}$  ou superior ( $c_{min} = 15 \text{ mm}$  e  $\Delta c \geq 10 \text{ mm}$ ), caso não se utilize nenhuma redução de cobertura prescrita pela norma. Reduzindo o cobertura devido ao controle de qualidade e à utilização de um concreto de classe superior à C25, o cobertura nominal permitido é de  $15 \text{ mm}$  ( $c_{min} = 10 \text{ mm}$  e  $\Delta c = 5 \text{ mm}$ ).

Estes valores poderiam ser reduzidos ainda mais, caso se utilize do item “a” da Tabela 1, presente na NBR 6118 (ABNT, 2014) que diz:

“Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura)” (NBR 6118, ABNT, 2014. p. 17).

Fazendo com que uma obra em Porto Alegre com lajes internas de concreto revestidas por argamassa e pintura, se caracterize por um ambiente de classe de agressividade ambiental I, conforme Tabela 1, e considerando outras duas reduções, poderia ter-se cobertura nominal de 10 mm para as lajes internas ( $c_{min} = 5 \text{ mm}$   $\Delta c = 5 \text{ mm}$ ). Embora a tabela 7.2 da ABNT NBR 6118 (2014) (Tabela 4) faça referência a um cobrimento mínimo de 15 mm em face superior de lajes e vigas com revestimento, permitindo a interpretação de ser esse o menor cobrimento possível para lajes, isso não está escrito de forma explícita.

#### 4.1.2 Norma europeia

A norma europeia EN 1992 1-1 (2004) também define o cobrimento de armadura como o cobrimento nominal ( $c_{nom}$ ), formado pelas parcelas de cobrimento mínimo ( $c_{min}$ ) e tolerância de execução ( $\Delta c$ ), conforme a Equação 1.

A norma europeia EN 1992 1-1 (2004) afirma que o cobrimento mínimo tem função de garantir: a correta transmissão de esforços de ligação entre concreto e aço; a devida proteção da armadura contra a corrosão; e uma adequada resistência ao fogo, e indica a Equação 2 para a obtenção dos seus valores mínimos.

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min, dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\} \quad (2)$$

O  $c_{min,b}$ , cobrimento mínimo para boa transferência de esforços entre aço e concreto, tem para o concreto armado o valor sugerido a ser adotado de espessura mínima corresponde ao próprio diâmetro da barra de aço (EN 1992 1-1, 2004).

O  $c_{min, dur}$  corresponde à agressividade do ambiente e à classe estrutural do elemento, seus valores são especificados com a finalidade de garantir a durabilidade da estrutura. A Tabela 5 dispõe as classes de agressividade consideradas pela norma (EN 1992 1-1, 2004).

Tabela 5 - Classes de agressividade ambiental EN - 1992 1-1 (2004)

Classe	Descrição do ambiente	Exemplos de ocorrência
<b>1 Sem risco de corrosão ou ataque</b>		
<b>X0</b>	Concreto sem armadura ou fibras metálicas: todas as exposições excetos gelo/degelo, abrasão ou ataque químico	Concreto dentro da edificação com baixa umidade do ar
	Concreto com armadura ou fibras metálicas: ambiente seco	
<b>2 Corrosão induzida pela carbonatação</b>		
<b>XC1</b>	Seca ou permanente úmida	Concreto dentro da edificação com baixa umidade do ar; Concreto permanentemente submerso em água
<b>XC2</b>	Úmida, raramente seca	Contato com água a longo prazo; fundações
<b>XC3</b>	Umidade moderada	Concreto dentro da edificação com moderada ou alta umidade relativa do ar
<b>XC4</b>	Úmida e seca – ciclo	Superfície em contato com a água, fora da classe XC2
<b>3 Corrosão induzida por cloretos não provenientes da água do mar</b>		
<b>XD1</b>	Umidade moderada	Superfícies de concreto expostas a cloretos transportados pelo ar
<b>XD2</b>	Úmida, raramente seca	Piscinas; concreto exposto a águas industriais contendo cloretos
<b>XD3</b>	Úmida e seca – ciclo	Partes de pontes expostas a pulverização contendo cloretos; Pavimentos; lajes de estacionamento
<b>4 Corrosão induzida por cloretos provenientes da água do mar</b>		
<b>XS1</b>	Exposto ao sal marinho, mas sem contato com água do mar	Estruturas próximas ou inseridas na costa
<b>XS2</b>	Permanentemente submerso	Partes das estruturas marinhas
<b>XS3</b>	Zona de respingos de maré	Partes das estruturas marinhas
<b>5 Ataque com agentes de gelo e degelo</b>		
<b>XF1</b>	Saturação moderada de água, sem agente de degelo	Superfícies verticais expostas à chuva e ao congelamento
<b>XF2</b>	Saturação moderada de água, com agente de degelo	Superfícies verticais expostas ao congelamento e agentes de degelo presentes no ar
<b>XF3</b>	Saturação alta de água, sem agente de degelo	Superfícies horizontais expostas a chuva e ao congelamento

<b>XF4</b>	Saturação alta de água, com agente de degelo	Superfície exposta a pulverização de agentes de degelo; Zonas de respingos de maré exposta ao congelamento
------------	--	---

### 6 Ataque químico

<b>XA1</b>	Ambiente químico ligeiramente agressivo	Solos naturais e águas subterrâneas
<b>XA2</b>	Ambiente químico moderadamente agressivo	Solos naturais e águas subterrâneas
<b>XA3</b>	Ambiente químico altamente agressivo	Solos naturais e águas subterrâneas

(fonte: EN 1992 1-1, 2004, p. 48, tradução livre)

Existem 6 classes estruturais dispostas na EN 1992 1-1 (2004). A classe estrutural recomendada, para uma previsão de durabilidade de 50 anos, é a classe S4. A norma ainda prevê reduções e acréscimos de classes, a depender dos critérios dispostos na Tabela 6. Os cobrimentos mínimos referentes à durabilidade ( $c_{min, dur}$ ) recomendados pela norma EN 1992 1-1 (2004) são dispostos na Tabela 7.

Tabela 6 - Adequação da classe estrutural EN 1992 1-1 (2004)

Classe estrutural							
Critério	Classe de exposição						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2/XS1	XD3/XS2/XS3
Projeto para vida útil de 100 anos	Aumentar classe em 2						
Classe de resistência	$\geq 30/37$ Reduzir classe em 1	$\geq 30/37$ Reduzir classe em 1	$\geq 35/45$ Reduzir classe em 1	$\geq 40/50$ Reduzir classe em 1	$\geq 40/50$ Reduzir classe em 1	$\geq 40/50$ Reduzir classe em 1	$\geq 45/55$ Reduzir classe em 1
Elemento com geometria de laje	Reduzir classe em 1						
Controle especial na produção do concreto	Reduzir classe em 1						

(fonte: EN 1992 1-1, 2004, p. 50, tradução livre)

Avaliação da influência da distribuição de espaçadores e da tolerância de execução no cobrimento de concreto para armaduras de lajes: análise em obra

Tabela 7 - Requerimento ambiental de cobrimento mínimo EN 1992 1-1 (2004)

Requerimento ambiental de cobrimento mínimo ( $c_{min, dur}$ ) [mm]							
Classe estrutural	Classe de exposição						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	15	20	25	30	35	40
S2	10	15	25	30	35	40	45
S3	10	20	30	35	40	45	50
S4	10	25	35	40	45	50	55
S5	15	30	40	45	50	55	60
S6	20	35	45	50	55	60	65

(fonte: EN 1992 1-1, 2004, p. 51, tradução livre, grifo do autor)

Os incrementos  $\Delta c_{dur,\gamma}$ ;  $\Delta c_{dur,st}$ ;  $\Delta c_{dur,add}$ , são referentes à segurança adicional adotada pelo projetista, medidas especiais de redução de risco de corrosão especificadas em projeto e proteção mecânica adicional, respectivamente. Seus valores devem ser especificados no projeto executivo, mas norma orienta que sejam adotados para todos estes elementos o valor de 0 mm, quando estudos complementares não forem realizados (EN 1992 1-1, 2004).

Para calcular o cobrimento nominal, acrescenta-se ao cobrimento mínimo ( $c_{min}$ ) a parcela referente à tolerância de execução ( $\Delta c$ ), que tem valor recomendado de 10 mm (EN 1992 1-1, 2004). Porém, para certas situações de nível de controle de execução, a norma permite a redução desta tolerância. Comparando com a norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014) que também permite a redução da tolerância, porém não descreve precisamente as situações, a norma europeia EN 1992 1-1 (2004) indica diretamente o tipo de monitoramento indicado para a redução de tolerância de execução.

Quando a execução é submetida a um sistema de controle de qualidade, no qual o monitoramento inclui medições de cobrimento do concreto, pode-se utilizar uma tolerância de execução ( $\Delta c$ ) de até 5 mm. Onde possa se assegurar que o dispositivo de monitoramento utilizado for muito preciso e os elementos desconformes forem rejeitados (por exemplo, elementos pré-fabricados), a tolerância de execução ( $\Delta c$ ) pode ser reduzida para 0 mm.

Para uma laje interna localizada em zona urbana, onde a classe de agressividade ambiental pode ser adotada como XC3 e a classe estrutural recomendada para uma durabilidade de 50 anos é a S4, seria indicado pela Tabela 7 um cobrimento mínimo de 35 mm. Utilizando-se das reduções previstas na Tabela 6, pode-se reduzir em uma classe estrutural devido ao elemento ser laje e também reduzir-se em uma classe estrutural se o controle de produção do concreto for especial, possibilitando utilizar a classe S2, com cobrimento mínimo de 25 mm. Outra redução ainda é possível, caso se utilize um concreto de classe igual ou superior a 35 MPa, possibilitando considerar classe estrutural S1, e cobrimento mínimo de 20 mm.

A tolerância de execução pode assumir os valores de 10 mm para a maioria dos casos, e 5 mm para um controle diferenciado de execução, como já explicado anteriormente, somando-se estes valores aos de cobrimento mínimo na determinação do cobrimento nominal. Para o caso de classe S1 e com tolerância de execução de 10 mm, o cobrimento nominal será de 30 mm.

#### **4.1.3 Norma espanhola**

A norma espanhola, EHE (2008), também define o cobrimento de armadura como o cobrimento nominal ( $c_{nom}$ ), resultado da soma do cobrimento mínimo ( $c_{min}$ ) e da tolerância de execução ( $\Delta c$ ), conforme a Equação 1.

A tolerância de execução ( $\Delta c$ ) é dada em função do nível de controle de execução, com valores de 0 mm para elementos pré-fabricados com nível intenso de controle de execução, 5 mm para elementos moldados no local com nível intenso de controle de execução e 10 mm para os demais casos (EHE, 2008).

A norma EHE (2018) prescreve que é permitido adotar o nível de controle intenso de execução somente para o Construtor que possua sistema de qualidade certificado conforme a UNE-EN ISO 9001. E define os critérios a serem seguidos para os níveis de controle intenso e normal em função do número mínimo de atividades que devem ser submetidas à inspeção da fiscalização do próprio construtor e de agentes de inspeção externos. Porém, as atividades listadas são de caráter de um serviço geral, como: escoramento, montagem de armaduras, lançamento do concreto, entre outros, não indicando diretamente a execução da conferência dos cobrimentos.

O cobrimento mínimo ( $c_{min}$ ) é obtido em função da classe de agressividade ambiental, do tipo de cimento utilizado na confecção do concreto, da resistência característica do concreto e apresentam valores de cobrimento visando a vida útil desejada, 50 ou 100 anos (EHE, 2008).

A classe de exposição I é referente a um ambiente sem a presença de agentes agressivos, como por exemplo: interiores de edifícios, não submetidos à condensação. A classe II é dividida em classe II-a e classe II-b, e tem o processo de corrosão dado por um elemento de origem diferente dos íons cloretos, como por exemplo o gás carbônico (EHE, 2008).

A classe II-a contém os elementos sob a ação intensa ou permanente de umidade, como estruturas submersas, enquanto a classe II-b contém os elementos sujeitos à ação comum de umidade, como interiores ou exteriores de edificações com  $UR > 65\%$  (EHE, 2008).

A classe III é composta pelos ambientes onde o processo de corrosão da armadura é devido à presença dos íons cloretos, como por exemplo ambientes marinhos. Além dos processos de corrosão a norma espanhola também especifica medidas de controle de processos deterioradores diferentes da corrosão, como o ataque químico devido à água e ao solo em contato com o concreto, além do ataque devido a geadas e concretos sujeitos à abrasão e à cavitação (EHE, 2008).

Os valores recomendados pela norma EHE (2018) para os cobrimentos mínimos a serem utilizados nos ambientes de classe de agressividade ambiental do tipo I e II são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Cobrimentos mínimos para classes de exposição I e II EHE.

Classe de exposição	Tipo de cimento	Resistência característica do concreto [MPa]	Vida útil de projeto [anos]	
			50	100
I	Qualquer	$f_{ck} > 25$	15	25
II-a	CEM I	$25 \leq f_{ck} < 40$	15	25
		$f_{ck} \geq 40$	10	20
	Outros tipos de cimento ou no caso de emprego de adições ao concreto	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	30
		$f_{ck} \geq 40$	15	25
II-b	CEM-I	$25 \leq f_{ck} < 40$	20	30
		$f_{ck} \geq 40$	15	25
	Outros tipos de cimento ou no caso de emprego de adições ao concreto	$25 \leq f_{ck} < 40$	25	35
		$f_{ck} \geq 40$	20	30

(fonte: EHE, 2008. Capítulo 7, p. 90, tradução livre)

Simulando a execução de uma laje no interior de um edifício localizado em uma área urbana, utilizando a EHE (2008) para prescrever seu cobrimento, considerando classe de agressividade ambiental II-b, vida útil de 50 anos e um  $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ , o cobrimento mínimo requerido é de 20 mm, caso se utilize uma tolerância de execução de 10 mm, o cobrimento nominal ficaria de 30 mm, caso se use a tolerância de execução de 5 mm, permitida para nível de controle intenso de execução, o cobrimento nominal é de 25 mm. Pode-se ainda reduzir este cobrimento caso se utilize um concreto com  $f_{ck}$  igual a 40 MPa, ficando com cobrimento nominal de 20 mm.

#### 4.1.4 Norma britânica

A norma Britânica BS 8500-1 (2006) também apresenta o cobrimento das armaduras conforme já foi descrito anteriormente nas normas Brasileira, Europeia e Espanhola, com o cobrimento nominal formado pela soma do cobrimento mínimo, que é função da qualidade do concreto e

da classe de agressividade ambiental que será exposta a estrutura, com uma tolerância de execução variável.

As classes de agressividade ambiental apresentadas por elas são muito semelhantes entre si, e tem uma forma muito similar àquela apresentada pela norma europeia EN 1992-1 (2004), descrita na Tabela 7. A agressividade ambiental define o cobrimento mínimo, que será somado à tolerância de execução. Os valores recomendados para o cobrimento mínimo foram escolhidos de forma a diminuir os riscos de corrosão da armadura durante a vida útil, partindo do pressuposto que o projetista escolheu uma tolerância de execução adequada para somar ao cobrimento mínimo, e que o nível da mão de obra local é suficientemente competente para garantir esse valor (BS 8500-1, 2006). Um resumo da tabela fornecida para a definição dos cobrimentos nominais, para uma vida útil de 50 anos, é apresentado na Tabela 9

Tabela 9 – Cobrimento nominal BS 8500-1 (2006)

<b>Uso</b>	<b>Classe de exposição</b>	<b>Cobrimento nominal [mm]</b>	<b>Resistência mínima exigida [MPa]</b>
Armaduras passivas ou ativas em elementos internos, exceto ambientes fechados com ventilação deficiente e muita umidade	XC1	(15 + $\Delta c$ )	20/25
Armaduras passivas ou ativas em ambientes externos com ou sem exposição a chuva	XC3/XC4	(20 + $\Delta c$ )	40/50
		(25 + $\Delta c$ )	32/40
		(30 + $\Delta c$ )	28/35

(fonte: BS 8500-1, 2006, p.26. adaptado pelo autor)

Segundo a BS 8500-1 (2006), a tolerância de execução deve ser definida com base nas considerações do tipo de construção e das medidas de controle de qualidade dispostos na DD ENV 13670-1, que serão implementadas durante a construção. Os valores de tolerância ficam tipicamente na faixa de 5 mm a 15 mm.

A norma DD ENV 13670-1 (2000) prescreve três níveis de inspeção, listando quais os tipos de atividades devem ser verificados em cada etapa de construção. Para o cobrimento de armaduras se prevê para os níveis 2 e 3 uma conferência visual da espessura antes da concretagem, e a medição, com aparelhagem apropriada, dos cobrimentos após a concretagem, para comparar

com o cobrimento especificado no projeto. No nível 1, não é especificado a inspeção dos cobrimentos em nenhuma etapa da execução.

Mesmo indicando que a tolerância de execução será dada em função dos níveis dispostos na DD ENV 13670, a norma BS 8500-1 (2006) não especifica diretamente qual valor deve ser adotado para a tolerância de execução para cada um dos níveis dispostos na DD ENV 13670, deixando a cargo do projetista a escolha de um valor entre 5 mm a 15 mm.

Uma laje de concreto inserida em zona urbana, com classe de agressividade ambiental XC3, tem seu cobrimento mínimo variando com a resistência característica do concreto, como é visto na Tabela 9. O cobrimento mínimo exigido, para o fck de 28 MPa, é de 30 mm, escolhendo a tolerância de execução entre os valores de 5 a 15 mm, o cobrimento nominal poderá ser de 35 mm a 45 mm. Caso se utilize um concreto de fck igual a 40 MPa, o cobrimento nominal poderá ser de 25 a 35 mm.

#### **4.1.5 Norma alemã**

A norma Alemã DIN 1045-1 (2008) segue a mesma linha das demais normas anteriormente discutidas, apresentando o cobrimento nominal formado pelas parcelas de cobrimento mínimo e tolerância referente a desvios não programados. A tabela que define as classes de agressividade ambiental é a mesma apresentada pela norma Europeia EN 1992 1-1 (2004), Tabela 5. O cobrimento nominal é dado na Tabela 10.

Tabela 10 - Cobrimento nominal DIN 1045-1

Classe de agressividade ambiental	Cobrimento mínimo		Tolerância
	Concreto armado	Concreto protendido	$\Delta c$
XC1	10	20	10
XC2	20	30	15
XC3	20	30	
XC4	25	35	
XD1	40	50	
XD2			
XD3			
XS1	40	50	
XS2			
XS3			

(fonte: DIN 1045-1, 2008, p.34, tradução livre)

A tolerância referente a desvios não programados apresentada pela DIN 1045-1 (2008) não se refere diretamente a desvios somente de execução, inclusive seus valores são dependentes da classe de agressividade ambiental que está exposto o elemento estrutural. A tolerância assume o valor de 10 mm para a classe de agressividade XC1, e 15 mm para as demais. Mas esses valores ainda podem ser reduzidos em 5 mm, justificado por um controle especial de qualidade na execução.

A norma DIN 1045-1 (2008) afirma que uma redução da tolerância para um valor menor que 5 mm é inadmissível para elementos executados *in situ*, sendo somente justificada para elementos pré-moldados, onde se possa garantir a rejeição dos elementos com cobrimento inferiores ao cobrimento mínimo. Cabe salientar que a norma não define os parâmetros necessários e os procedimentos a serem seguidos para que se considere um controle de execução especial e se utilize corretamente destas reduções.

Uma laje inserida em uma área urbana, correspondente a classe de agressividade ambiental XC3, projetada com um concreto de resistência característica de 35 MPa, teria, segundo a DIN

1045-1 (2008), uma espessura de cobrimento mínimo de 20 mm e uma tolerância de 15 mm, ou seja, um cobrimento nominal de 35 mm.

#### **4.1.6 Norma boliviana**

A norma Boliviana CBH (1987) define o cobrimento somente como “cobrimento mínimo”, sem definir cobrimento nominal e separa-lo em parcelas dependentes da qualidade do concreto e da execução, mesmo com seu valor variando por estes motivos. Os valores básicos das espessuras de cobrimento mínimo são atribuídos através da classe de agressividade ambiental, e sofrem correções relacionadas com a sensibilidade de corrosão das armaduras, do tipo de elemento estrutural e da classe de resistência do concreto, além de dependerem do nível de controle de qualidade de execução, como pode ser vista na Tabela 11.

As classes de agressividade ambiental dos meios, consideradas pela CBH (1987), são:

- a) não severa: interiores de edifícios residenciais ou comerciais; meio com baixa umidade relativa do ar na maior parte do ano;
- b) moderadamente severa: interiores de edifícios onde a umidade seja elevada, ou onde seja previsto a presença temporária de vapores corrosivos; águas correntes; meio urbano ou rural sem fortes concentrações de gases agressivos; solos comuns;
- c) severas: líquidos que contenham pequenas quantidades de ácidos, águas salinas ou muito oxigenadas; gases ou solos corrosivos; atmosfera corrosiva, industrial ou maninha.

Tabela 11 - Cobrimento mínimo CBH 87, em mm.

Valores básicos			Correções para			
Condições ambientais			Armaduras sensíveis a corrosão	Lajes e vigas	Concreto	
Não severa	Moderadamente severa	Severa			Até C20	Maior que C40
15	25	35	±10	-5	+5	-5

(fonte: CBH 87, 1987, p. 236, tradução livre)

A CBH (1987) indica que as correções podem acumular-se, contanto que não proporcionem cobrimentos mínimos menores que 25 mm.

A respeito da sensibilidade das armaduras à corrosão, se consideram como sensíveis os aços (CBH, 1987):

- de todos os tipos e classes de diâmetro igual ou inferior a 4 mm;
- simplesmente temperados, de qualquer diâmetro;
- trefilados a frio, submetidos à tração permanente superior a 400 MPa.

Com a indicação de diminuição do cobrimento em 5 mm para vigas e lajes, observada na Tabela 11, percebe-se que a CBH (1987) considera mais importante o cobrimento para os pilares, que possui uma função estrutural de contenção de flambagem das armaduras, comparado ao das lajes e vigas, agindo prioritariamente no aumento da durabilidade.

A norma boliviana ainda permite uma redução do cobrimento mínimo para elementos pré-moldados, ou obras sujeitas a um nível intenso de controle de execução. De acordo com a CBH (1987) a responsabilidade da realização do controle de execução é do Diretor de Obra (responsável pela obra), e que deverá se adequar ao nível utilizado para realização do projeto da estrutura. Os três níveis considerados são Reduzido, Normal e Intenso.

O nível de controle Reduzido se realiza quando as visitas de inspeção à obra acontecem sem um caráter periódico, durante as quais se efetuam observações não sistemáticas das operações que são referidas em tabela. No nível de controle Normal, realizam-se frequentes e periódicas

visitas de inspeção à obra, durante as quais se comprova sistematicamente e por rotação um conjunto parcial das operações que são dispostas em tabela, com objetivo de garantir todas elas. O nível de controle Intenso se caracteriza pela realização de visitas frequentes, periódicas e detalhadas para a inspeção da obra, que contará com um profissional legalmente habilitado no conselho nacional de engenharia do país, e cuja atuação será constante na mesma e que deverá realizar a comprovação continuada e sistemática de todas as operações descritas em tabela (CBH, 1987).

A tabela com todas as operações a serem controladas abrange conferências em momentos antes, durante e depois das concretagens, indicando a verificação da qualidade de serviços de forma geral, como cimbramento e formas, fabricação, lançamento e cura do concreto. Porém não aponta diretamente para a conferência da espessura de cobrimento (CBH, 1987. Tabela 17.1- pág. 262).

A CBH (1987) permite que para elementos pré-moldados com concretos de resistência maior que 25 MPa, ou em obras com nível de controle Intenso de execução, se reduza os cobrimentos prescritos na Tabela 11 em 5 mm. Porém não associa essa redução a uma redução de tolerância de execução. A tolerância de execução, fixa para todos os níveis de execução, prescrita pela norma para a superfície inferior dos elementos, é de um décimo da espessura de cobrimento ( $\frac{1}{10} c$ ), enquanto para a superfície superior é de um quarto da espessura de cobrimento ( $\frac{1}{4} c$ ), já para as superfícies laterais fica na quinta parte do cobrimento ( $\frac{1}{5} c$ ).

Uma laje inserida em ambiente urbano, utilizando a normalização Boliviana para especificar a espessura do cobrimento, a mesma seria 30 mm, considerando a agressividade ambiental moderadamente severa ( $c_{min} = 15 \text{ mm}$ , armaduras suscetíveis à corrosão (+10 mm), elemento é uma laje (-5 mm), classe de concreto C25 (sem correção). Com a tolerância de execução de 3 mm para as faces inferiores e 7,5 mm para as faces superiores das lajes. Caso se utilize da redução de 5 mm, referente à utilização de um controle de qualidade nível intenso, o cobrimento para a mesma laje poderia ser de 25 mm. Utilizando um concreto com  $f_{ck}$  de 40 MPa é permitido a redução de 5 mm, ocasionando um cobrimento de 20 mm, sendo esse o menor valor possível segundo a CBH (1987).

#### 4.1.7 Resumo das normas

A maioria das normas, inclusive a brasileira, dispõe diretamente o cobrimento como sendo o cobrimento nominal, formado pela soma do cobrimento mínimo, necessário para transmissão de esforços e obtenção de durabilidade, com a tolerância, que na maioria dos casos, exceto a norma Alemã, encara como dependente somente da execução. A norma Boliviana faz um tratamento um pouco diferente do cobrimento, referindo-se ao mesmo sempre como cobrimento mínimo, porém aplica valores de tolerância a estes cobrimentos chamados mínimos, fazendo então com que eles funcionem como cobrimentos nominais, da mesma forma ao apresentado pelas outras normas.

Os valores de tolerância de execução variam de norma para norma, mas ficam no intervalo de 5 a 15 mm, para elementos moldados no local, porém o valor de 5 mm é somente indicado para quando se utiliza um sistema de controle de qualidade diferenciado, entretanto não fica indicado se estes valores são somente para tolerâncias que diminuam o cobrimento, ou também servem para tolerâncias de aumento de cobrimento e consequente diminuição da altura útil de concreto. A norma Boliviana apresenta a tolerância de execução de uma forma diferente, fixando seu valor em  $(\frac{1}{10} c)$  para superfícies inferiores, e  $(\frac{1}{4} c)$  superfícies superiores (sem contato com forma) e um quinto para superfícies laterais  $(\frac{1}{10} c)$ , também sem especificar se esses valores são somente para diminuição do cobrimento, ou também para aumento.

Vale ressaltar que nem todas as normas definem de maneira inequívoca quando se pode reduzir a tolerância de execução na consideração de um sistema de controle intenso. As mais precisamente definem são as norma europeia EN 1992 1-1 (2004) e britânica BS 8500-1 (2006), que orientam a medição dos cobrimentos durante o processo de execução. A norma espanhola EHE-08 (2008) define os níveis de controle de execução conforme números de verificações obrigatórias, porém não relaciona nenhuma verificação à medição de cobrimentos para justificar a sua redução de tolerância.

A norma boliviana CBH (1987) também apresenta uma tabela semelhante à da espanhola, com elementos mínimos a serem verificados, mas não menciona a medição de cobrimentos nessa verificação, e ainda sua tolerância de execução apresentada não é dependente do nível de controle, sendo o mesmo valor fixo para todos. Já as normas, brasileira NBR 6118 (ABNT,

2014) e alemã DIN 1045-1 (2004), nem apresentam parâmetros de diferenciação dos níveis de controle, para justificar a redução de tolerância.

Pode-se fazer uma comparação dos cobrimentos que seriam especificados por cada norma, em uma situação padrão, descrita a baixo. Os resultados de cobrimento são dispostos na Tabela 12.

- Elemento: laje sem revestimento;
- ambiente: Interno, com ação de agentes agressivos de carbonatação, conforme o que ocorre em Porto Alegre/RS;
- resistência característica à compressão de 35 MPa, para exemplificar uma situação corriqueira das estruturas atualmente executadas em Porto Alegre;
- concreto fornecido por central dosadora;
- cobrimentos mínimos pensando em uma vida útil de 50 anos;
- tolerância de execução mais indicada, sem uso de reduções por controle de qualidade diferenciado.

Tabela 12- Cobrimentos em uma laje situada em Porto Alegre/RS, com base em diferentes normas

Norma	$c_{min}$	$\Delta c$	$c_{nom}$
NBR 6118 (Brasileira)	10	10	20
EN 1992-1 (Europeia)	20	10	30
EHE 08 (Espanhola)	20	10	30
BS 8500 (Britânica)	25	10	35
DIN 1045-1 (Alemã)	20	15	35
CBH 87 (Boliviana)	27	3	30

(fonte: elaborada pelo autor)

No caso da norma britânica BS 8500-1 (2006), que dispõe a faixa de tolerância de 5 mm a 15 mm, sem indicar um valor diretamente, utilizou-se 10 mm como um valor médio representativo.

Assim observa-se que dentre as normas analisadas, a norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014) é a que permite a utilização de um menor cobrimento nominal, com diferenças de 10 a 15 mm em relação às demais normas.

## 4.2 GARANTIA DE COBRIMENTO

Os espaçadores são os elementos utilizados na obtenção da espessura de cobrimento, podendo ser de plástico, concreto, argamassa ou metálicos desde que não fiquem expostos, e têm a função de sustentar a armadura sobre a fôrma, mantendo-a em sua correta posição antes e durante a concretagem.

Os espaçadores industrializados oferecem uma grande variedade de opções, sendo que para cada elemento estrutural existe um tipo de espaçador mais indicado (MENNA BARRETO, 2014). Dentre os espaçadores comumente utilizados para garantir o cobrimento das armaduras positivas de lajes pode-se citar os espaçadores do tipo cadeirinha e multiapoio, que são vistos na Figura 3. Os espaçadores do tipo cadeirinha apoiam apenas uma barra e necessitam ser amarrados às armaduras, pois facilmente tombam. Já os espaçadores multiapoio, por possuírem modelos com comprimento de aproximadamente 25 cm, conseguem apoiar mais de uma barra, e possuem menor tendência ao tombamento.

Figura 3 – Espaçadores plásticos: (a) cadeirinha e (b) multiapoio.



(fonte: Catálogo Eplás.)

A qualidade do espaçador também pode ser um agravante da não obtenção do cobrimento, visto que os espaçadores plásticos não possuem critérios de desempenho regulamentados no Brasil.

Menna Barreto (2014) encontrou resultados não satisfatórios testando o desempenho de espaçadores disponíveis no mercado brasileiro com base em critérios propostos por normas europeias.

Outro fator importante para a obtenção do cobrimento em lajes é a amarração da malha de armaduras para lajes. De acordo com a NBR 14931 (ABNT, 2004), a amarração das barras deve ser feita com arame, ou com solda em aços soldáveis, com a distância entre os pontos de amarração máxima de 35 cm.

Também pode-se atribuir como um dos motivos da grande dificuldade em garantir o cobrimento especificado no projeto estrutural, mesmo que com as tolerâncias permitidas, a carência de uma norma brasileira que defina disposições para a distribuição dos espaçadores. O único trecho que cita a utilização de espaçadores na NBR 14931 (ABNT, 2004, p. 13) diz:

“O cobrimento especificado para a armadura no projeto deve ser mantido por dispositivos adequados ou espaçadores e sempre se refere à armadura mais exposta. É permitido o uso de espaçadores de concreto ou argamassa, desde que apresente relação água/cimento menor ou igual a 0,5, e espaçadores plásticos, ou metálicos com as partes em contato com a fôrma revestidas com material plástico ou outro material similar. Não devem ser utilizados calços de aço cujo cobrimento, depois de lançado o concreto, tenha espessura menor que o especificado no projeto”

O trecho da norma brasileira se preocupa em indicar que o cobrimento especificado no projeto estrutural deve ser mantido na execução da estrutura, com a utilização de espaçadores adequados. Porém não indica qualquer metodologia de distribuição de espaçadores que auxilie na garantia do cobrimento, deixando o profissional de engenharia sem orientação técnica que permita executar o que é proposto.

Em busca na literatura brasileira de indicações de demanda de espaçadores necessários para a execução de lajes de concreto armado, pode-se analisar os indicadores de consumo de espaçadores em planilhas para fins de orçamentação. As tabelas de composições SINAPI da Caixa Econômica Federal apresentam, em suas composições, indicativos do número de espaçadores necessários para executar uma laje, considerando diversas bitolas diferentes. Um resumo das indicações encontra-se na Tabela 13.

Tabela 13 - Rendimento de espaçadores em lajes

<b>Barra</b>	<b>Espaçadores / kg de aço</b>
Ø4,2	2,816
Ø5	2,118
Ø6,3	1,333
Ø8	0,728
Ø10	0,357
Ø12,5	0,147

(fonte: baseado em SINAPI 92767, 92768, 92769, 92770, 92771, 92772. Agosto de 2018)

Os indicadores de consumo de espaçadores do SINAPI são proporcionais à massa de aço utilizada, fazendo com se demande mais espaçadores para malhas mais densas. Isto pode ser visto como uma inconsistência, já que se pressupõe que na medida que se aproximam as barras que formam a malha, aumenta a rigidez da malha, o que levaria a uma redução no número necessário de espaçadores. Tal fato evidencia que as prerrogativas propostas pelo SINAPI para estimar a demanda de espaçadores não considera uma análise mais aprofundada das deformações da armadura, sendo somente recomendada sua utilização para fins de orçamento. A Tabela 14 apresenta a demanda de espaçadores por metro quadrado, e a distância média entre eles, considerando uma laje de 35 m<sup>2</sup> e aberturas de malha de 10 e 20 cm.

Tabela 14 - Cálculo do consumo de espaçadores e distância média SINAPI

Barra	Malha de 10x10		Malha de 20x20	
	Espaçadores / m <sup>2</sup>	Distância média entre espaçadores [cm]	Espaçadores / m <sup>2</sup>	Distância média entre espaçadores [cm]
Ø4,2	6,14	34	3,07	67
Ø5	6,52	32	3,26	63
Ø6,3	6,61	31	3,31	62
Ø8	5,72	35	2,86	72
Ø10	4,45	46	2,22	92
Ø12,5	2,9	71	1,45	141

(fonte: baseado em SINAPI 92767, 92768, 92769, 92770, 92771, 92772. Agosto de 2018)

Observando a Tabela 14, percebe-se que a densidade de espaçadores proposta pelo SINAPI para orçamentação tende a diminuir para as maiores bitolas de aço, podendo trazer a ideia que houve uma avaliação técnica que relacionou o distanciamento dos espaçadores com a rigidez da malha de aço.

Porém, analisando o caderno técnico de composições para armação de estruturas de concreto armado (CT SINAPI, 2017), é visto que na indicação de execução não há esta preocupação. O caderno propõe, para todas os diâmetros de barras, dispor os espaçadores plásticos com afastamento máximo de 50 cm e amarrá-los à armadura de forma a garantir o cobrimento mínimo indicado em projeto. Estas indicações para orçamentação estão longe de ser uma prescrição técnica executiva precisa, mas conseguem mostrar a quantidade de espaçadores que os orçamentistas esperam ou contabilizam para a execução.

Para encontrar prescrições técnicas referente à distribuição dos espaçadores é preciso recorrer à normas internacionais, contudo há poucas que tratam do assunto. A norma espanhola EHE

(2008) indica que, para garantir o cobrimento mínimo especificado no projeto estrutural, deve se dispor os espaçadores na obra de acordo com o prescrito na Tabela 15.

Tabela 15 - Disposição de espaçadores segundo EHE-08

Elemento		Afastamento máximo
Elementos de superfície horizontal (placas, lajes, sapatas, etc.)	Armadura inferior	$50\phi \leq 100 \text{ cm}$
	Armadura superior	$50\phi \leq 50 \text{ cm}$
Paredes	Cada malha	$50\phi \leq 50 \text{ cm}$
	Separação entre as malhas	100 cm
Vigas <sup>1)</sup>		100 cm
Pilares <sup>1)</sup>		$100\phi \leq 200 \text{ cm}$

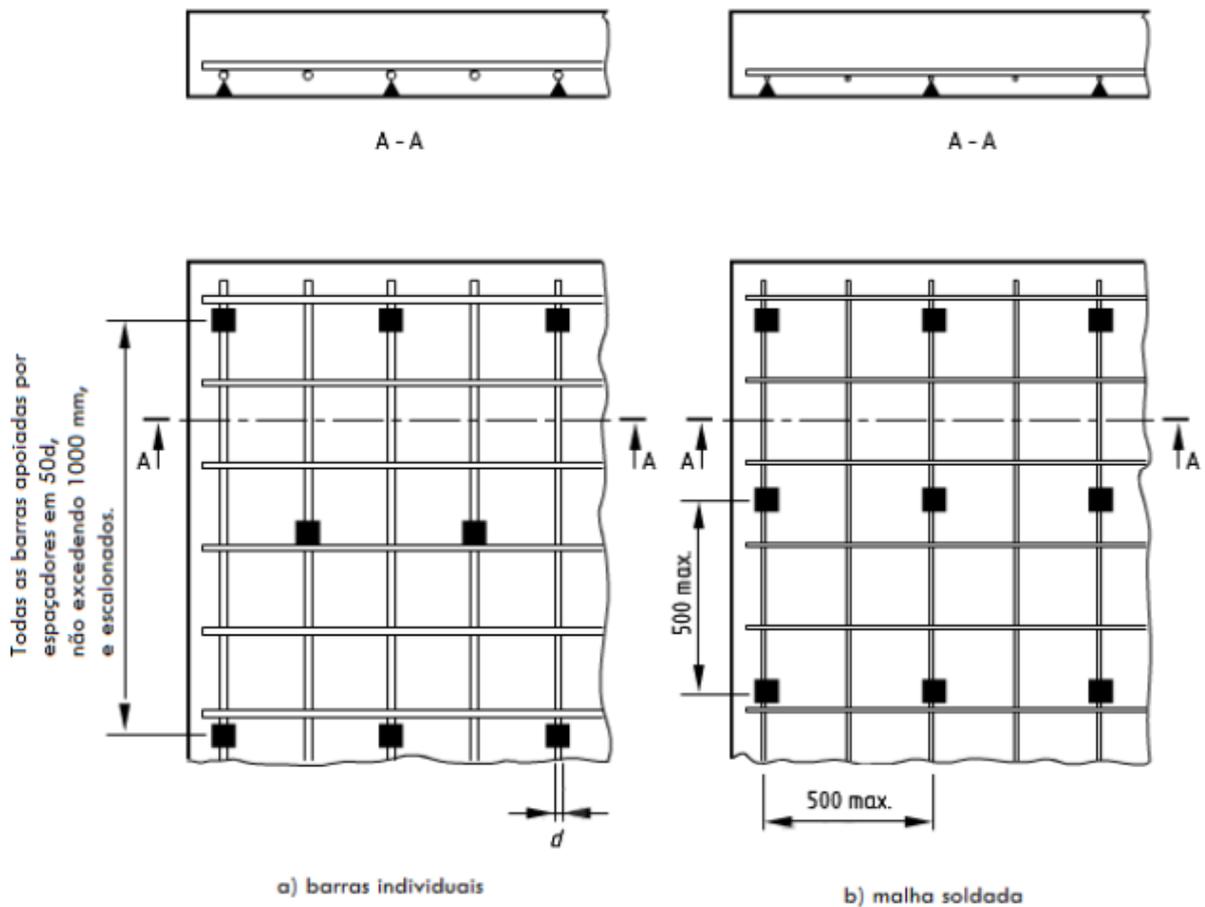
<sup>1)</sup> Ser disposto, pelo menos, três planos de espaçadores por vão, no caso das vigas, e pela seção, no caso dos pilares, acoplados aos estribos

$\phi$  Diâmetro da armadura que o espaçador será acoplado

(fonte: EHE, 2008, p.246. Tradução livre)

A norma britânica BS 7973-2 (2001), que é uma norma específica para espaçadores, possui prescrições de distribuição dos espaçadores para as armaduras inferiores de lajes diferenciadas para malhas compostas por barras individuais amarradas e para telas soldadas. Para as barras individuais amarradas, todas as barras devem possuir espaçadores, e eles devem ser no máximo afastados por  $50\phi$  ou 100 cm. Já para as telas soldadas é apenas fixado o afastamento máximo de 50 cm nas duas direções perpendiculares, sem diferenciar a bitola da barra. Uma representação destas configurações pode ser vista na Figura 4.

Figura 4 - Distribuição dos espaçadores cadeirinha, BS 7973-2



(fonte: BS 7973-2, 2001, p.4. Tradução livre.)

Analisando estas normas, percebe-se que as suas indicações de uso são semelhantes entre EHE 08 e BS 7973-2, com ambas prescrevendo que deve ser respeitado o afastamento máximo, entre os espaçadores, de 50 diâmetros da barra apoiada. Mas é incomum a utilização deste número de espaçadores em obras correntes, sendo o número de espaçadores bem menor. Além do custo dos espaçadores ser ínfimo, comparado com o custo da estrutura completa, analisando os espaçadores orçados pelo SINAPI para a execução das lajes, é possível observar que a prescrição técnica das normas estrangeiras é contemplada pelo orçamento, ou seja, estaria contabilizado a utilização deste número elevado de espaçadores. Portanto a utilização de um número inferior de espaçadores deve ser por uma opção técnica executiva, ou desconhecimento do problema de um cobrimento insuficiente.

Além disso, há indicações de que a utilização de uma quantidade excessiva de espaçadores não é uma solução técnica interessante, e inclusive pode ser prejudicial à durabilidade da estrutura. Alzyoud, Wong e Buenfeld (2016) mostram que a interface entre espaçador e concreto é uma zona frágil que intensifica a entrada de agentes agressivos. O pior caso é o dos espaçadores plásticos, mas o problema também ocorre com os espaçadores cimentícios.

No cenário brasileiro, Adamatti (2016) obteve resultados que fortalecem o citado anteriormente, verificando que tanto espaçadores de argamassa quanto de plástico contribuíram para a maior degradação na região dos espaçadores, com os espaçadores de plástico apresentando um desempenho inferior aos de argamassa. Além disso, a condição de exposição a ciclos de calor influencia claramente a interface entre espaçador e concreto.

Alzyoud, Wong e Buenfeld (2016) ainda afirmam que os espaçadores podem parecer pequenos e inofensivos, mas quando são dispostos a menos de um metro um do outro, ao longo de vergalhões, seu efeito facilitador de ingresso de agentes agressivos externos é significativo.

Sabe-se que é indiscutível o uso de espaçadores para a execução de estruturas, mas no que diz respeito à durabilidade das mesmas, o espaçador entra como um ponto conflitante. Do mesmo modo que se mostra necessária a utilização de uma grande quantidade de espaçadores para garantir o cobrimento mínimo especificado no projeto e assim assegurar que a estrutura seja durável, também ocorre que quanto maior o número de espaçadores presentes na estrutura, mais pontos sensíveis à corrosão ela terá, devido à facilitação do transporte de agentes agressivos em sua interface com o concreto.

Assim deve-se encontrar uma distribuição que garanta o cobrimento mínimo com a utilização da mínima quantidade possível de espaçadores, de modo a auxiliar que a estrutura atinja a vida útil de projeto.

#### 4.3 EXPERIMENTOS DE DISPOSIÇÃO DE ESPAÇADORES

Sabendo da problemática relacionada à falta de padrões de distribuição dos espaçadores, da falta de normatização brasileira no tema e da dificuldade apresentada em garantir o cobrimento mínimo nas estruturas de concreto armado, principalmente nas lajes, alguns trabalhos experimentais já foram realizados, onde foram testadas diferentes distribuições de espaçadores e tipos de amarração.

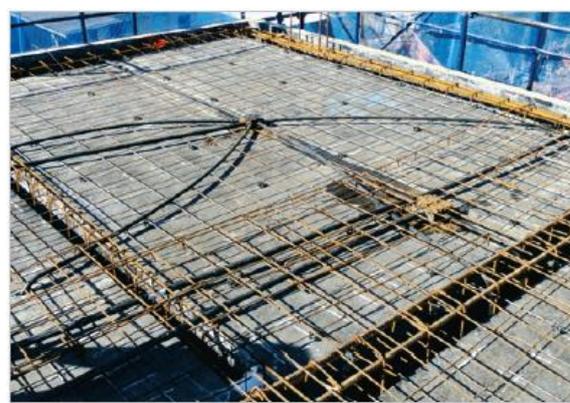
Maran *et al.* (2015) realizaram sua pesquisa em uma obra de um edifício residencial com múltiplos pavimentos, localizado na cidade de Porto Alegre/RS. As lajes monitoradas são maciças, de concreto armado, moldadas *in loco*, com dimensões em planta de 3,60 m por 2,60 m, espessura de 10 cm e cobrimento nominal de projeto de 20 mm. As armaduras são de aço CA 60, com 5 mm de diâmetro e montadas em malhas com abertura de 15 cm. Para sua montagem utilizaram-se espaçadores plásticos do tipo cadeirinha e arame recozido Nº 16 para amarração.

O trabalho teve uma amostragem de 8 lajes, 3 com amarrações nas barras a cada 15 cm, ou seja, em todos as interseções entre barras, e 3 com amarrações nas barras a cada 30 cm, em pontos intercalados. Para essas 6 lajes testaram-se distribuições de espaçadores afastados de 30 cm, 45 cm e 60 cm, uma em cada laje por tipo de amarração. As lajes com espaçadores dispostos a 30 cm e a 60 cm podem ser vistas na Figura 5. As outras 2 lajes restantes, de maneira proposital, não tiveram nenhum dos dois parâmetros (amarração e afastamento de espaçadores) controlados (MARAN *et al.*, 2015).

Figura 5 - Distribuição de espaçadores, Maran *et al.* (2015), onde os espaçadores estão alinhados em (a) a cada 30 cm e (b) a cada 60 cm



(a)



(b)

(fonte: MARAN *et al.*, 2015, p.637-638.)

Foram feitas medições da espessura de cobrimento após a concretagem, com a utilização de um pacômetro digital. As medições foram realizadas no fundo das lajes. Foram coletadas de forma aleatória 34 espessuras de cobrimento em cada laje, sendo descartadas as duas maiores e as

duas menores. No total foram feitas 240 medições, sendo 180 obtidas com parâmetros controlados de distribuição de espaçadores e amarração da malha (MARAN *et al.*, 2015).

Os resultados mostraram que a distância entre os espaçadores e a distância entre os pontos de amarração influenciam no cobrimento final do elemento estrutural, porém não existe interação entre eles, ambos trabalham independentemente. A distância de 15 cm entre os pontos de amarração demonstrou melhor desempenho quando comparada com a distância de 30 cm, pois com todos os pontos amarrados a malha se torna mais rígida. Também ficou evidente que o cobrimento é inversamente proporcional ao afastamento entre os espaçadores. O melhor desempenho se obteve com o afastamento de 30 cm, seguido pelo afastamento de 45 cm, com o pior desempenho no afastamento de 60 cm entre os espaçadores (MARAN *et al.*, 2015).

Para verificar a eficiência das combinações na garantia do cobrimento mínimo normatizado, uma análise estatística foi realizada (Tabela 16). Levando em conta a tolerância de execução de 10 mm indicada pela norma brasileira NBR 6118, calculou-se a probabilidade de ocorrência de valores fora do intervalo tolerável, ou seja, inferiores a 15 mm ou superiores a 35 mm (MARAN *et al.*, 2015).

Tabela 16 - Análise estatística MARAN *et al.*, referente ao posicionamento dos espaçadores.

Dist. Amarração	15 cm			30 cm			Lajes não controladas	
	30 cm	45 cm	60 cm	30cm	45cm	60 cm		
Média	23,20	20,23	17,03	20,67	17,77	16,37	13,75	13,75
Desvio padrão	4,29	1,52	2,54	1,95	1,68	2,61	3,27	3,27
% 1 < 15 mm	2,8%	0,0%	21,2%	0,2%	4,9%	30,0%	64,9%	64,9%
% 1 > 35 mm	0,3%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

<sup>1</sup> Probabilidade de ocorrência dos valores

(fonte: MARAN *et al.*, 2015, p.642)

A Tabela 16 mostra que para as combinações apresentadas, inclusive as lajes não controladas, não ocorrem problemas com cobrimentos maiores que o valor nominal acrescidos de uma tolerância de 10 mm. Porém as combinações com espaçadores distanciados de 60 cm se

mostraram insatisfatórias na garantia do cobrimento mínimo normatizado, mas ainda apresentaram um resultado melhor comparado às lajes não controladas (MARAN *et al.*, 2015).

Com a finalidade de melhor comparar os resultados com outros trabalhos, com os dados brutos das leituras de cobrimento disponibilizadas por Maran *et al.* (2015), montou-se a Tabela 17, com a quantidade de cobrimento medidos que estão respeitando os limites de tolerância de 5 mm ou 10 mm indicados pela NBR 6118 (ABNT, 2014). Pode-se ver na Tabela 17, que a tolerância de execução de 5 mm é muito difícil de ser atendida mesmo em uma situação muito controlada, já que a norma exige que todos os cobrimentos sejam maiores que o mínimo.

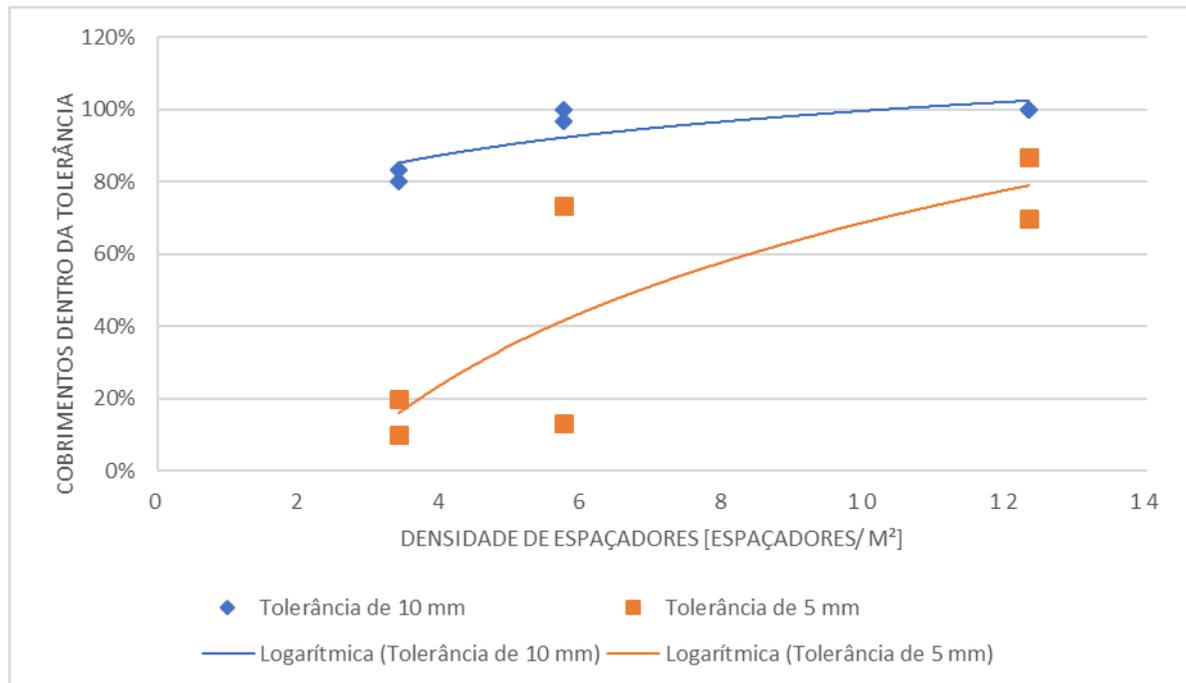
Tabela 17 - Comparação dos cobrimentos com a norma brasileira, resultados Maran *et al.*

Ø	Amarração	Disposição dos espaçadores	Densidade de espaçadores [Espaçadores / m <sup>2</sup> ]	Pontos lidos	Espessura de cobrimento em mm			
					Dentro da tolerância de 5 mm [%]	Dentro da tolerância de 10 mm [%]	Fora do limite permitido pela NBR 6118 [%]	Atende à NBR 6118 [%]
5 mm	Sem critério		Não informado	60	0	45	55	NÃO
	15 cm	30 cm	12,32	30	87	100	0	SIM
		45 cm	5,75	30	73	100	0	SIM
		60 cm	3,41	30	20	80	20	NÃO
	30 cm	30 cm	12,32	30	70	100	0	SIM
		45 cm	5,75	30	13	97	3	NÃO
		60 cm	3,41	30	10	83	16	NÃO

(fonte: do autor, baseado nos dados de MARAN *et al.*, 2015, p. 639.)

Os resultados de Maran *et al.* (2015) podem ser visualizados graficamente na Figura 6. Os mesmos apresentam a tendência dos cobrimentos estarem dentro de cada uma das tolerâncias previstas na NBR 6118. A tolerância de 10 mm é garantida para densidades de espaçadores maiores do que 9 espaçadores por metro quadrado, porém mesmo com essa alta quantidade de espaçadores, a tolerância de 5 mm não é atendida.

Figura 6 - Resultados de Maran *et al* do percentual de cobertura dentro do especificado pela norma em função da densidade de espaçadores. Armadura de bitola 5 mm.



(fonte: elaborado pelo autor com base nos resultados de MARAN *et al.*, 2015)

Palm (2017) realizou sua pesquisa em uma obra de um empreendimento residencial com 3 torres de múltiplos pavimentos localizada na cidade de Porto Alegre/RS. As lajes monitoradas são maciças, de concreto armado, moldadas *in loco*, de diversas dimensões, e com cobertura nominal adotado de 20 mm. As armaduras analisadas eram formadas de aço CA 60 de diâmetro 5 mm, e aço CA 50 de diâmetro 6.3 mm, com aberturas de malha de 10 cm. Para sua montagem utilizou-se arame recozido N°16 para amarração e espaçadores do tipo multiapoio.

O trabalho baseou-se na amostragem de 18 lajes, 12 sendo com malha de diâmetro 6.3 mm, e 6 com malha de 5 mm. De forma proposital, não foram controlados a distância entre os pontos de amarração e o afastamento entre os espaçadores em 6 lajes, 4 com armaduras de bitola 6.3 mm e 2 de bitola 5 mm. Das 12 lajes restantes, 8 com armaduras de bitola 6.3 mm e 4 com bitola 5 mm, fixou-se a utilização de 4 diferentes distribuições de espaçadores, afastados de 20 cm, 40 cm, 60 cm e 80 cm, tornando-se possível a realização de um teste de cada uma das configurações nas lajes com armadura de 5 mm, e dois testes de cada configuração nas lajes com armadura de 6.3 mm. Para todas as 12 lajes utilizou-se a distância entre os pontos de amarração fixa em 40 cm (PALM, 2017). A utilização de espaçadores multiapoio com comprimento de 24 cm permite que em uma direção um único espaçador sirva como apoio para

mais de uma barra, como pode ser visto na Figura 7, onde cada espaçador serviu de apoio para 3 barras.

Figura 7 - Espaçadores multiapoio a cada 20 cm



(fonte: PALM, 2017, p.49.)

Foram feitas medições de espessura de cobrimento antes das concretagens com um paquímetro digital, e após a concretagem com um pacômetro. Em cada laje foram escolhidas entre 6 e 10 localidades para se fazer uma varredura, e reconhecer o comportamento da armadura dentro da região. Foram anotadas as espessuras de cobrimentos julgadas importantes, no caso as mais críticas ou que representassem o comportamento que foi observado em cada local, totalizando uma amostragem de 20 espessuras de cobrimento por laje, ou seja, uma amostragem de 360 espessuras de cobrimento, na qual 240 dessas amostras foram obtidas com parâmetros controlados de distribuição de espaçadores e amarração da malha (PALM, 2017).

Os resultados obtidos mostram uma tendência das leituras feitas após a concretagem serem maiores que feitas antes da concretagem, embora em alguns pontos tenha ocorrido o contrário (PALM, 2017). Comparando as espessuras de cobrimento obtidas após a concretagem com o cobrimento mínimo permitido pela norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014), , pode-se ver na Tabela 18 que a tolerância de 5 mm é mais dificilmente garantida, comparado com a de 10 mm, e que mesmo o cobrimento mínimo considerando a tolerância de 10 mm não é garantido para 100% das espessuras lidas.

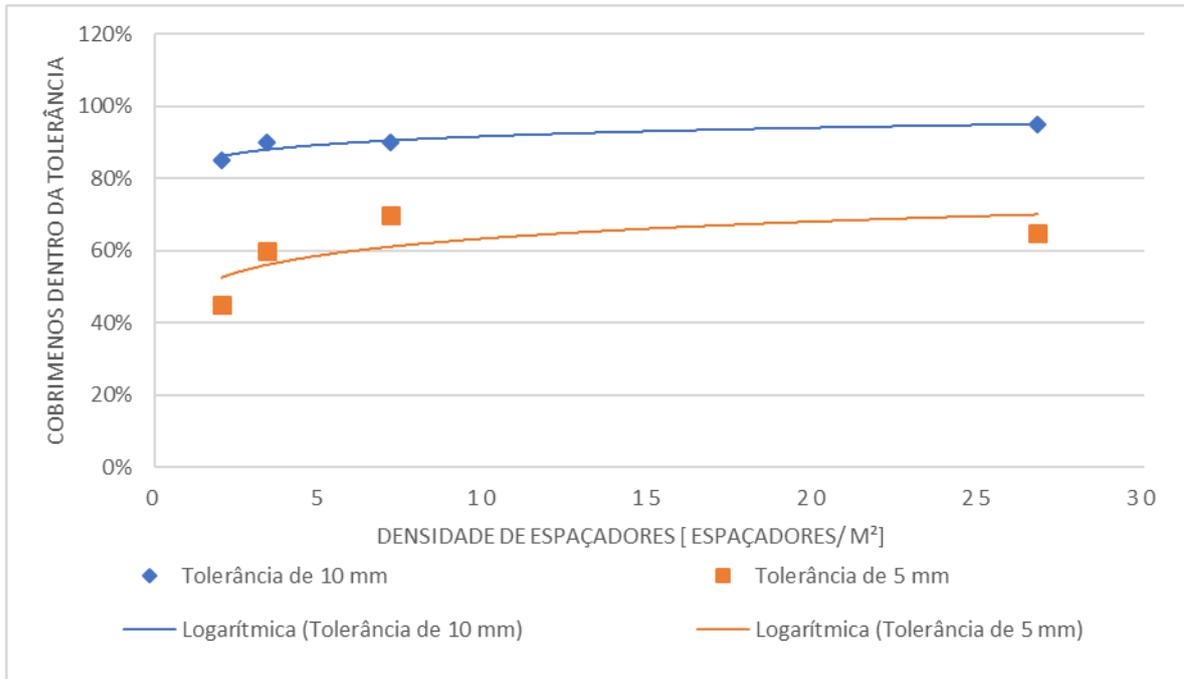
Tabela 18 – Comparação dos resultados obtidos por Palm (2017) com as especificações da norma brasileira.

Ø	Disposição dos espaçadores	Densidade de espaçadores [Espaçadores/m <sup>2</sup> ]	Pontos lidos	Espessura de cobrimento em mm			
				Dentro da tolerância de 5 mm [%]	Dentro da tolerância de 10 mm [%]	Fora do limite permitido pela NBR 6118 [%]	Atende à NBR 6118 [%]
5 mm	A cada 20 cm	26,74	20	65	95%	5%	NÃO
	A cada 40 cm	7,17	20	70	90%	10%	NÃO
	A cada 60 cm	3,41	20	60	90%	10%	NÃO
	A cada 80 cm	2,05	20	45	85%	15%	NÃO
	Sem critério	Não informado	40	43	63%	38%	NÃO
6.3 mm	A cada 20 cm	26,74	40	75	95%	5%	NÃO
	A cada 40 cm	7,17	40	78	95%	5%	NÃO
	A cada 60 cm	3,41	40	53%	85%	15%	NÃO
	A cada 80 cm	2,05	40	63%	88%	12%	NÃO
	Sem critério	Não informado	80	40%	75%	25%	NÃO

(fonte: adaptado de PALM, 2017, p.56.)

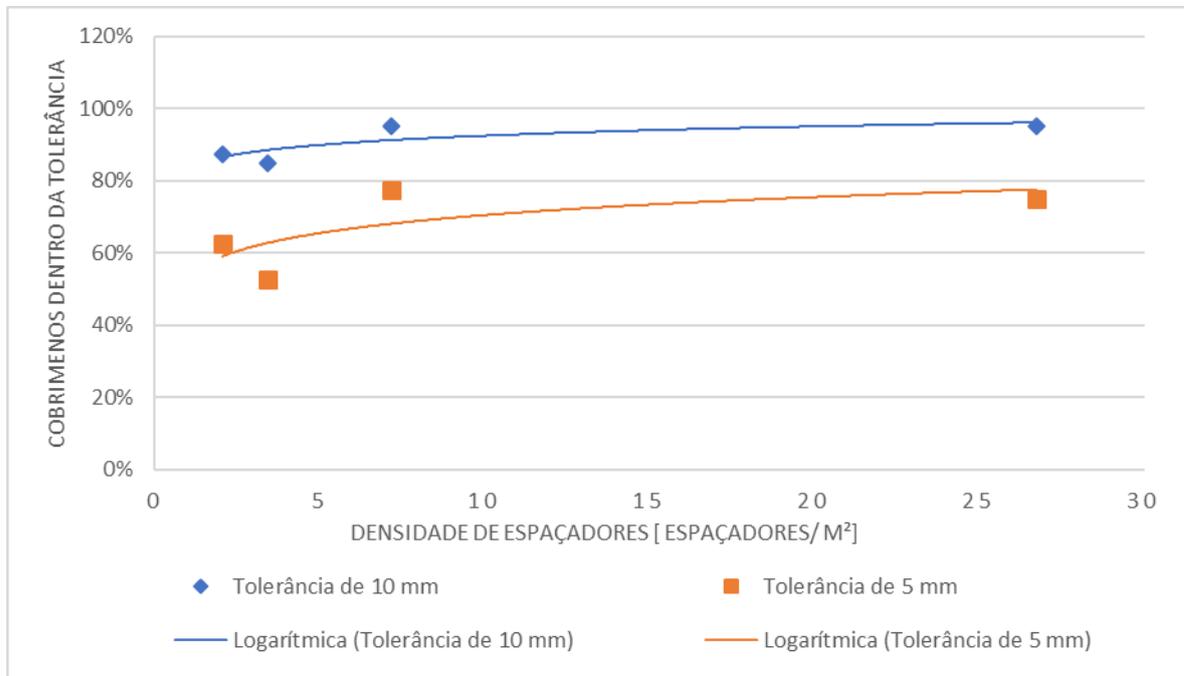
Os dados obtidos por Palm (2017) podem ser visualizados graficamente na Figura 8 e na Figura 9, apresentando a tendência dos cobrimentos estarem dentro de cada uma das tolerâncias previstas na NBR 6118 (ABNT, 2014). Fica visível que para os dois diâmetros de armadura é muito difícil atender à tolerância de 10 mm, e praticamente não é possível atender à tolerância de 5 mm.

Figura 8 – Resultados Palm, armadura de 5 mm.



(fonte: elaborado pelo autor com base nos resultados de PALM, 2017.)

Figura 9 – Resultados de Palm, armaduras de 6.3 mm

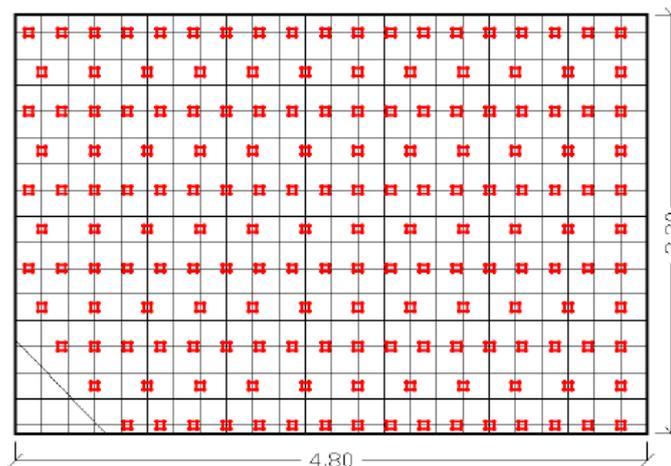


(fonte: elaborado pelo autor com base nos resultados de PALM, 2017.)

Ghiggi (2018) realizou seu trabalho em uma obra de um empreendimento misto, residencial e comercial, de múltiplos pavimentos localizada na cidade de Guaporé/RS. As lajes monitoradas são maciças, de concreto armado, moldadas *in loco*, com dimensões em plantas de (4,8 x 3,2); (3,25 x 1,60) e (1,50 x 1,10), e cobertura nominal de 20 mm. As armaduras das lajes eram compostas por barras de aço CA 60 de diâmetro 5 mm, formando malhas de abertura de 20 cm, amarradas com arame recozido N° 16. Para posicionar a armadura, utilizaram-se espaçadores plásticos do tipo cadeirinha.

No trabalho foram estudadas 9 lajes, 3 em cada pavimento. Nas 3 primeiras lajes do primeiro pavimento, propositalmente não foram feitas intervenções na distribuição dos espaçadores e distância entre os pontos de amarração, deixados a cargo da obra. Nas 3 lajes do segundo pavimento foram distribuídos os espaçadores afastados de 25 cm e em ziguezague, como mostra a Figura 10. A amarração foi feita em todas as interseções das barras que formam os 4 bordos de cada laje e no restante com distanciamento de 25 cm. As 3 lajes restantes do terceiro pavimento tiveram espaçadores distribuídos a cada 20 cm, ou seja, em todas as interseções entre barras. Alguns espaçadores necessitaram ser amarrados para evitar o seu tombamento, para isso, foram utilizadas abraçadeiras plásticas, conforme Figura 11 (GHIGGI, 2018). A distância adotada entre os pontos de amarração não ficou clara no texto.

Figura 10 - Distribuição de espaçadores a cada 25 cm, Ghiggi 2018



(fonte: GHIGGI, 2018, p.47.)

Foram realizadas medições antes das concretagens com um paquímetro digital e após as concretagens com um pacômetro. A coleta das espessuras de cobertura antes da concretagem

foi feita com a escolha de pontos aleatórios para realizar a medição, e cada um desses pontos foi marcado em planta para que as leituras após a concretagem fossem feitas exatamente nos mesmos locais. Foram realizadas leituras em uma amostra de 77 pontos no primeiro pavimento, 77 no segundo e 77 no terceiro, totalizando 231 espessuras de cobrimento, das quais 154 com distribuição de espaçadores e amarração controladas (GHIGGI,2018).

Os resultados de Ghiggi (2018) mostraram que há uma melhora na obtenção das espessuras de cobrimento quando se controla a distribuição dos espaçadores e a distância entre os pontos de amarração da malha de aço, tanto em espessuras de cobrimento média obtida, quando em coeficiente de variação.

Os resultados apresentados por Ghiggi (2018) comparavam o cobrimento medido diretamente com o cobrimento nominal, sem levar em conta as tolerâncias de execução propostas pela NBR 6118 (ABNT, 2014), de 10 mm e 5 mm. Para melhor comparar os resultados com os dos trabalhos anteriormente analisados, com a utilização das tabelas de campo disponibilizadas por Ghiggi (2018) nos apêndices de seu trabalho, a Tabela 19 foi elaborada.

Figura 11 - Espaçadores a cada 20 cm, Ghiggi 2018.



(fonte: GHIGGI, 2018, p.49.)

Analisando a Tabela 19, percebe-se que segue a tendência dos trabalhos anteriores, mostrando a problemática de não se usar nenhum critério de distribuição dos espaçadores, o que gera aproximadamente 64% das espessuras de cobrimento medidas fora do limite permitido pela norma brasileira. Mostra também que mesmo com a utilização de distribuições controladas é muito difícil conseguir o total de espessuras dentro do limite de tolerância de 5 mm. Para o limite de tolerância for 10 mm conseguem-se melhores resultados, embora o critério de

aceitação de a totalidade de valores de cobrimento serem superiores ao cobrimento mínimo não ser igualmente atingido.

Tabela 19 - Espessuras de cobrimento Ghiggi 2018

Ø	Disposição dos espaçadores	Densidade de espaçadores [Espaçadores/m <sup>2</sup> ]	Pontos lidos	Espessura de cobrimento em mm			
				Dentro da tolerância de 5 mm [%]	Dentro da tolerância de 10 mm [%]	Fora do limite permitido pela NBR 6118 [%]	Atende a NBR 6118 [%]
5 mm	Sem critério	2,79	77	5%	36%	64%	NÃO
	A cada 25 cm	17,4	77	56%	92%	8%	NÃO
	A cada 20 cm	26,74	77	74%	97%	3%	NÃO

(elaborado pelo autor, com base nos dados fornecidos por GHIGGI, 2018, nas apências C, E e G.)

Os resultados dos três trabalhos evidenciam a dificuldade de se obter cobrimentos dentro da tolerância de 5 mm. O uso de altas densidades de espaçadores proporcionam uma maior proporção de cobrimentos dentro da tolerância de 10mm, embora nem mesmo as altas densidades testadas consigam cumprir integralmente o critério de aceitação da NBR 6118 (ABNT, 2014) de não existir nenhum cobrimento menor que o cobrimento mínimo.

## 5 TRABALHO EXPERIMENTAL

Neste capítulo será descrito detalhadamente o desenvolvimento do trabalho experimental, desde a escolha da obra em estudo, do desenvolvimento da metodologia de coleta de dados, até a descrição das configurações de espaçadores escolhidas.

### 5.1 OBRA EM ESTUDO

Neste trabalho, assim como em trabalhos semelhantes precedentes a este, os casos de Maran *et al.* (2015), Palm (2017) e Ghiggi (2018), decidiu-se por realizar os experimentos em obra. Trabalhos experimentais realizados diretamente em obras podem ter como pontos negativos: a maior dificuldade em se conseguir a padronização dos experimentos, um maior número de situações não controladas e em alguns casos a impossibilidade de repetição dos experimentos.

Porém, existem pontos positivos importantes que incentivam a realização deste tipo de trabalho em obra: estar exposto a todas as situações reais de obra, muitas vezes de difícil simulação, como as cargas sobre as armaduras decorrentes do trânsito dos operários e de materiais pesados, o arrastar do mangote, a estocagem momentânea de materiais e componentes; trabalhar com lajes de dimensões reais, e analisar os impactos que as mudanças propostas causam aos operários, aos procedimentos e à rotina de execução da obra.

Então, para a realização deste trabalho foi necessária a colaboração de uma empresa parceira, que disponibilizou seu canteiro para servir de campo experimental para esta pesquisa. As principais exigências para a escolha da obra foram:

- a) possuir estrutura de concreto armado;
- b) possuir lajes maciças moldadas *in loco*;
- c) ter armaduras positivas de lajes compostas por barras de aço amarradas;
- d) possuir múltiplos pavimentos, com repetição de pavimentos tipo;

- e) utilizar de espaçadores plásticos para as armaduras positivas das lajes.

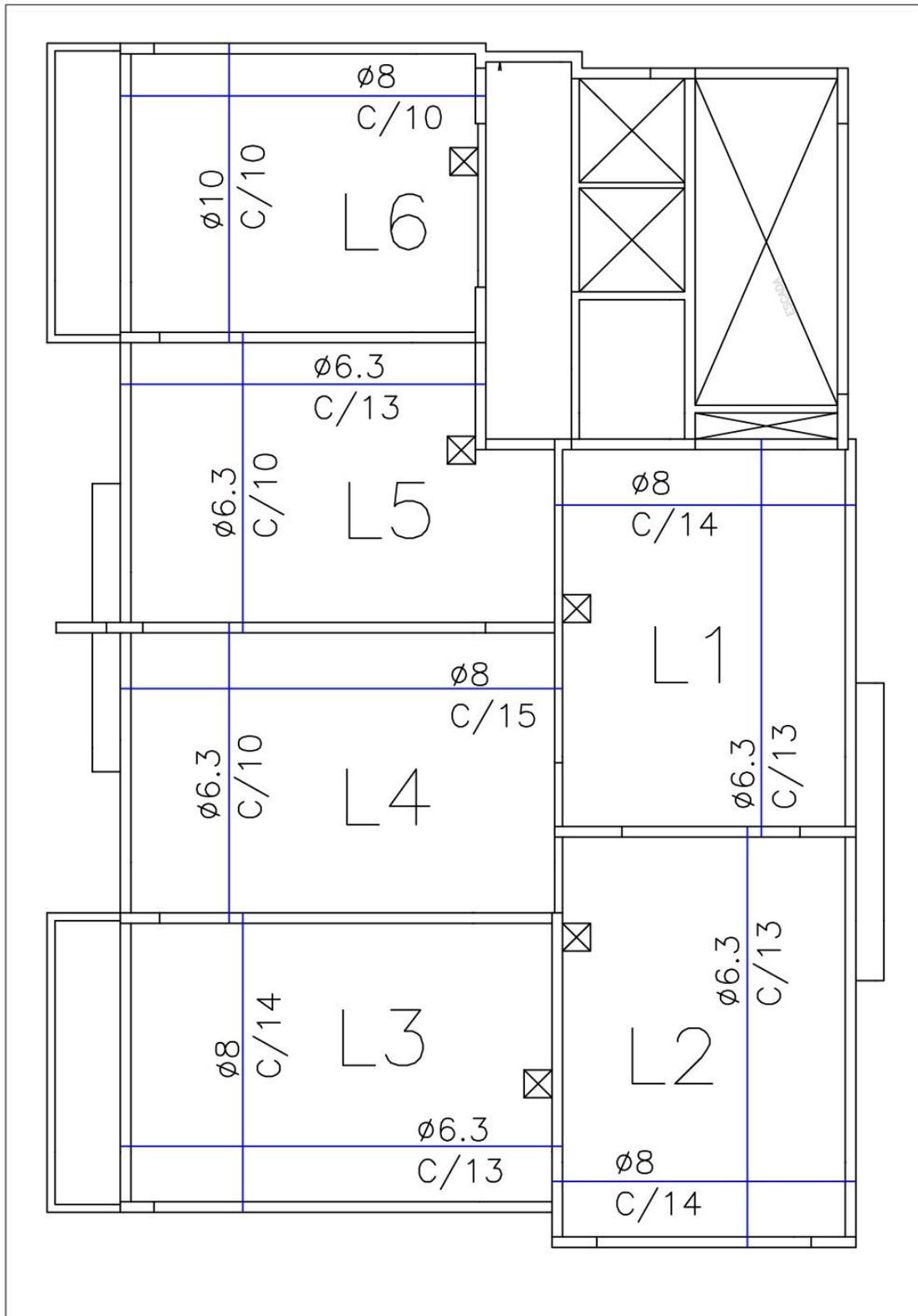
A obra escolhida, com essas características, é de um empreendimento residencial de 13 pavimentos, localizada na cidade de Porto Alegre/RS. Este trabalho se restringiu aos andares que possuíam repetição do pavimento tipo, do 7º ao 13º, exceto o 8º andar, totalizando seis pavimentos estudados com seis lajes em cada um, possibilitando uma extensa amostragem.

## 5.2 ANÁLISE DO PROJETO

Analisando o projeto estrutural e detalhamento das lajes do empreendimento, foi possível identificar as principais características geométricas das lajes disponíveis, bem como a especificação de armaduras para cada uma delas, a fim de encontrar similaridades ou diferenças entre elas.

Essa análise é muito importante, pois as características das lajes disponíveis servem como base para muitas tomadas de decisão, como por exemplo, o número de configurações diferentes que poderão ser testadas e o número de repetições que poderão ser feitas. Definindo previamente como será composta a amostra, e norteando a pesquisa como um todo. A representação esquemática do pavimento tipo em estudo é apresentado na Figura 12, elaborado com base na planta de fôrmas e armaduras do pavimento tipo da obra.

Figura 12 - Planta pavimento tipo



(fonte: elaborado pelo autor.)

As lajes possuem dimensões variadas com as armaduras positivas formadas por barras de diâmetro 6,3 mm; 8,0 mm; e 10 mm, que formam malhas de aberturas de 10 cm; 13 cm; 14 cm e 15 cm, em cada uma das direções, e são amarradas por arame recozido N°16. A Tabela 20 apresenta detalhadamente a configuração de cada uma das lajes.

Tabela 20 - Descrição das lajes

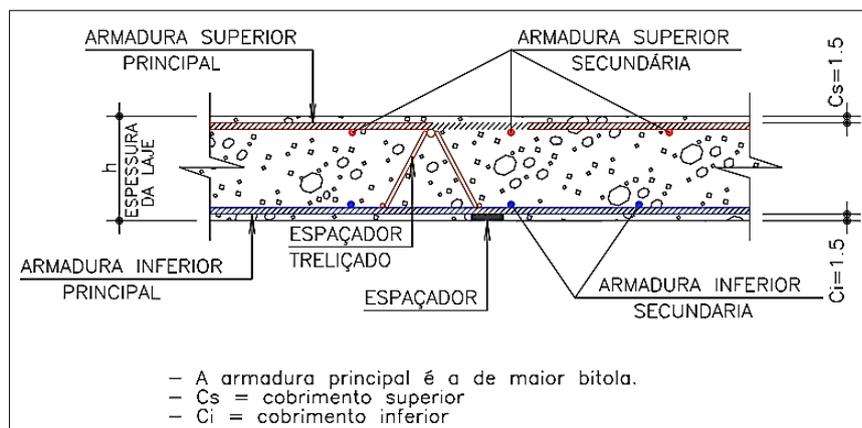
Lajes	Geometria das lajes		Armaduras das lajes			
	Maior dim. [cm]	Menor dim. [cm]	Maior dim.		Menor Dim.	
			Ø [mm]	Espaçamento. [cm]	Ø [mm]	Espaçamento. [cm]
L1	679	505	6.3	13	8.0	14
L2	720	505	6.3	13	8.0	14
L3	752	501,5	6.3	13	8.0	14
L4	752	504	8.0	15	6.3	10
L5	615 <sup>a)</sup>	504	6.3	13	6.3	10
L6	615	501,5	8.0	10	10.0	10

<sup>a)</sup> Considerou-se apenas o menor comprimento, retirando a zona do recorte, para facilitar a comparação com as demais.

(fonte: elaborado pelo autor)

Além disso, o detalhe construtivo das lajes especificou que a armadura positiva principal (a de maior bitola) deve ser posicionada abaixo da armadura secundária (a de menor bitola), e que o espaçador deve ser posicionado de forma que sustente a armadura principal, sem especificar o tipo e material do espaçador. Para as armaduras negativas, observa-se que foi especificado o espaçador do tipo treliçado, e que ele é posicionado sobre a armadura positiva para que apoie a armadura negativa sem que fique em contato direto com a forma. Também especifica o cobrimento nominal com valor de 15 mm. Uma representação esquemática do detalhamento pode ser vista na Figura 13.

Figura 13 – Detalhe construtivo das lajes, dimensões em [cm].



(fonte: adaptado do projeto estrutural da obra)

No selo da prancha ainda consta a informação de que a vida útil de projeto é de 50 anos, o  $f_{ck}$  do concreto com valor de 40 MPa, que a relação água/cimento deve ser no máximo 0,60 e que o módulo de elasticidade do concreto deve ser no mínimo 36GPa.

Pode-se reconstruir a especificação do cobrimento de armadura, com a finalidade de analisar as decisões tomadas pelo projetista até especificar o cobrimento nominal de 15 mm. Utilizando a NBR 6118 (ABNT, 2014) os projetistas comumente adotam para as lajes que estão localizadas na cidade de Porto Alegre/RS a agressividade ambiental moderada e risco pequeno de deterioração, ou seja classe II, de acordo com a Tabela 1. Para a tal classe de agressividade ambiental, a Tabela 4 indica que o cobrimento nominal deve ser 25 mm, caso se considere o valor recomendado de 10 mm de tolerância de execução.

Tratando das reduções feitas pelo projetista, como o concreto especificado possui  $f_{ck}$  igual a 40 MPa bem acima do mínimo de 25 MPa exigido pela norma brasileira para essa classe de agressividade, podendo reduzir o cobrimento em 5 mm. Para a outra redução há duas possibilidades. A primeira possibilidade vem da Tabela 1, onde o item a) indica que se pode considerar uma classe de agressividade ambiental mais branda, caso o elemento seja interno, em ambiente seco, e apresente revestimento de argamassa e pintura, que é o caso das lajes estudadas, resultando em um cobrimento nominal de 15 mm. A segunda possibilidade vem de o projetista considerar que seria adotado um controle rigoroso de qualidade, permitindo a redução da tolerância de execução para 5 mm, resultando igualmente num cobrimento nominal de 15 mm. Cabe salientar que a NBR 6118 (ABNT, 2014) só permite essa redução caso se

explícite no projeto que foi considerado um controle de qualidade rigoroso, e tal informação não está presente em nenhuma das pranchas do projeto estrutural.

Entretanto, a obra não respeitou a especificação de cobrimento nominal indicada no projeto estrutural, utilizando espaçadores plásticos do tipo multiapoio com altura de 25 mm e não 15 mm, como pode ser visto na Figura 14. A utilização de espaçadores que proporcionam uma espessura de cobrimento diferente do especificado em projeto é um problema que ocorre com uma frequência considerável. Segundo Palm (2017), isto ocorre devido a uma falta de rigor no controle dos materiais da obra, pois existem várias espessuras diferentes para o mesmo modelo de espaçador, que facilitam a ocorrência desse tipo de confusão.

Figura 14 - Espaçador plástico multiapoio de 25 mm.



(fonte: foto do autor)

Além disso, é costumeiro ouvir relatos de profissionais da área, inclusive de engenheiros, discutindo sobre a problemática de se utilizar cobrimentos diferentes para elementos distintos, como por exemplo, vigas e lajes, que segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) que apresentam cobrimentos diferentes, conforme visto na Tabela 4. Tal fato ocasiona a existência de mais de um tipo de espaçador na mesma etapa de armação e concretagem, facilitando a confusão, ou até

mesmo fazendo com que se adote o mesmo espaçador, geralmente o de maior cobrimento, para todos os elementos.

Executar uma estrutura com cobrimento maior do que o especificado no projeto estrutural pode parecer uma solução interessante, no que se diz respeito à durabilidade e previsão de vida útil da estrutura. Porém é uma atitude temerária em relação à segurança estrutural, já que as taxas de armadura foram calculadas com o cobrimento nominal do projeto estrutural. Aumentar o cobrimento no momento da execução significa impor que o elemento trabalhe com uma altura útil menor do que a projetada, o que vai contra a segurança e pode ocasionar problemas, principalmente em elementos estruturais com altura pequena, como lajes.

Como este trabalho tem a finalidade de verificar a obtenção do cobrimento mínimo com a utilização de diferentes configurações de espaçadores, todas as análises serão feitas considerando o cobrimento nominal como o tamanho do espaçador realmente utilizado na obra, ou seja, 25 mm, e as variações que ocorrem em torno deste valor.

### 5.3 METODOLOGIA DE COLETA

Neste trabalho, assim como Palm (2017) e Ghiggi (2018), realizou-se coletas de cobrimento antes e depois das concretagens. Para as coletas anteriores à concretagem, utilizou-se um paquímetro digital da marca *Digimess* e para as coletas após a concretagem utilizou-se de um pacômetro digital da marca *Proceq*. Os equipamentos utilizados nas medições estão na Figura 15.

Figura 15 – Equipamentos de medição de cobrimento, (a) paquímetro digital *Digimess* e (b) pacômetro *Proceq*.



(a)



(b)

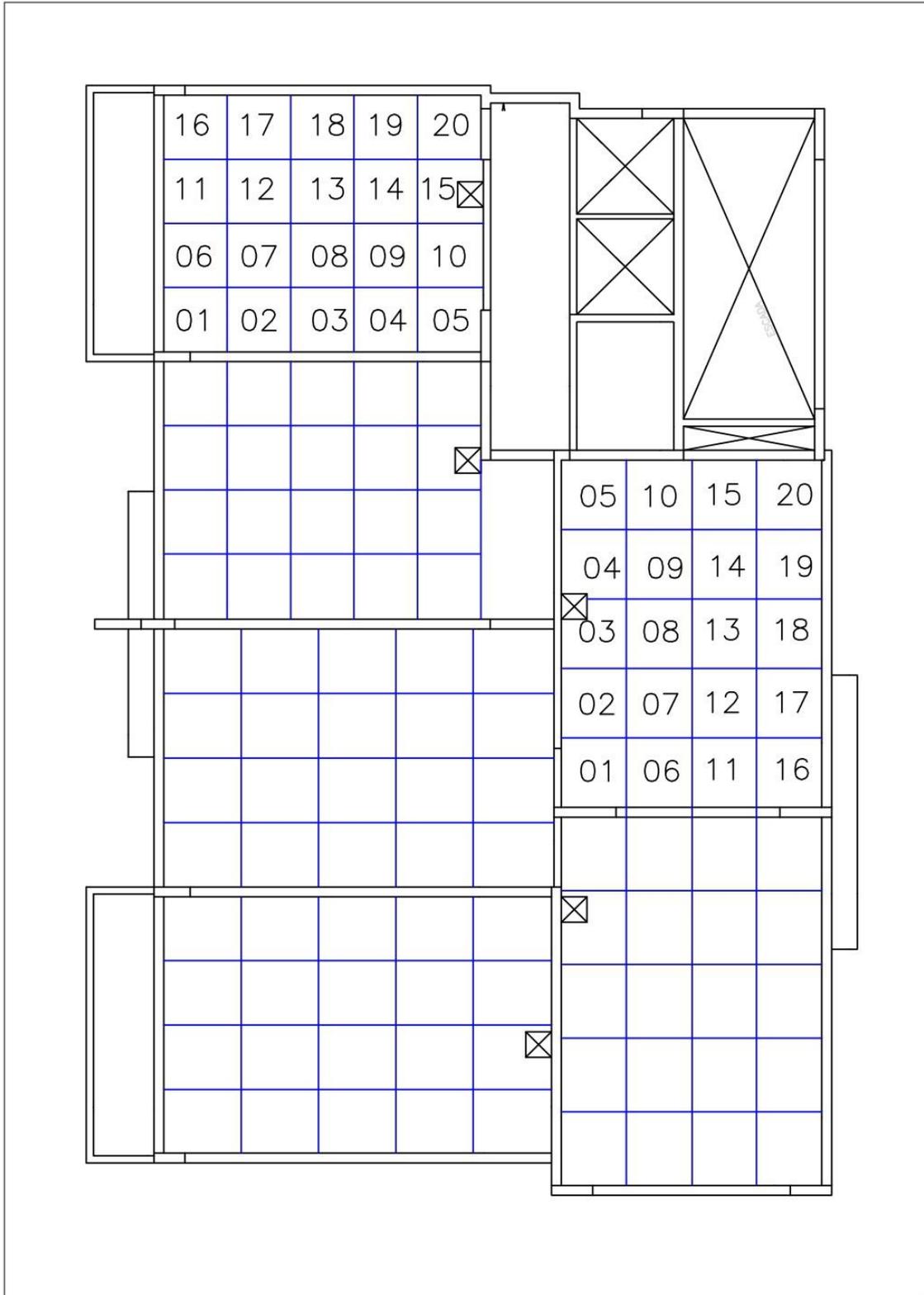
(fonte: fotos do autor)

Antes da coleta dos dados foi feita uma análise dos trabalhos anteriores, com a finalidade de montar uma metodologia de coleta que permitisse o melhor aproveitamento das medições na geração de uma amostragem consistente.

Primeiramente, definiu-se que a amostragem deveria caracterizar os cobrimentos mínimos presentes em todas as regiões de cada laje. É interessante que se tenha uma amostra dos menores cobrimentos encontrados em cada região da laje, uma vez que com os valores de cobrimento mínimos permitidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014) definem na prática um critério de aceitação, a fim de testar a eficiência das distribuições de espaçadores na garantia do mesmo.

Para isso, dividiu-se cada laje estudada em 20 quadrantes de mesma área, e dentro de cada quadrante fez-se uma varredura em busca do menor cobrimento existente dentro do mesmo. Anotando o menor cobrimento de cada quadrante, foi formada a amostragem de 20 espessuras de cobrimento por laje estudada, com 6 lajes em cada pavimento, onde o trabalho abrangeu a coleta de espessuras em 7 pavimentos, totalizando uma amostra de 840 espessuras de cobrimento. Um esquema dos quadrantes utilizados para a amostragem está na Figura 16. Os quadrantes foram marcados *in loco* nas bordas das lajes com giz.

Figura 16 – Quadrantes de medição.



(fonte: elaborado pelo autor)

As medições antes da concretagem foram realizadas no dia anterior à mesma, após o término do serviço de armação e dos demais outros serviços que geram trânsito de pessoas sobre as lajes. Na varredura, é feita uma avaliação visual das armaduras mais deformadas em cada um dos quadrantes, e tomadas diversas leituras de cobrimento a fim de buscar o menor cobrimento do quadrante. Para a coleta desses cobrimentos foi importante a utilização de um pequeno palanque, para que não se ficasse sobre as armaduras no momento da medição do cobrimento, evitando deformações que poderiam influenciar os resultados. A Figura 17 exemplifica as coletas de cobrimentos feitas antes das concretagens.

Figura 17 – (a) Leitura do cobrimento antes das concretagens e (b) Palanque utilizado nas medições.



(a)

(b)

(fonte: foto do autor)

As medições de cobrimento feitas após a concretagem aconteceram quando a maioria do escoramento já tinha sido retirada, de modo a facilitar o deslocamento pelo pavimento. A utilização de uma escada foi necessária para alcançar o fundo das lajes. As varreduras foram feitas diretamente com o pacômetro, primeiramente percorria-se com o aparelho na direção perpendicular às barras de baixo, de modo a achar qual a barra com menor cobrimento, para então segui-la longitudinalmente até encontrar o cobrimento mínimo no comprimento de varredura. A Figura 18 ilustra as coletas de cobrimento feitas após as concretagens.

Figura 18 - Coleta de cobrimentos após as concretagens.



(fonte: foto do autor)

O cobrimento medido após a concretagem é o resultado que pragmaticamente deve ser considerado como o cobrimento realmente obtido, pois as medições realizadas antes da concretagem se alteram durante o processo de concretagem, onde há uma grande quantidade de cargas, tanto de pessoas como do próprio lançamento do concreto. Consequência das cargas aplicadas ao longo do procedimento construtivo e dos deslocamentos das armaduras em função do tráfego de operários e equipamentos sobre as mesmas.

O pacômetro é um instrumento de medição indireta, que induz pulsos que geram um campo magnético o qual é perturbado pela presença de massas metálicas, forma pela qual o aparelho consegue medir a uma espessura de cobrimento. O pacômetro utilizado fornece uma espessura de cobrimento com uma precisão de 3 mm, e se ajustado para o diâmetro real da armadura, sua precisão é maior (BARNES e ZHENG, 2008). Por isso é importante que se realizem medições de cobrimento antes da concretagem, pois se tratam de medições diretas, e servem de comparação e verificação das medições indiretas, além de possibilitar a análise das modificações nas posições da armadura decorrentes da concretagem. Como a precisão do pacômetro permite que as medições tenham um possível erro de 3 mm para mais ou para menos, em todas as análises considerou-se o valor médio desse erro, ou seja, o próprio valor lido.

## 5.4 DISTRIBUIÇÃO DOS ESPAÇADORES

Na definição das distribuições a serem testadas, levaram-se em conta as características do projeto, principalmente as bitolas das armaduras e abertura das malhas, de forma a compatibilizar com as especificações normativas descritas em 4.2, e com os resultados já obtidos nos trabalhos experimentais anteriores apresentados em 4.3, além de compatibilizar com o espaçador do tipo multiapoio que foi utilizado.

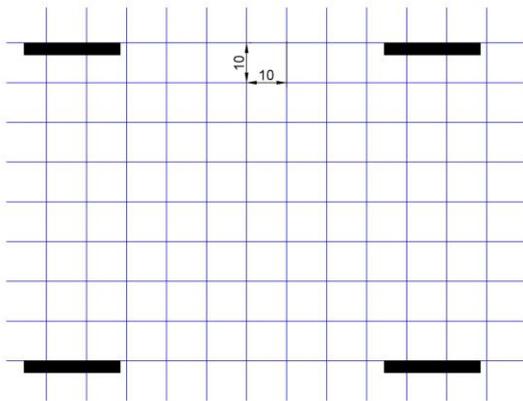
Nos dois primeiros pavimentos tipo foi, a distribuição de espaçadores e amarração da malha de aço foi deixada, de forma proposital, a cargo da obra, a fim de analisar se a mesma possuía algum padrão de distribuição dos espaçadores, analisar quais os procedimentos e as técnicas adotadas para a garantia do cobrimento mínimo previsto no projeto, e quais os resultados gerados pelos mesmos.

Para os cinco pavimentos restantes foram feitas intervenções na distribuição dos espaçadores. As distribuições escolhidas foram:

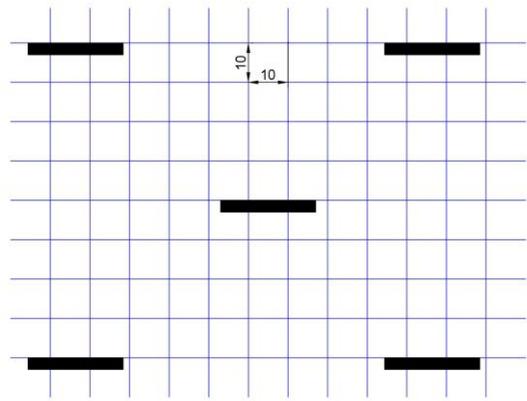
- a) espaçadores alinhados, afastados a cada 80 cm;
- b) espaçadores escalonados, afastados a cada 80 cm;
- c) espaçadores alinhados, afastados a cada 60 cm;
- d) espaçadores escalonados, afastados a cada 60 cm;
- e) espaçadores alinhados, afastados a cada 40 cm.

Nas configurações alinhadas, os espaçadores são distribuídos alinhados nos vértices de uma malha imaginária ortogonal, formando retângulos. Nas configurações de espaçadores do tipo escalonado, segue-se o mesmo padrão anterior, com o acréscimo de um espaçador no centro de cada retângulo. Essa última distribuição é uma tentativa de adaptação da norma britânica BS 7973-2 (2001), para a utilização de espaçadores do tipo multiapoio. Na Figura 19 pode ser visto um modelo de cada tipo de distribuição.

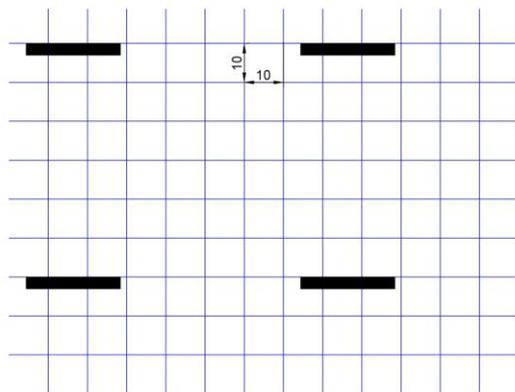
Figura 19 – Configurações de espaçadores utilizadas, (a) 80 x 80 alinhado, (b) 80 x 80 escalonado, (c) 60 x 60 alinhado, (d) 60 x 60 escalonado e (e) 40 x 40 alinhado.



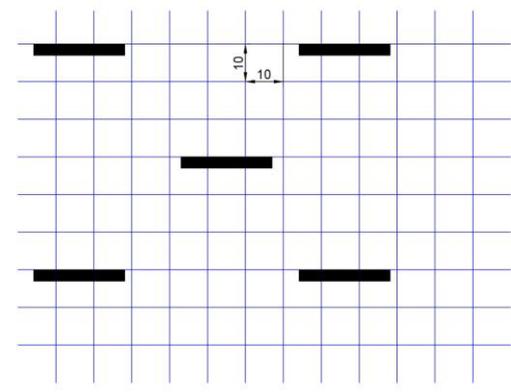
(a)



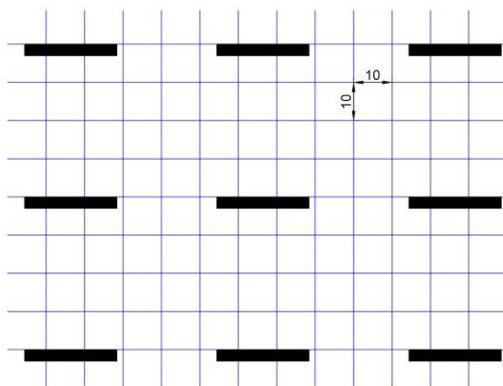
(b)



(c)



(d)



(e)

(fonte: elaborado pelo autor)

Cabe ressaltar que as distâncias indicadas de 80 cm, 60 cm, e 40 cm são apenas indicativas de critério, pois como os espaçadores são colocados nas obras geralmente pela contagem de aberturas de malha, tal critério foi mantido neste trabalho, resultando em afastamentos entre espaçadores múltiplos da abertura da malha da armadura em cada direção. Uma descrição detalhada de todas os espaçamentos é vista na Tabela 21.

Tabela 21 - Afastamento real entre os espaçadores

Lajes	Armaduras das lajes				Distribuição de espaçadores		
	Maior dim.		Menor Dim.		80 cm	60 cm	40 cm
	Ø [mm]	c/. [cm]	Ø [mm]	c/. [cm]			
L1	6.3	13	8.0	14	78 x 84 cm	65 x 56 cm	39 x 42 cm
L2	6.3	13	8.0	14	78 x 84 cm	65 x 56 cm	39 x 42 cm
L3	6.3	13	8.0	14	78 x 84 cm	65 x 56 cm	39 x 42 cm
L4	8.0	15	6.3	10	75 x 80 cm	60 x 60 cm	45 x 40 cm
L5	6.3	13	6.3	10	78 x 80 cm	65 x 60 cm	39 x 40 cm
L6	8.0	10	10.0	10	80 x 80 cm	60 x 60 cm	40 x 40 cm

(fonte: elaborada pelo autor)

Ainda, devido ao tipo do espaçador utilizado ser o multiapoio que possui comprimento de 24 cm, cada espaçador conseguiu apoiar duas barras em uma das direções do espaçador. Os valores na Tabela 21, compreendem os vãos entre barras apoiadas.

A distância entre os pontos de amarração da armadura, apesar de ser um parâmetro de grande influência no cobrimento final obtido, não sofreu intervenção, permanecendo o padrão da obra, por solicitação dos responsáveis pela execução da obra.

Na amarração padrão utilizada pela obra, todos os encontros entre qualquer barra com as barras do contorno da laje são amarrados, além das barras centrais das duas direções possuem todas os seus encontros com outras barras amarrados. Além desses, linhas diagonais de amarração foram feitas a cada 5 ou 6 interseções, dependendo da abertura da malha, gerando distâncias de amarração de 50 a 90 cm. Cabe ressaltar que esse padrão de amarração está desconforme com o prescrito pela NBR 14931 (ABNT, 2014) que indica a distância máxima de amarração de 35 cm.

## 6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados e as análises dos mesmos, buscando-se associar as espessuras de cobrimento com a densidade de espaçadores utilizada em cada uma das distribuições.

### 6.1 FATORES DE INFLUÊNCIA NO COBRIMENTO NÃO RELACIONADOS À DISTRIBUIÇÃO DE ESPAÇADORES

Durante as coletas de cobrimento foram identificados alguns fatores decorrentes da qualidade dos espaçadores, da inadequação das caixas de luz, da integridade do sistema de formas e da falha de planejamento do canteiro de obras que, independentemente da distribuição de espaçadores, alteram a espessura de cobrimento obtida.

Mesmo utilizando espaçadores de boa qualidade, que em sua maioria resistiram bem aos esforços, mantendo as armaduras com o cobrimento de 2,5 cm sobre eles, alguns deles apresentaram problemas de amassamento, conforme é visto na Figura 20 (b). Nos pontos onde o espaçador é amassado, a espessura de cobrimento é prejudicada.

Figura 20 - Qualidade dos espaçadores, (a) espaçador sem deformação e (b) espaçador amassado.



(a)



(b)

(fonte: foto do autor)

A chegada dos eletrodutos nas caixas de luz constituiu-se um problema. Devido à altura entre o furo para o eletroduto na parede lateral da caixa e o fundo da mesma ser menor que o cobrimento da laje, os eletrodutos pressionam as armaduras contra a forma, diminuindo a espessura de cobrimento no local, conforme a Figura 21. Buscando-se informações das caixas em catálogo do fabricante, constata-se que não é apresentada a dimensão em questão, evidenciando a falta de preocupação com essa interferência.

Figura 21 - Caixas de luz desfavorecendo o cobrimento, (a) caixa oitavada e (b) caixa quadrada diminuindo o cobrimento localmente.



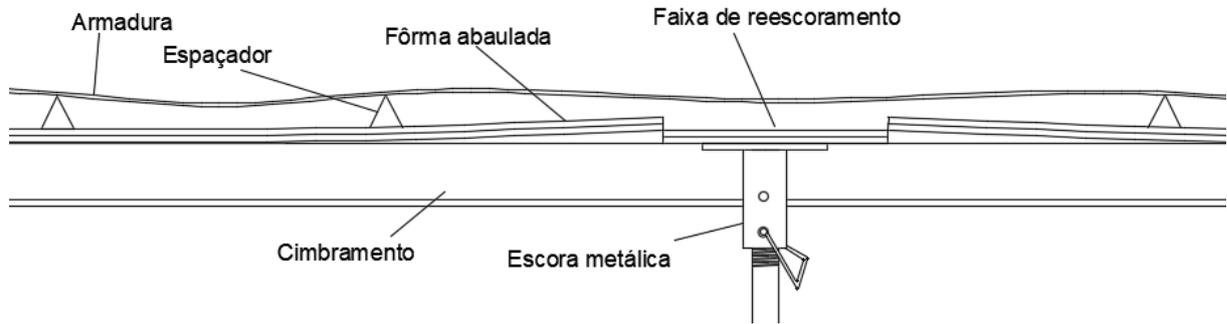
(a)

(b)

(fonte: do autor)

A espessura de cobrimento é tão sensível que pode ser prejudicada pelo sistema de fôrmas, mesmo que se utilize um escoramento adequado e conjunto de formas íntegro. A falta de planicidade, abaulamento das fôrmas, problemas no encontro entre chapas e principalmente o trecho da faixa de reescoramento são pontos que influenciam o cobrimento. A Figura 22 ilustra o problema. As fôrmas presentes na obra foram reutilizadas muitas vezes, mas apresentando-se em geral íntegras e adequadas para um concreto não-aparente, porém nos últimos pavimentos as chapas já se encontravam bastante abauladas.

Figura 22 – Influência do sistema de fôrmas na espessura de cobrimento



(fonte: do autor)

Outro fator observado é o armazenamento de materiais pesados diretamente sobre as armaduras das lajes. A montagem das armaduras negativas é feita em outro pavimento e as malhas já prontas são erguidas com uma grua, que deposita todas elas sobre uma das lajes. Também houve um empilhamento dos elementos do andaime fachadeiro, durante a sua montagem. As pilhas podem chegar a ser muito maiores do que as vistas na Figura 23.

Figura 23 – Pilha de elementos pesados sobre as lajes, (a) pilha de armaduras sobre e (b) pilha de componentes do andaime fachadeiro.



(a)



(b)

(fotos do autor)

Esses fatores estiveram presentes em todos os pavimentos em que os dados foram coletados, interferindo nos cobrimentos obtidos. É importante ressaltar que a simples distribuição correta dos espaçadores não vai solucionar todos estes problemas. De nada adianta distribuir uma grande quantidade de espaçadores se os mesmos são de qualidade ruim, se as caixas retiram as

armaduras de posição, ou se as armaduras são submetidas a elevadas cargas devido ao acúmulo de materiais sobre as mesmas. Para garantir o correto cobrimento nas lajes é necessário um conjunto de ações, planejamento e controle dos vários serviços envolvidos e não apenas a correta distribuição dos espaçadores.

## 6.2 INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO DOS ESPAÇADORES NO COBRIMENTO

Os fatores que a distribuição dos espaçadores deve solucionar são aqueles intrínsecos ao processo construtivo, como o trânsito de operários na montagem das armaduras, na montagem das instalações elétricas, na montagem das instalações hidrossanitárias e durante a concretagem da laje, além das cargas provenientes do lançamento do concreto e do apoio do mangote da bomba e do vibrador. A Figura 24 ilustra a montagem das armaduras e das instalações que acontecem tipicamente no dia anterior à concretagem.

Figura 24 – Trabalhadores sobre as lajes, (a) Ferreiros montando as armaduras e (b) Eletricistas trabalhando sobre as lajes.



(fonte: fotos do autor)

Para fins de deformação permanente das armaduras e conseqüente redução do cobrimento, a carga referente ao volume de concreto fresco pode ser desprezada pois é muito menor do que o peso de um operário de 100 kgf apoiado sobre uma única barra de armadura (MARAN, 2015). Nas lajes em estudo, a concretagem contava com o apoio de 10 operários no lançamento,

adensamento e nivelamento da laje (Figura 25). O arrastar do mangote, juntamente com a deformação causada por um operário sobre a armadura, é visto na Figura 26.

Figura 25 – Concretagem da laje, (a) Operários sobre a laje e (b) lançamento e adensamento do concreto.



(a)



(b)

(fonte: fotos do autor)

Figura 26 – Cargas nas armaduras, (a) mangote e (b) Operário.



(a)



(b)

(fonte: fotos do autor)

As cargas descritas são decorrentes do próprio processo construtivo. Por isso não é possível anular as mesmas apenas com uma melhor organização do canteiro ou seleção dos materiais. A correta distribuição dos espaçadores deve garantir que estas cargas não gerem cobrimentos menores que os mínimos permitidos pela norma. Além disso poderiam ser utilizadas

plataformas de madeira, como antigamente, ou minimizar a carga dos operários sobre as armaduras, distribuindo placas conforme orienta o item 18.8.4 da NR 18 (2011): “é obrigatória a colocação de pranchas de madeira firmemente apoiadas sobre as armações nas fôrmas, para a circulação de operários.” É importante ressaltar que essa orientação da NR 18 (2015) se dá pela preocupação com a saúde dos trabalhadores e não por uma questão técnica executiva.

### **6.2.1 Espaçadores distribuídos segundo os critérios da obra, sem intervenção**

Primeiramente, acompanhou-se a distribuição dos espaçadores nas lajes de um pavimento inteiro sem realizar nenhuma intervenção, deixando a cargo da empresa e da equipe de obra todas as decisões referentes ao número de espaçadores, espaçamento entre os mesmos e quaisquer outras referente às características da distribuição. Foram documentadas as soluções adotadas, para comparação com as configurações que foram propostas nas lajes seguintes.

A distribuição dos espaçadores foi feita por um ferreiro, sem a orientação de qualquer responsável técnico pela engenharia. O mesmo ferreiro relatou que seu critério de distribuição é intuitivo, onde primeiramente faz-se um alinhamento central de espaçadores e em seguida distribui-se os outros espaçadores de forma a amortecerem as deformações da armadura.

Na conversa com o ferreiro ficou claro que a distribuição dos espaçadores não é vista como um serviço importante, o número de espaçadores a serem utilizados, ou a distância entre eles não eram prescritos ou indicados por alguém, permitindo que fossem escolhidos por quem os distribuiu. As distribuições não possuíam padrão de alinhamento dos espaçadores, muito menos de distância entre eles. Os mesmos eram distribuídos de forma aleatória, com afastamentos variando de 60 cm a 110 cm, como é visto na Figura 27.

Figura 27 - Distribuição de espaçadores aleatória



(fonte: foto do autor)

Notou-se, também, a ausência de espaçadores em alguns bordos das lajes, ocasionando diversos pontos onde a armadura toca à forma diretamente, ocasionando pontos com espessura zero de cobrimento, conforme Figura 28.

Figura 28 - Ausência de espaçadores nos bordos



(fonte: foto do autor)

No momento da montagem das lajes, além de conferir a bitola e espaçamento das armaduras, tentou-se caracterizar as distribuições de espaçadores utilizadas, contando o número de espaçadores utilizado em cada uma das lajes de forma a calcular a densidade de espaçadores por unidade de superfície, além de observar o menor e o maior espaçamento entre espaçadores em cada uma das lajes. Os pontos de amarração das malhas da armadura foram contados a partir das diagonais amarradas, e são múltiplos inteiros do espaçamento entre barras. Uma descrição das configurações de espaçadores utilizadas em cada laje pode ser vista na Tabela 22.

Tabela 22 – Armaduras das lajes e distribuição dos espaçadores utilizadas na obra.

Lajes	Bitola e espaçamento das armaduras				Distribuição dos espaçadores	
	Maior dim.		Menor Dim.		Afastamento [cm]	Densidade de espaçadores [Espaçadores/ m <sup>2</sup> ]
	Ø [mm]	c/. [cm]	Ø [mm]	c/. [cm]		
L1	6.3	13	8.0	14	60 a 90	1,46
L2	6.3	13	8.0	14	60 a 90	1,61
L3	6.3	13	8.0	14	60 a 100	1,56
L4	8.0	15	6.3	10	60 a 100	2,13
L5	6.3	13	6.3	10	60 a 110	1,58
L6	8.0	10	10.0	10	40 a 95	1,59

(fonte: elaborado pelo autor)

As medições antes da concretagem deste pavimento aconteceram em um momento anterior à definição da metodologia descrita no item 5.3. Isto ocasionou um padrão de coleta diferente do descrito, unicamente para este pavimento.

As coletas aqui se basearam diretamente na metodologia adotada por Maran *et al.* (2015) e Palm (2017), coletando 30 espessuras de cobertura, distribuídas em locais aleatórios que representem toda a laje. Os cobrimentos coletados não são necessariamente os menores existentes na laje, e têm mais função de representatividade do cobrimento médio. Os cobrimentos medidos estão no apêndice A. Uma caracterização da amostra, com os maiores e os menores valores medidos, a média dos valores lidos e o coeficiente de variação (CV), está representada na Tabela 23.

Tabela 23 – Medidas de cobrimento antes da concretagem, sem controle de espaçadores.

Cobrimento						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Menor cobrimento medido[mm]	8	6	13	7	8	17
Maior cobrimento medido[mm]	29	26	28	26	28	27
Média dos cobrimentos [mm]	18	20	20	19	19	21
CV [%]	22	20	17	21	22	13

(fonte: elaborado pelo autor)

Nas medições após a concretagem já foi utilizado a metodologia descrita no item 5.3, com as varreduras dos menores cobrimentos em cada um dos quadrantes que nos quais cada laje foi dividida. As leituras de cobrimento estão no apêndice B. A caracterização da amostra está na Tabela 24.

Tabela 24 – Medidas de cobrimento depois da concretagem, sem controle de espaçadores.

Cobrimento						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Menor cobrimento medido[mm]	6	7	10	8	8	11
Maior cobrimento medido[mm]	23	24	24	23	23	27
Média dos cobrimentos [mm]	17	19	15	19	17	15
CV [%]	28	25	32	24	25	33

(fonte: elaborado pelo autor)

Os resultados mostram que as cargas impostas às armaduras no momento da concretagem ocasionam uma redução no cobrimento, os cobrimentos médios diminuíram em todas as lajes e o menor cobrimento diminuiu na maioria delas. Os maiores cobrimentos também diminuíram durante a concretagem. A diminuição dos cobrimentos ainda pode ser, em parte, devido à diferença nas metodologias de coleta, pois a coleta com varreduras nos quadrantes, em busca dos menores cobrimentos em cada um deles, teoricamente deve apresentar cobrimentos menores do que aqueles coletados aleatoriamente.

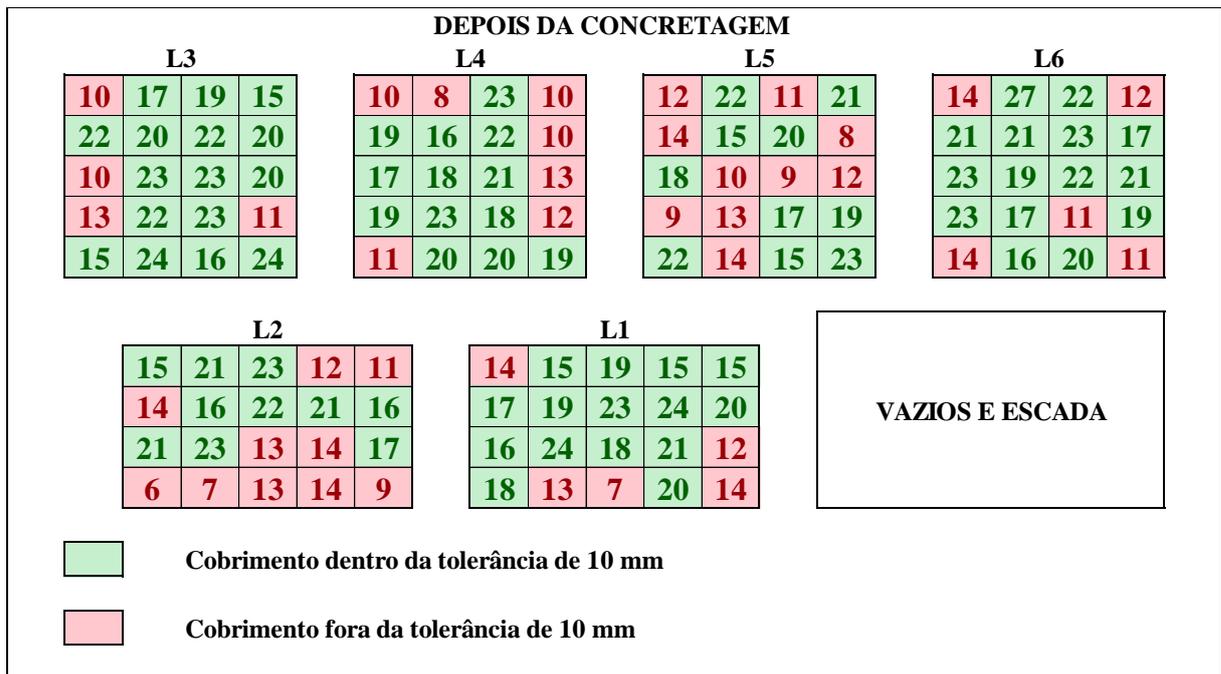
O coeficiente de variação é uma medida de dispersão da amostra, e pode representar um parâmetro para avaliar o nível de controle de qualidade de execução na obtenção da espessura de cobrimento. Andrade (2001) propõe classificar os níveis de controle de execução em Alto ( $CV = 15\%$ ), Médio ( $CV = 35\%$ ) e Baixo ( $CV = 55\%$ ). Os resultados, além de mostrarem um aumento do CV após à concretagem, ainda mostraram que o controle de execução estaria em um nível mais próximo ao nível Médio proposto por Andrade (2001).

Para comparar os resultados de cobrimento com os valores de tolerância permitidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014), elaborou-se a Tabela 25, e para visualizar os cobrimentos distribuídos espacialmente nas lajes, elaboraram-se croquis representando o pavimento, grifando em vermelho os quadrantes cujo cobrimento mínimo presente não atende às prescrições da mesma norma. Na Figura 29, considerou-se como tolerância de execução 10 mm, que é o valor recomendado para a maioria dos casos. Na Figura 30, considerou-se como tolerância de execução um valor de 5 mm, permitido para quando se adota um controle rigoroso de qualidade de execução, conforme indica a NBR 6118 (ABNT, 2014).

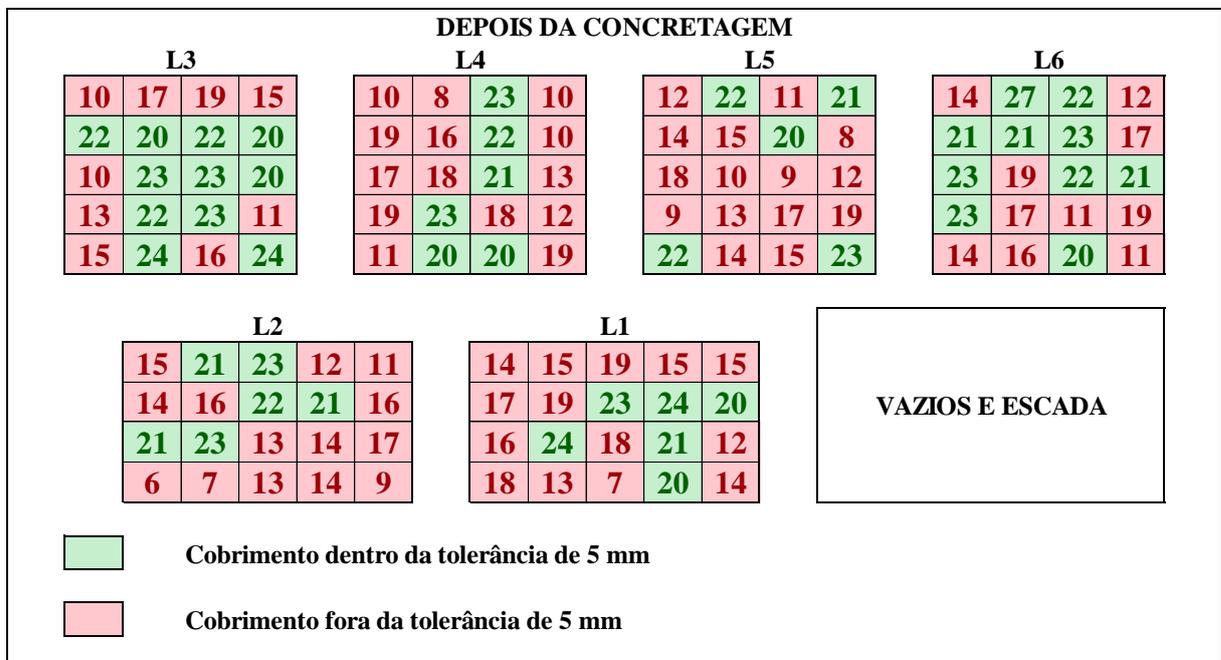
Tabela 25 - Verificação do atendimento à NBR 6118, espaçadores distribuídos aleatoriamente.

Lajes	Armaduras				Distribuição aleatória						
	Maior dim.		Menor Dim.		Dens. de esp. [esp./m <sup>2</sup> ]	Dentro da tolerância de 5 mm		Dentro da tolerância de 10 mm		Fora do limite permitido pela NBR 6118.	
	Ø [mm]	c/. [cm]	Ø [mm]	c/. [cm]		Antes [%]	Depois [%]	Antes [%]	Depois [%]	Antes [%]	Depois [%]
L1	6.3	13	8.0	14	1,46	23	30	80	50	20	50
L2	6.3	13	8.0	14	1,61	53	30	86	75	14	25
L3	6.3	13	8.0	14	1,56	50	55	90	80	10	20
L4	8.0	15	6.3	10	2,13	53	30	86	65	14	35
L5	6.3	13	6.3	10	1,58	57	25	87	50	13	50
L6	8.0	10	10.0	10	1,59	63	50	100	75	0	25
Geral	-				1,66	50	37	88	66	12	34

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 29 – Cobrimentos com distribuição aleatória dos espaçadores,  $\Delta c = 10 \text{ mm}$ 

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 30 - Cobrimentos com distribuição aleatória dos espaçadores,  $\Delta c = 5 \text{ mm}$ 

(fonte: elaborado pelo autor)

Analisando a Tabela 25, observa-se que a NBR 6118 não é atendida nem mesmo antes da concretagem, exceto pela laje L6 que possui armaduras de maior diâmetro e pouco espaçadas, o que a torna mais rígida o suficiente para sustentar as deformações, porém após a concretagem, a mesma também apresentou problemas com 25% dos cobrimentos desconformes. Praticamente todos os valores após a concretagem foram piores, no geral 34% dos cobrimentos medidos no pavimento estão fora da tolerância de 10 mm permitida pela NBR 6118, com a laje com armadura de menor diâmetro e mais espaçadas (L5) chegando a 50% dos cobrimentos desconformes.

A tolerância de 5 mm se mostrou ainda mais problemática mesmo antes da concretagem, onde o melhor resultado foi na laje L6 com 63% dos cobrimentos dentro da tolerância, este valor diminuindo para apenas 50% após a concretagem. Os demais resultados foram piores, no total do pavimento com somente 37% dos cobrimentos atendendo a tolerância de 5 mm.

A Figura 29 indica uma tendência de cobrimentos fora da tolerância de 10 mm principalmente nos bordos das lajes, onde havia uma deficiência de espaçadores, como dito anteriormente. Porém, há também pontos centrais sem cobertura, principalmente na laje L5, onde estão as armaduras de menor bitola. Na Figura 30, onde a tolerância de execução é 5 mm, os pontos insuficientes se mostraram mais distribuídos em toda a laje, evidenciando a problemática de utilizar esta tolerância.

### **6.2.2 Espaçadores alinhados a cada 80 cm**

A distribuição de 80 x 80 cm alinhado consome 2,06 espaçadores por metro quadrado, sendo este valor maior ao utilizado pela obra, 1,66 espaçadores por m<sup>2</sup>. Para essa e as demais distribuições controladas, os ferreiros distribuíram os espaçadores na manhã do dia anterior à concretagem, seguindo as orientações de espaçamento e alinhamento.

Inicialmente os operários se mostraram relutantes em padronizar a distribuição dos espaçadores, tendo em vista que a padronização aumenta o tempo de execução em relação ao que os mesmos estão acostumados. Portanto, a supervisão da atividade é muito importante para se obter uma distribuição correta. Os espaçadores distribuídos alinhados a cada 80 cm podem ser vistos na Figura 31.

Figura 31 - Laje com espaçadores alinhados a cada 80 cm



(fonte: foto do autor)

Para essa e as demais distribuições controladas, as medições de cobrimento foram feitas de acordo com a metodologia de coleta explicada no item 5.3. No dia anterior à concretagem, quando já estivesse encerrado o trânsito de operários sobre as lajes, os cobrimentos eram medidos com o paquímetro; após a desforma e retirada de parte do escoramento das lajes as medições foram feitas com o pacômetro. Os cobrimentos coletados anteriormente à concretagem estão no apêndice C, e os cobrimento obtidos depois da concretagem estão no apêndice D. Um resumo dos resultados anteriores à concretagem estão na Tabela 26, e os resultados após a concretagem estão na Tabela 27.

Tabela 26 – Medidas de cobrimento antes da concretagem, 80x80 cm alinhado.

Cobrimento						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Menor cobrimento medido[mm]	17	14	16	11	13	10
Maior cobrimento medido[mm]	24	24	27	25	26	26
Média dos cobrimentos [mm]	21	20	21	20	20	19
CV [%]	10	14	14	18	18	17

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 27 - Medidas de cobrimento depois da concretagem, 80x80 cm alinhado.

Cobrimento						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Menor cobrimento medido[mm]	9	11	9	11	7	10
Maior cobrimento medido[mm]	24	24	25	24	23	23
Média dos cobrimentos [mm]	19	17	16	17	18	17
CV [%]	20	22	28	23	25	17

(fonte: elaborado pelo autor)

Os resultados para essa distribuição também mostram uma redução no cobrimento após a concretagem em relação aos lidos anteriores à mesma. Os cobrimentos médios diminuíram em todas as lajes e o menor cobrimento diminuiu na maioria delas. Os maiores cobrimentos também diminuíram, ou se mantiveram com o mesmo valor após concretagem.

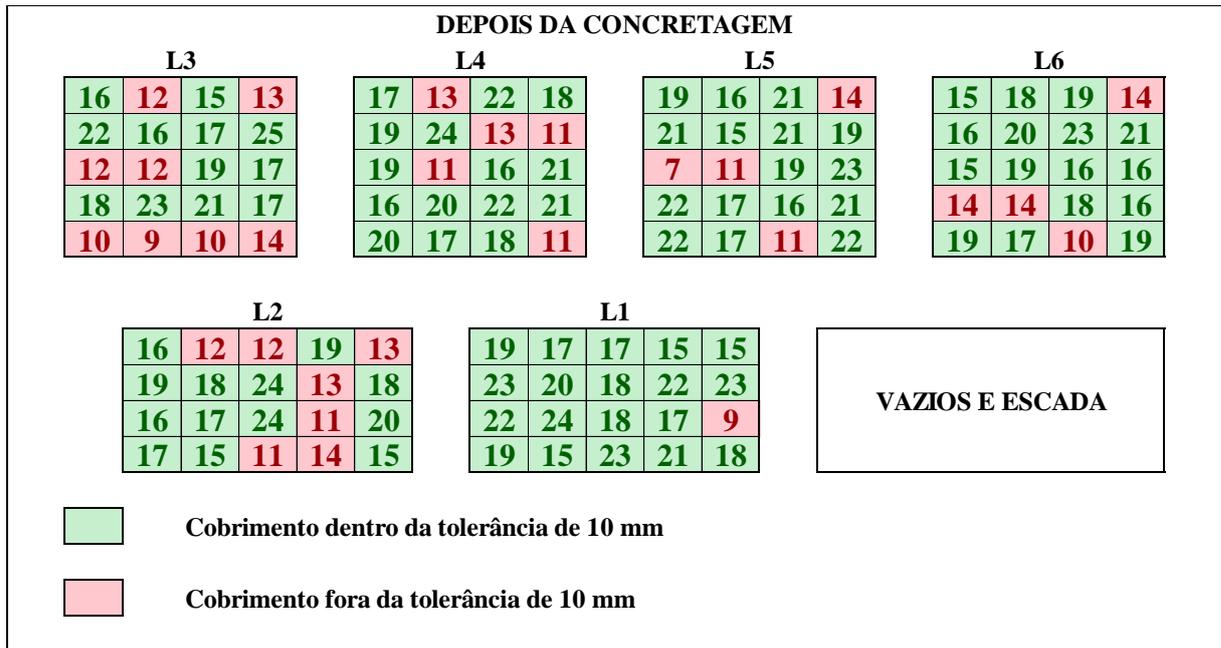
Comparando a distribuição dos espaçadores alinhados a cada 80 cm, com a distribuição sem controle, observa-se que o cobrimento médio se manteve próximo aos valores obtidos anteriormente. Houve uma pequena melhora nos menores valores de cobrimento, porém os mesmos ainda são muito baixos, todos menores que 15 mm. Os maiores cobrimentos estão muito próximos aos anteriormente obtidos. O coeficiente de variação dessa distribuição diminuiu em relação aos valores da distribuição sem controle de espaçadores, indicando uma melhora no controle de execução. Porém os mesmos ainda se encontram no nível Médio de execução proposto por Andrade (2001).

Para comparar os resultados de cobertura com os valores permitidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014), elaborou-se a Tabela 28, e para visualizar os cobrimentos distribuídos espacialmente nas lajes, elaborou-se croquis representando o pavimento, grifando em vermelho os quadrantes, cujo cobertura mínimo presente não atende às prescrições da NBR 6118 (ABNT, 2014). Na Figura 32, considerou-se como tolerância de execução 10 mm, que é o valor recomendado para a maioria dos casos. Na Figura 33, considerou-se a tolerância de execução de um valor de 5 mm, permitido para quando se adota um controle rigoroso de qualidade de execução, conforme indica a NBR 6118 (ABNT, 2014).

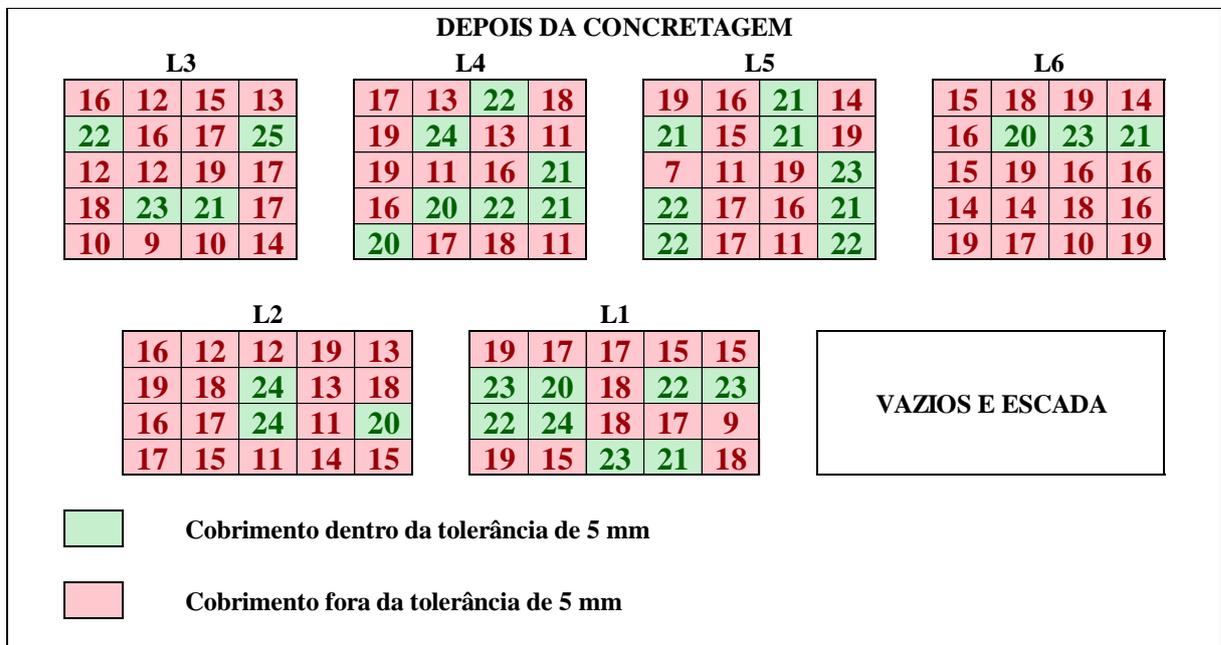
Tabela 28 - Verificação do atendimento à NBR 6118, 80x80 alinhado.

Lajes	Armaduras				80 cm x80 cm alinhado						
	Maior dim.		Menor Dim.		Dens. de esp. [esp./m <sup>2</sup> ]	Dentro da tolerância de 5 mm		Dentro da tolerância de 10 mm		Fora do limite permitido pela NBR 6118.	
	Ø [mm]	c/. [cm]	Ø [mm]	c/. [cm]		Antes [%]	Depois [%]	Antes [%]	Depois [%]	Antes [%]	Depois [%]
L1	6.3	13	8.0	14	2,01	70	40	100	95	0	5
L2	6.3	13	8.0	14	2,01	50	25	95	75	5	25
L3	6.3	13	8.0	14	2,01	65	20	100	60	0	40
L4	8.0	15	6.3	10	2,18	60	35	90	75	10	25
L5	6.3	13	6.3	10	2,11	65	40	90	80	10	20
L6	8.0	10	10.0	10	2,05	50	15	90	80	10	20
Geral	-				2,06	60	29	94	77	6	23

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 32 - Cobrimentos com espaçadores alinhados a cada 80 cm,  $\Delta c = 10 \text{ mm}$ 

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 33 - Cobrimentos com espaçadores alinhados a cada 80 cm,  $\Delta c = 5 \text{ mm}$ 

(fonte: elaborado pelo autor)

Analisando a Tabela 28, percebe-se uma melhora em relação ao pavimento sem controle de espaçadores, subindo de 66% para 77% das espessuras de cobertura dentro da tolerância de 10 mm. Porém, a NBR 6118 ainda está longe de ser atendida em todas as leituras.

Os valores dentro da tolerância de 5 mm diminuíram em comparação com o pavimento sem controle de espaçadores, de 37% para 29%.

A Figura 32 indica cobrimentos fora da tolerância de 10 mm tanto nos bordos das lajes quanto nos centros das mesmas, porém ainda há um maior número de espessuras insuficientes nos bordos das lajes. Na Figura 33, onde a tolerância de execução é 5 mm, os pontos insuficientes também se mostraram distribuídos em toda a laje, porém em maior número, evidenciando a problemática de utilizar esta tolerância.

### 6.2.3 Espaçadores alinhados a cada 60 cm

A distribuição de 60 x 60 cm alinhado consome, em média, 3,37 espaçadores por metro quadrado, valor superior ao que foi utilizado na distribuição anterior, 2,06 espaçadores por metro quadrado. Os espaçadores distribuídos alinhados a cada 60 cm podem ser vistos na Figura 34.

Figura 34 - Laje com espaçadores alinhados a cada 60 cm



(fonte: foto do autor)

Os cobrimentos coletados anteriores à concretagem estão no apêndice E, e os coletados depois da concretagem estão no apêndice F. Um resumo dos resultados anteriores à concretagem estão na Tabela 29, e os resultados após a concretagem estão na Tabela 30.

Tabela 29 – Medidas de cobrimento antes da concretagem, 60 x 60 cm alinhado.

Cobrimento						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Menor cobrimento medido[mm]	18	16	13	14	18	17
Maior cobrimento medido[mm]	29	30	26	23	27	25
Média dos cobrimentos [mm]	22	22	21	20	21	22
CV [%]	14	13	14	10	12	11

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 30 – Medidas de cobrimento depois da concretagem, 60x60 cm alinhado.

Cobrimento						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Menor cobrimento medido[mm]	12	13	11	9	10	9
Maior cobrimento medido[mm]	27	25	25	21	23	25
Média dos cobrimentos [mm]	18	18	18	17	17	18
CV [%]	21	18	21	27	19	19

(fonte: elaborado pelo autor)

Os resultados para essa distribuição também mostram uma redução no cobrimento após a concretagem em relação aos lidos antes da mesma. Os cobrimentos médios diminuíram em todas as lajes e o mesmo aconteceu com o menor cobrimento. Os maiores cobrimentos também diminuíram, ou se mantiveram com o mesmo valor após concretagem.

Comparando a distribuição dos espaçadores alinhados a cada 60 cm com os alinhados a cada 80 cm, observa-se que o cobrimento médio se manteve próximo aos valores obtidos anteriormente. Houve uma pequena melhora em alguns dos menores valores de cobrimento, porém os mesmos ainda são muito baixos, todos menores que 15 mm. Os maiores cobrimentos estão muito próximos aos anteriormente obtidos. Os coeficientes de variação dessa distribuição

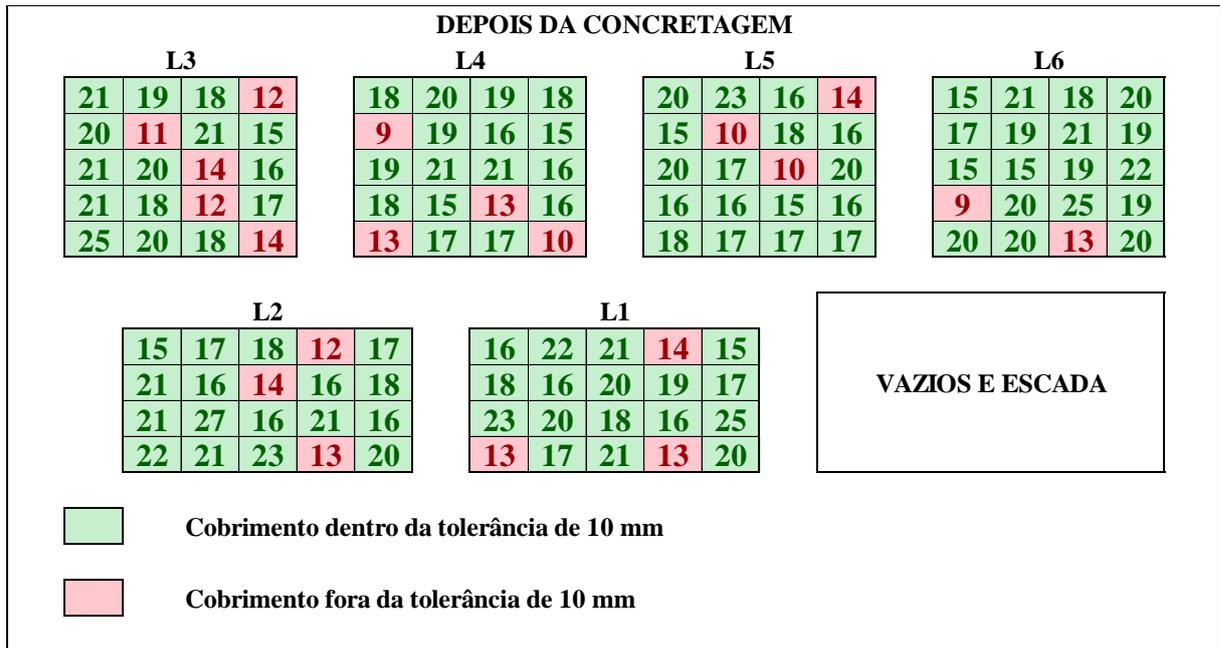
se mostraram ligeiramente menores aos da distribuição anterior, indicando melhora no controle de execução. Os mesmos ainda se encontram no nível Médio de execução proposto por Andrade (2001).

Para comparar os resultados de cobrimento com os valores permitidos pela NBR 6118, elaborou-se a Tabela 31, e para visualizar os cobrimentos distribuídos espacialmente nas lajes, elaborou-se croquis representando o pavimento, grifando em vermelho os quadrantes cujo cobrimento mínimo presente não atende as prescrições da NBR 6118 (ABNT, 2014). Na Figura 35 considerou-se como tolerância de execução 10 mm, que é o valor recomendado para a maioria dos casos. Na Figura 36 considerou-se a tolerância de execução de um valor de 5 mm, permitido para quando se adota um controle rigoroso de qualidade de execução, conforme indica a NBR 6118 (ABNT, 2014).

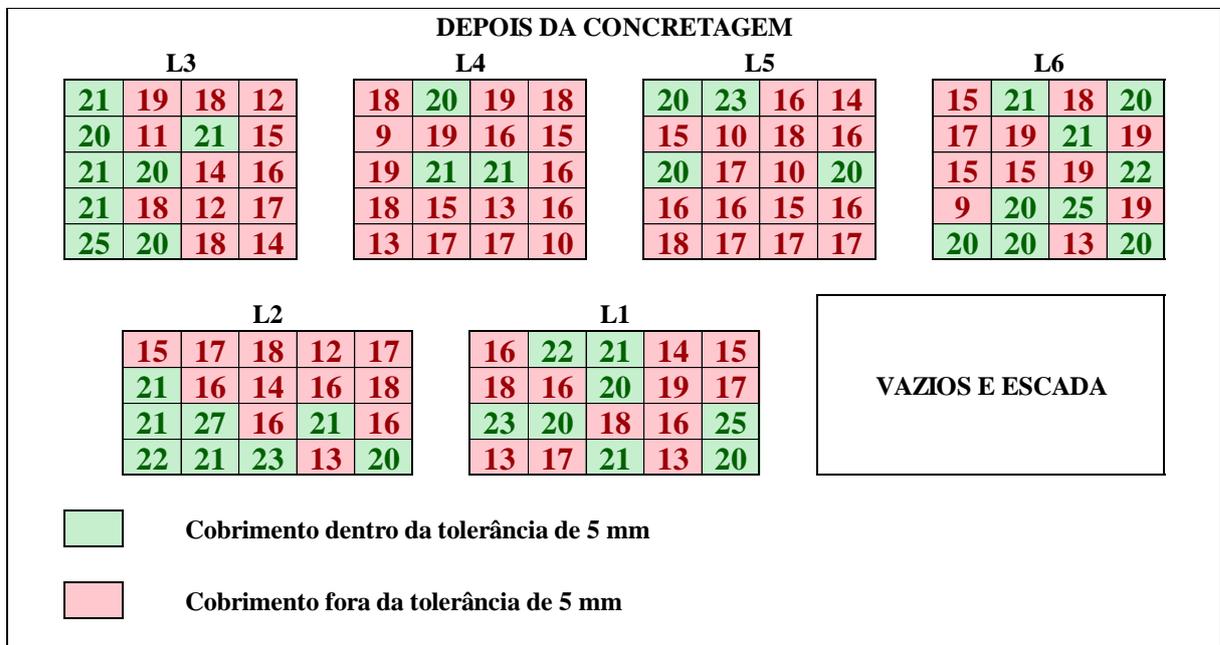
Tabela 31 - Verificação do atendimento à NBR 6118, 60x60 alinhado.

Lajes	Armaduras				Dens. de esp. [esp./m <sup>2</sup> ]	60 cm x 60 cm alinhado					
	Maior dim.		Menor Dim.			Dentro da tolerância de 5 mm		Dentro da tolerância de 10 mm		Fora do limite permitido pela NBR 6118.	
	∅ [mm]	c/. [cm]	∅ [mm]	c/. [cm]		Antes [%]	Depois [%]	Antes [%]	Depois [%]	Antes [%]	Depois [%]
L1	6.3	13	8.0	14	3,40	80	40	100	85	0	15
L2	6.3	13	8.0	14	3,40	95	40	100	85	0	15
L3	6.3	13	8.0	14	3,40	65	40	95	75	5	25
L4	8.0	15	6.3	10	3,41	60	15	95	80	5	20
L5	6.3	13	6.3	10	3,17	65	20	100	85	0	15
L6	8.0	10	10.0	10	3,41	85	45	100	90	0	10
Geral	-				3,37	75	33	98	81	2	19

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 35 - Cobrimentos com espaçadores alinhados a cada 60 cm,  $\Delta c = 10 \text{ mm}$ 

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 36 - Cobrimentos com espaçadores alinhados a cada 60 cm,  $\Delta c = 5 \text{ mm}$ 

(fonte: elaborado pelo autor)

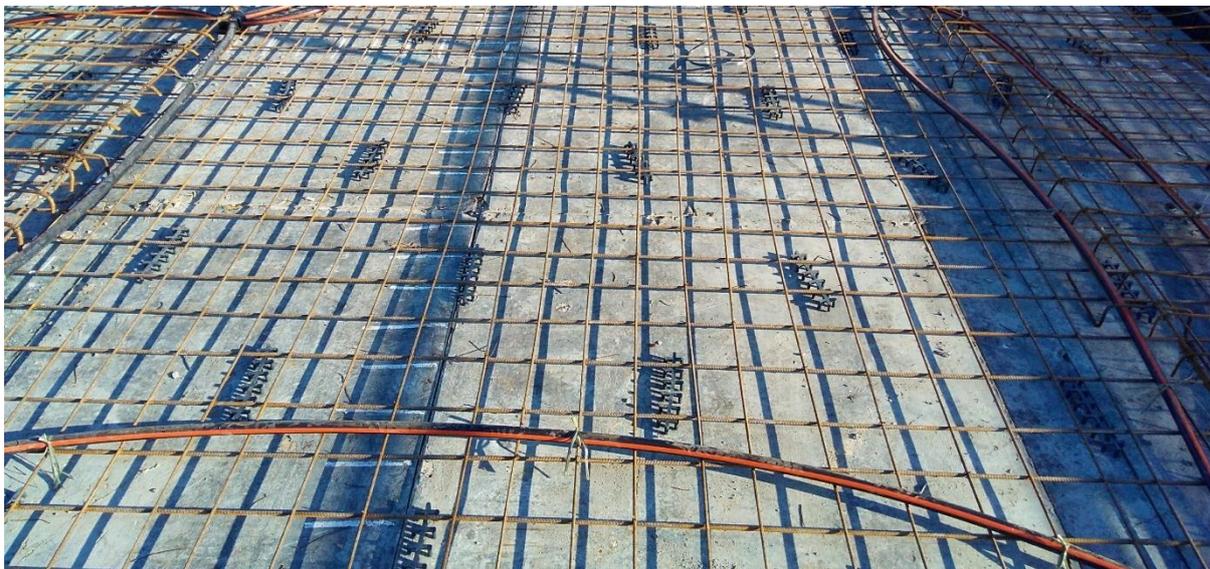
Analisando a Tabela 31, percebe-se uma melhora em relação ao pavimento anterior, subindo de 77% para 81% das espessuras de cobertura dentro do intervalo de 10 mm. Porém a NBR 6118 ainda não é atendida em todas as leituras. Os valores dentro da tolerância de 5 mm aumentaram em comparação com o pavimento anterior, de 29% para 33%.

A Figura 35 indica cobrimentos fora da tolerância de 10 mm tanto nos bordos das lajes quanto nos centros das mesmas, porém ainda há um maior número de espessuras insuficientes nos bordos das lajes. Na Figura 36, onde a tolerância de execução é 5 mm, os pontos insuficientes também se mostraram distribuídos em toda a laje, porém em maior número, evidenciando a problemática de utilizar esta tolerância.

#### **6.2.4 Espaçadores escalonados a cada 80 cm**

A distribuição de 80 x 80 cm escalonado consome, em média, 3,66 espaçadores por metro quadrado, valor superior ao que foi utilizado na distribuição anterior, 3,37 espaçadores por metro quadrado. Os espaçadores distribuídos escalonados a cada 80 cm podem ser vistos na Figura 37.

Figura 37 – Laje com espaçadores escalonados a cada 80 cm



(fonte: foto do autor)

Os cobrimentos coletados anteriores à concretagem estão no apêndice G, e os cobrimento depois da concretagem estão no apêndice H. Um resumo dos resultados anteriores à concretagem estão na Tabela 32, e os resultados após a concretagem estão na Tabela 33.

Tabela 32 - Medidas de cobrimento antes da concretagem, 80x80 cm escalonado.

Cobrimento						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Menor cobrimento medido[mm]	16	19	18	16	18	19
Maior cobrimento medido[mm]	28	30	28	27	29	27
Média dos cobrimentos [mm]	22	233	23	23	24	23
CV [%]	12	11	10	10	11	12

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 33 - Medidas de cobrimento depois da concretagem, 80x80 cm escalonado.

Cobrimento						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Menor cobrimento medido[mm]	4	4	11	6	12	10
Maior cobrimento medido[mm]	24	26	26	24	26	23
Média dos cobrimentos [mm]	18	19	19	18	20	20
CV [%]	26	24	21	19	23	21

(fonte: elaborado pelo autor)

Os resultados para essa distribuição também mostram uma redução no cobrimento após a concretagem em relação aos lidos antes da mesma. Os cobrimentos médios diminuíram em todas as lajes e o mesmo aconteceu com o menor cobrimento. Os maiores cobrimentos também diminuíram.

Comparando a distribuição dos espaçadores escalonados a cada 80 cm, com os alinhados a cada 60 cm, observa-se que o cobrimento médio se manteve próximo aos valores obtidos anteriormente. Pioraram alguns dos menores valores de cobrimento, chegando, inclusive, à valores de 4 mm, os outros ainda são muito baixos, todos menores que 15 mm. Os maiores cobrimentos estão muito próximos aos anteriormente obtidos. Os coeficientes de variação dessa distribuição se mostraram ligeiramente maiores aos da distribuição anterior, indicando um pior

controle de execução. Os mesmos ainda se encontram no nível Médio de execução proposto por Andrade (2001).

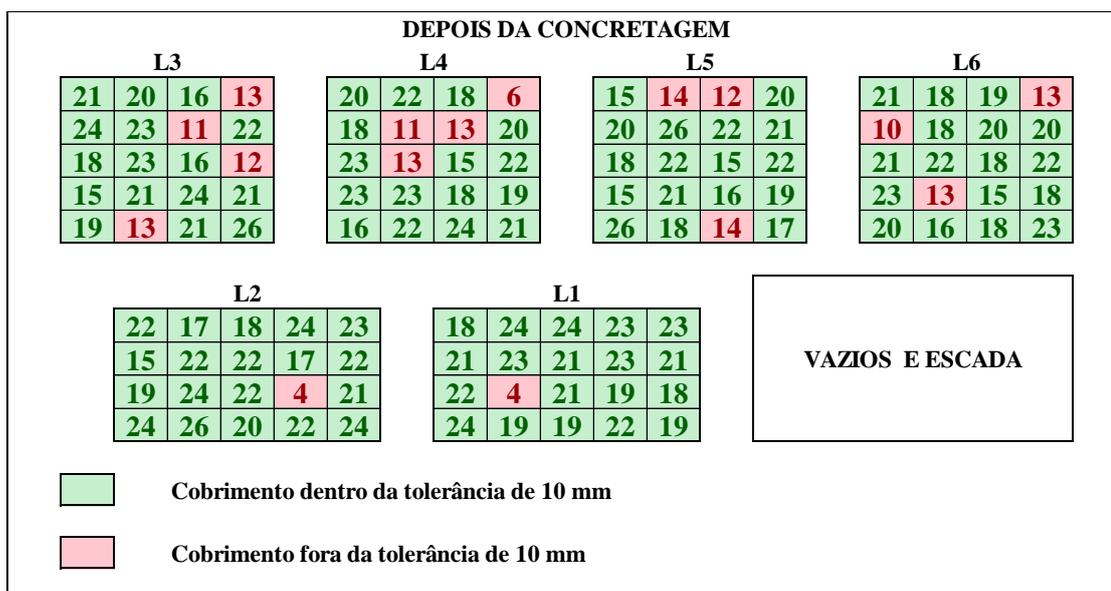
Para comparar os resultados de cobrimento com os valores permitidos pela NBR 6118, elaborou-se a Tabela 34, e para visualizar os cobrimentos distribuídos espacialmente nas lajes, elaborou-se croquis representando o pavimento, grifando em vermelho os quadrantes, cujo cobrimento mínimo presente não atende as prescrições da NBR 6118 (ABNT, 2014). Na Figura 38 considerou-se 10 mm de tolerância de execução, que é o valor recomendado para a maioria dos casos. Na Figura 39 considerou-se a tolerância de execução de um valor de 5 mm, permitido para quando se adota um controle rigoroso de qualidade de execução, conforme indica a NBR 6118 (ABNT, 2014).

Tabela 34 - Verificação do atendimento à NBR 6118, 80x80 escalonado.

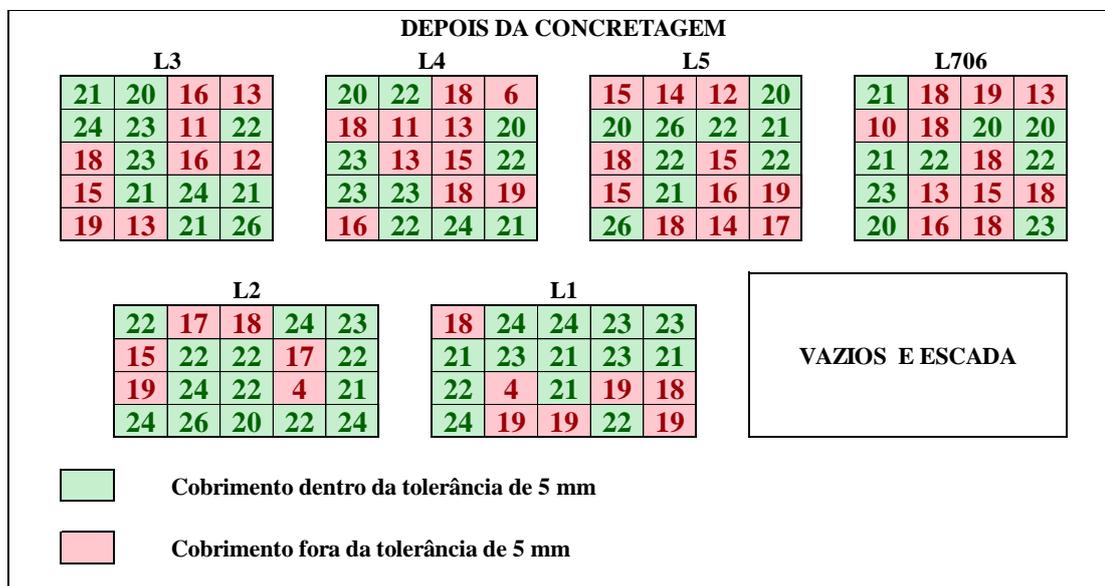
Lajes	Armaduras				80 cm x80 cm escalonado						
	Maior dim.		Menor Dim.		Dens. de esp. [esp./m <sup>2</sup> ]	Dentro da tolerância de 5 mm		Dentro da tolerância de 10 mm		Fora do limite permitido pela NBR 6118.	
	Ø [mm]	c/. [cm]	Ø [mm]	c/. [cm]		Antes [%]	Depois [%]	Antes [%]	Depois [%]	Antes [%]	Depois [%]
L1	6.3	13	8.0	14	3,56	85	65	100	95	0	5
L2	6.3	13	8.0	14	3,56	95	70	100	95	0	5
L3	6.3	13	8.0	14	3,56	85	55	100	80	0	20
L4	8.0	15	6.3	10	3,89	85	50	100	80	0	20
L5	6.3	13	6.3	10	3,74	95	45	100	85	0	15
L6	8.0	10	10.0	10	3,65	90	45	100	85	0	15
Geral	-				3,66	89	55	100	87	0	13

(fonte: elaborado pelo autor)

Analisando a Tabela 34, percebe-se uma melhora em relação ao pavimento sem controle de espaçadores, subindo de 81% para 87% das espessuras de cobrimento dentro do intervalo de 10 mm. Porém a NBR 6118 ainda não é atendida em todas as leituras. Os valores dentro da tolerância de 5 mm aumentaram em comparação com o pavimento anterior, de 33% para 55%.

Figura 38 - Cobrimentos com espaçadores escalonados a cada 80 cm,  $\Delta c = 10 \text{ mm}$ 

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 39 - Cobrimentos com espaçadores escalonados a cada 80 cm,  $\Delta c = 5 \text{ mm}$ 

(fonte: elaborado pelo autor)

A Figura 38 indica cobrimentos fora da tolerância de 10 mm tanto nos bordos das lajes quanto nos centros das mesmas, porém ainda há um maior número de espessuras insuficientes nos bordos das lajes. Na Figura 39, onde a tolerância de execução é 5 mm, os pontos insuficientes

também se mostraram distribuídos em toda a laje, porém em maior número, evidenciando a problemática de utilizar esta tolerância.

### 6.2.5 Espaçadores escalonados a cada 60 cm

A distribuição de 60 x 60 cm escalonado consome, em média, 6,125 espaçadores por metro quadrado, valor superior ao que foi utilizado na distribuição anterior, 3,66 espaçadores por metro quadrado. Os espaçadores distribuídos escalonados a cada 60 cm podem ser vistos na Figura 40.

Figura 40 – Laje com espaçadores escalonados a cada 60 cm



(fonte: foto do autor)

Os cobrimentos coletados anteriores à concretagem estão no apêndice I, e os cobrimento de depois da concretagem estão no apêndice J. Um resumo dos resultados anteriores à concretagem estão na Tabela 35, e os resultados após a concretagem estão na Tabela 36.

Tabela 35 – Medidas de cobrimento antes da concretagem, 60x60 escalonado.

Menor cobrimento medido[mm]						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Menor cobrimento medido[mm]	18	15	20	19	20	19
Maior cobrimento medido[mm]	29	31	27	28	26	28
Média dos cobrimentos [mm]	23	23	24	23	23	23
CV [%]	11	14	8	11	6	11

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 36 – Medidas de cobrimento depois da concretagem, 60x60 escalonado.

Cobrimento						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Menor cobrimento medido[mm]	13	12	9	15	4	17
Maior cobrimento medido[mm]	25	24	24	24	23	24
Média dos cobrimentos [mm]	20	18	20	20	18	21
CV [%]	15	20	18	12	24	12

(fonte: elaborado pelo autor)

Os resultados para essa distribuição também mostram uma redução no cobrimento após a concretagem em relação aos lidos antes da mesma. Os cobrimentos médios diminuíram em todas as lajes e o mesmo aconteceu com menor cobrimento. Os maiores cobrimentos também diminuíram.

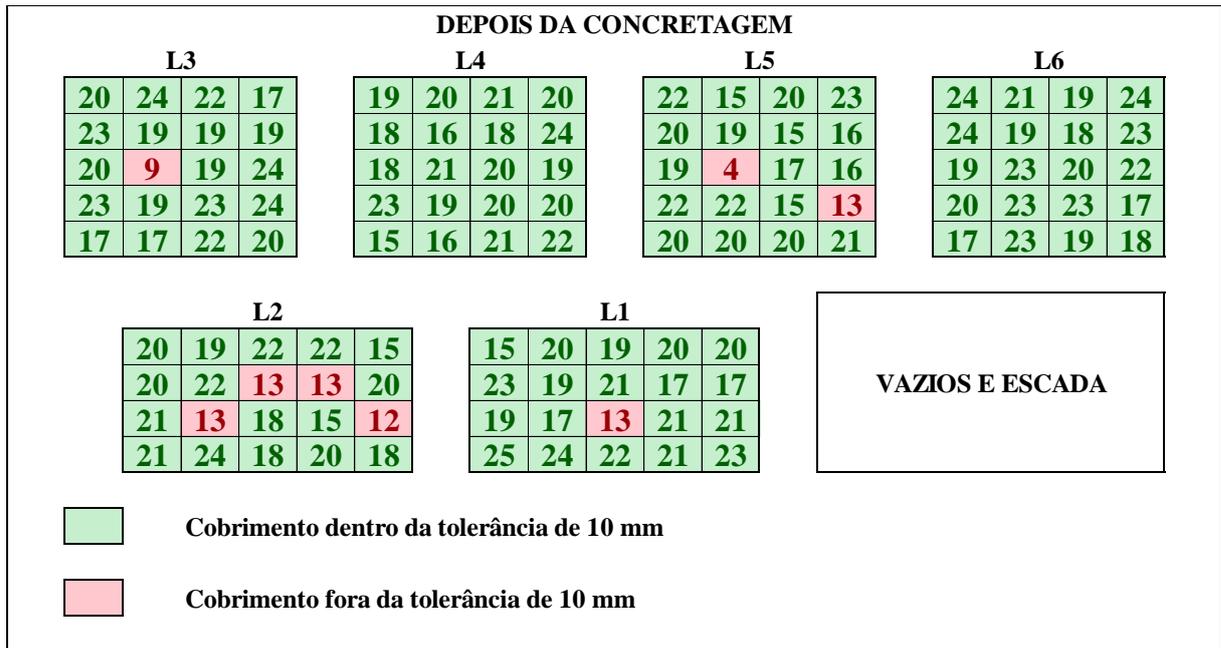
Comparando a distribuição dos espaçadores escalonados a cada 60 cm, com os escalonados a cada 80 cm, observa-se que o cobrimento médio se manteve próximo aos valores obtidos anteriormente. Melhoraram alguns dos menores valores de cobrimento, chegando, inclusive, à valores de 17 mm, os outros ainda são muito baixos, menores que 15 mm. Os maiores cobrimentos estão muito próximos aos anteriormente obtidos. Os coeficientes de variação dessa distribuição se mostraram menores com relação aos da distribuição anterior, indicando um melhor controle de execução. Três das lajes encontram-se no nível de controle Alto de execução proposto por Andrade (2001), as outras três estão muito próximas do nível Alto.

Para comparar os resultados de cobrimento com os valores permitidos pela NBR 6118, elaborou-se a Tabela 37, e para visualizar os cobrimentos distribuídos espacialmente nas lajes, elaborou-se croquis representando o pavimento, grifando em vermelho os quadrantes, cujo cobrimento mínimo presente não atende as prescrições da NBR 6118 (ABNT, 2014). Na Figura 41 considerou-se 10 mm de tolerância de execução, que é o valor recomendado para a maioria dos casos. Na Figura 42 considerou-se a tolerância de execução de um valor de 5 mm, permitido para quando se adota um controle rigoroso de qualidade de execução, conforme indica a NBR 6118 (ABNT, 2014).

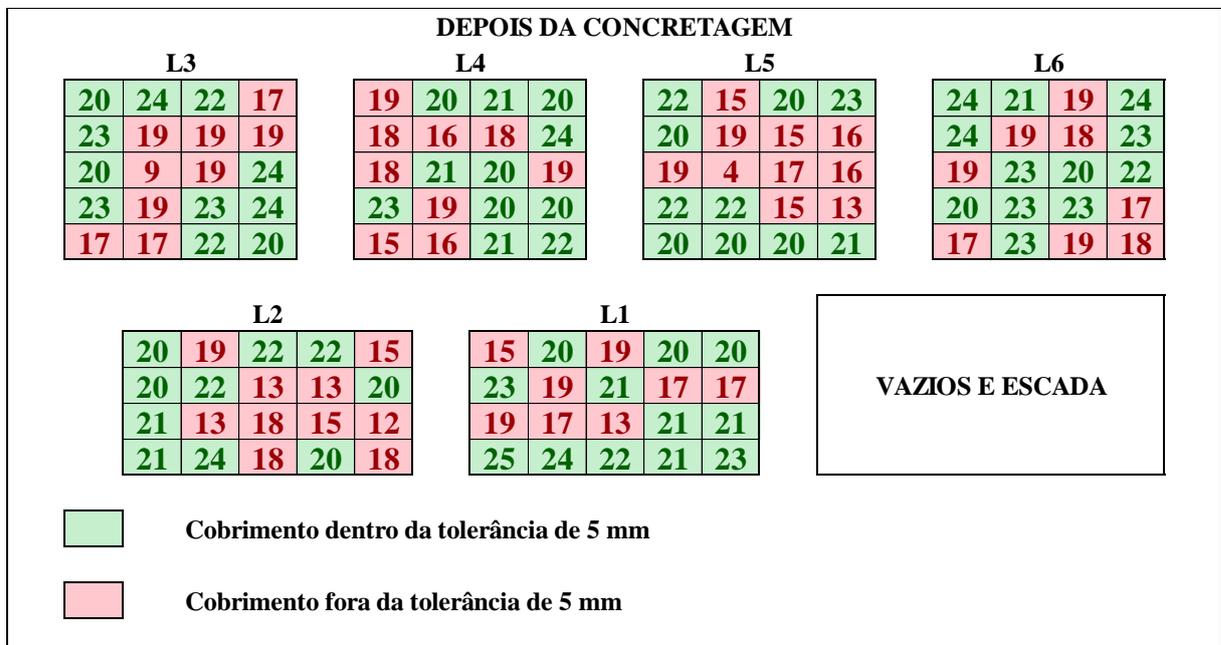
Tabela 37 - Verificação do atendimento à NBR 6118, 60x60 escalonado.

Lajes	Armaduras				60 cm x 60 cm escalonado						
	Maior dim.		Menor Dim.		Dens. de esp. [esp./m <sup>2</sup> ]	Dentro da tolerância de 5 mm		Dentro da tolerância de 10 mm		Fora do limite permitido pela NBR 6118.	
	∅ [mm]	c/. [cm]	∅ [mm]	c/. [cm]		Antes [%]	Depois [%]	Antes [%]	Depois [%]	Antes [%]	Depois [%]
L1	6.3	13	8.0	14	6,18	95	60	100	95	0	5
L2	6.3	13	8.0	14	6,18	85	50	95	80	5	20
L3	6.3	13	8.0	14	6,18	95	55	100	95	0	5
L4	8.0	15	6.3	10	6,22	90	55	100	100	0	0
L5	6.3	13	6.3	10	5,77	100	50	100	90	0	10
L6	8.0	10	10.0	10	6,22	95	60	100	100	0	0
Geral	-				6,125	93	55	99	92	1	7

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 41 - Cobrimentos com espaçadores escalonados a cada 60 cm,  $\Delta c = 10 \text{ mm}$ 

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 42 - Cobrimentos com espaçadores escalonados a cada 60 cm,  $\Delta c = 5 \text{ mm}$ 

(fonte: elaborado pelo autor)

Analisando a Tabela 37, percebe-se uma melhora em relação ao pavimento anterior, subindo de 87% para 92% das espessuras de cobertura dentro do intervalo de 10 mm. Porém a NBR 6118 ainda não é atendida em todas as leituras. Os valores dentro da tolerância de 5 mm se mantiveram constantes em comparação com o pavimento anterior, com o total de 55%.

A Figura 41 indica cobrimentos fora da tolerância de 10 mm apenas em pontos localizados, principalmente nos centros das lajes. Na Figura 42, onde a tolerância de execução é 5 mm, os pontos insuficientes se mostraram tão numerosos e distribuídos quanto na distribuição anterior, evidenciando a problemática de utilizar esta tolerância.

### 6.2.6 Espaçadores alinhados a cada 40 cm

A distribuição de 40 x 40 cm alinhado consome, em média, 7,01 espaçadores por metro quadrado, valor superior ao que foi utilizado na distribuição anterior, 6,125 espaçadores por metro quadrado. Os espaçadores distribuídos alinhados a cada 40 cm podem ser vistos na Figura 43.

Os cobrimentos coletados anteriores à concretagem estão no apêndice K, e os cobrimento depois da concretagem estão no apêndice L. Um resumo dos resultados anteriores à concretagem estão na Tabela 38, e os resultados após a concretagem estão na Tabela 39.

Figura 43 - Laje com espaçadores alinhados a cada 40 cm



(fonte: foto do autor)

Tabela 38 - Medidas de cobrimento antes da concretagem, 40x40 alinhado.

Cobrimento						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Menor cobrimento medido[mm]	16	18	18	18	17	16
Maior cobrimento medido[mm]	28	24	27	28	26	25
Média dos cobrimentos [mm]	21	22	23	23	21	23
CV [%]	13	8	10	11	10	10

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 39 – Medidas de cobrimento depois da concretagem, 40x40 alinhado.

Cobrimento						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
Menor cobrimento medido[mm]	7	15	15	15	12	15
Maior cobrimento medido[mm]	25	22	24	28	22	23
Média dos cobrimentos [mm]	18	20	20	20	18	20
CV [%]	20	9	12	15	15	12

(fonte: elaborado pelo autor)

Os resultados para essa distribuição também mostram uma redução no cobrimento após a concretagem em relação aos lidos antes da mesma. Os cobrimentos médios diminuíram em todas as lajes e o mesmo aconteceu com menor cobrimento. Os maiores cobrimentos também diminuíram.

Comparando a distribuição dos espaçadores alinhados a cada 40 cm, com os escalonados a cada 60 cm, observa-se que o cobrimento médio se manteve próximo aos valores obtidos anteriormente. Melhoraram alguns dos menores valores de cobrimento, restando apenas duas lajes com cobrimentos menores que 15 mm. Os maiores cobrimentos estão muito próximos aos anteriormente obtidos. Os coeficientes de variação dessa distribuição se mostraram menores em relação aos da distribuição anterior, indicando um melhor controle de execução. Apenas uma laje apresentou o coeficiente de variação maior do que 15%, o restante ficou classificado como Alto controle de execução, de acordo com o proposto por Andrade (2001).

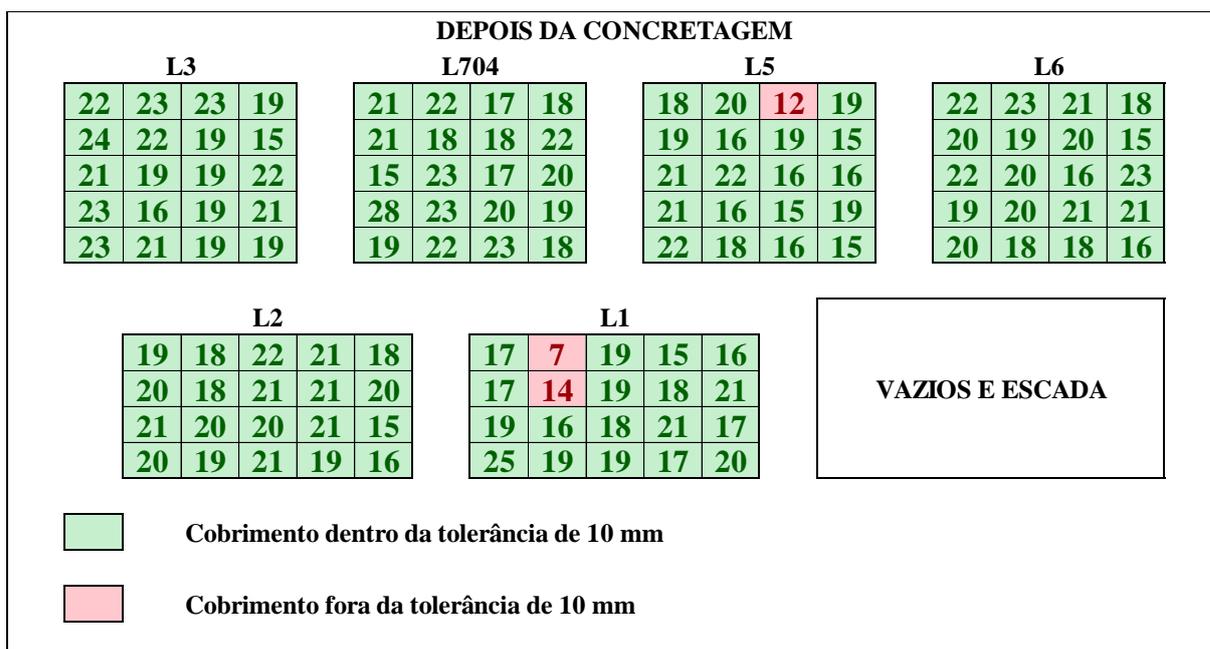
Para comparar os resultados de cobrimento com os valores permitidos pela NBR 6118, elaborou-se a Tabela 1, e para visualizar os cobrimentos distribuídos espacialmente nas lajes, elaborou-se croquis representando o pavimento, grifando em vermelho os quadrantes, cujo cobrimento mínimo presente não atende as prescrições da NBR 6118 (ABNT, 2014). Na Figura 44 considerou-se 10 mm de tolerância de execução, que é o valor recomendado para a maioria dos casos. Na Figura 45 considerou-se a tolerância de execução de um valor de 5 mm, permitido para quando se adota um controle rigoroso de qualidade de execução, conforme indica a NBR 6118 (ABNT, 2014).

Tabela 40 - Verificação do atendimento à NBR 6118, 40x40 alinhado.

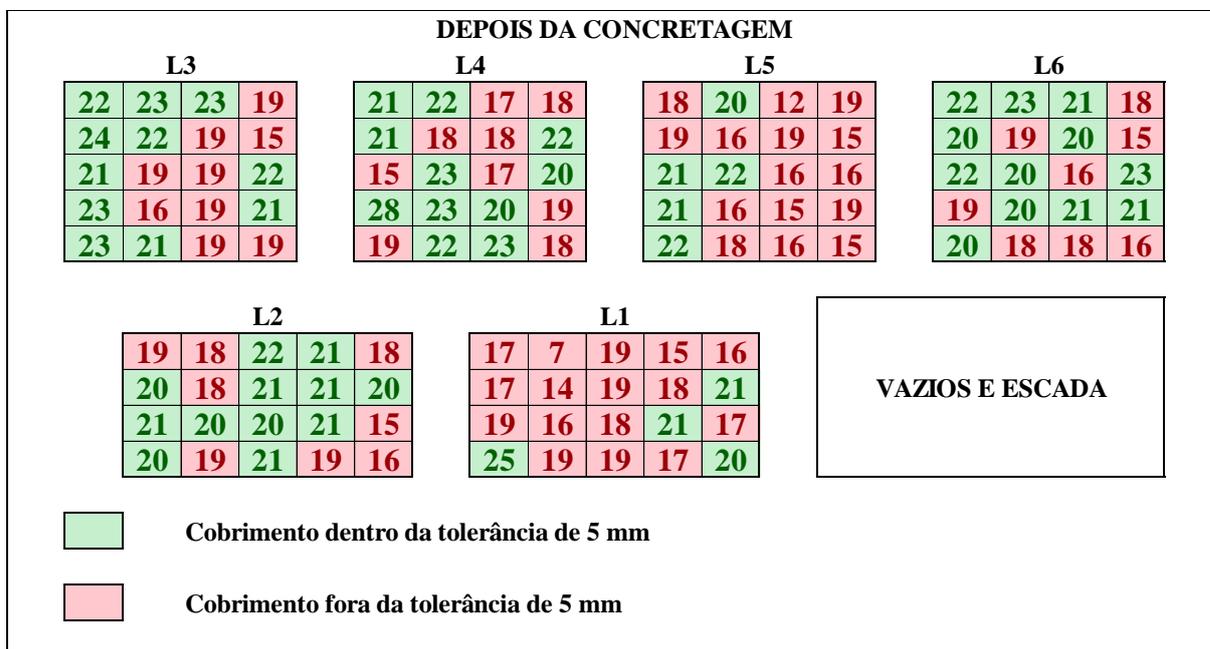
Lajes	Armaduras				40 cm x 40 cm alinhado						
	Maior dim.		Menor Dim.		Dens. de esp. [esp./m <sup>2</sup> ]	Dentro da tolerância de 5 mm		Dentro da tolerância de 10 mm		Fora d limite permitido pela NBR 6118.	
	Ø [mm]	c/. [cm]	Ø [mm]	c/. [cm]		Antes [%]	Depois [%]	Antes [%]	Depois [%]	Antes [%]	Depois [%]
L1	6.3	13	8.0	14	7,03	70	20	100	90	0%	10
L2	6.3	13	8.0	14	7,03	85	60	100	100	0%	0
L3	6.3	13	8.0	14	7,03	95	55	100	100	0%	0
L4	8.0	15	6.3	10	6,42	85	55	100	100	0%	0
L5	6.3	13	6.3	10	7,35	75	25	100	95	0%	5
L6	8.0	10	10.0	10	7,17	85	60	100	100	0%	0
Geral	-				7,01	83	46	100	97	0%	3

(fonte: elaborado pelo autor)

Analisando a Tabela 40, percebe-se uma melhora em relação ao pavimento anterior, subindo de 92% para 97% das espessuras de cobrimento dentro do intervalo de 10 mm. Mesmo conseguindo muitas espessuras de cobrimento dentro da tolerância permitida, a NBR 6118 ainda não é atendida em todas as leituras. Em compensação, os valores dentro da tolerância de 5 mm diminuíram em relação à distribuição anterior, com o total de 46%.

Figura 44 - Cobrimentos com espaçadores alinhados a cada 40 cm,  $\Delta c = 10 \text{ mm}$ 

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 45 - Cobrimentos com espaçadores alinhados a cada 40 cm,  $\Delta c = 5 \text{ mm}$ 

(fonte: elaborado pelo autor)

A Figura 44 indica cobrimentos fora da tolerância de 10 onde a tolerância de execução é 5 mm, os pontos insuficientes se mostraram ainda mais numerosos e distribuídos quanto na configuração anterior, evidenciando a problemática de utilizar mm apenas em três pontos,

mostrando a boa efetividade da distribuição 40x40 cm alinhado. Os pontos fora da tolerância podem ser ocasionados pelos problemas citados no item 6.1, os quais não são solucionados apenas com uma boa distribuição de espaçadores. Na Figura 45, esta tolerância.

### 6.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Para avaliar a relação entre os resultados com a configuração dos espaçadores foi realizada uma comparação com a quantidade de espaçadores demandada em cada uma das distribuições. Como as lajes possuem bitolas e espaçamentos diferentes entre as malhas, elaborou-se a Tabela 41. As lajes L1, L2 e L3 possuem armadura idêntica, por isso seus resultados foram agrupados, chamando o conjunto de laje L123.

A rigidez das armaduras está relacionada com a bitola das mesmas, quanto maior a bitola do aço, maior a dificuldade de deformação. Atribuir um valor numérico à rigidez da malha não é uma tarefa tão simples, pois deve-se levar em conta não somente as barras individuais, mas também a relação de vinculação entre as mesmas que formam a malha.

Para fins de comparação entre uma malha e outra, definiu-se a laje L123 como a malha de referência, e comparando as demais foi feita uma classificação de cada uma. Como a laje L5 é formada por bitolas inferiores, é indicada Malha menos rígida. Como a Laje L6 é formada por barra de bitolas maiores que os da L123, é classificada como Malha mais rígida.

A malha da laje L4 é formada por armaduras de mesma bitola que a L123, porém foi montada com as barras de menor bitola embaixo das de maior bitola, diferentemente das outras. Além disso, a mesma possui afastamentos entre barras diferentes que a L123. Assim não se sabe exatamente qual o seu comportamento, mas espera-se que tenha uma rigidez semelhante à L123.

Tabela 41 – Rigidez das armaduras

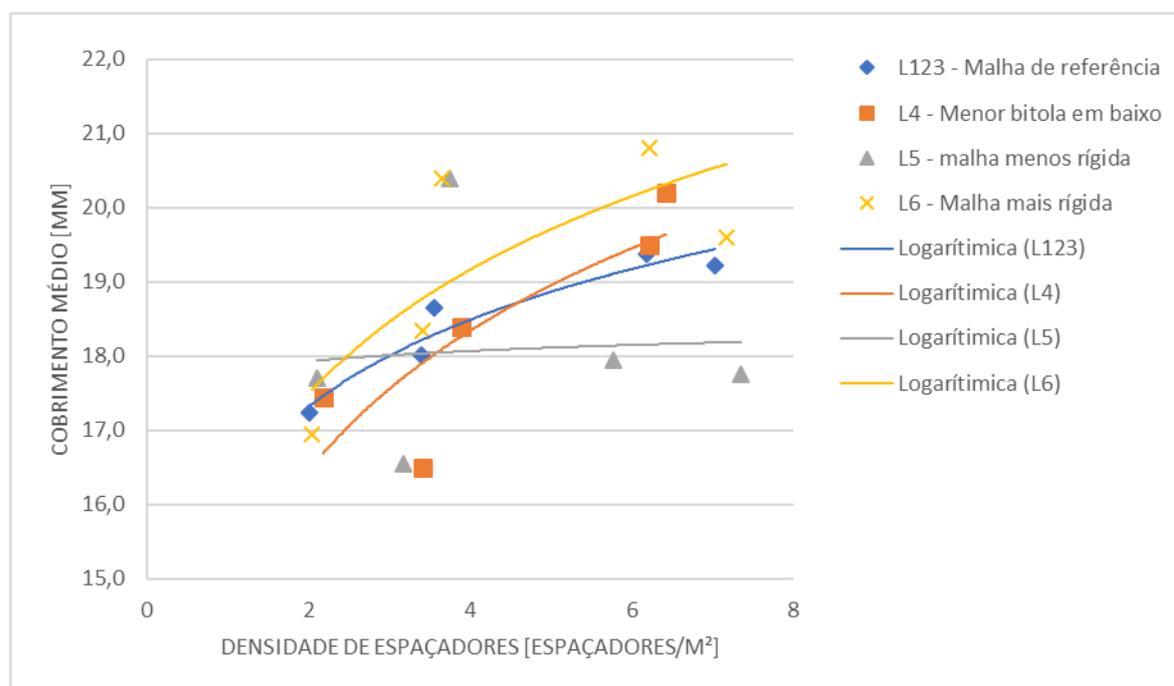
Lajes		Armaduras				Rigidez da malha
		$\emptyset$	c/.	$\emptyset$	c/.	
L123	L1	6.3	13	8.0	14	Malha de referência
	L2	6.3	13	8.0	14	
	L3	6.3	13	8.0	14	
L4		8.0	15	6.3	10	Menor bitola em baixo
L5		6.3	13	6.3	10	Malha menos rígida
L6		8.0	10	10.0	10	Malha mais rígida

(fonte: elaborado pelo autor)

### 6.3.1 Densidade de espaçadores e cobrimento médio

A associação entre os cobrimentos médios proporcionados por cada uma das distribuições com a densidade de espaçadores característica das mesmas é vista na Figura 46.

Figura 46 – Relação entre cobrimento médio e densidade de espaçadores



(fonte: elaborado pelo autor)

Para todas as armaduras observa-se o crescimento do cobrimento médio com o aumento da densidade de espaçadores. Há uma tendência de se obter melhores cobrimentos com as armaduras mais rígidas, porém isso é mais facilmente observado em densidades de espaçadores

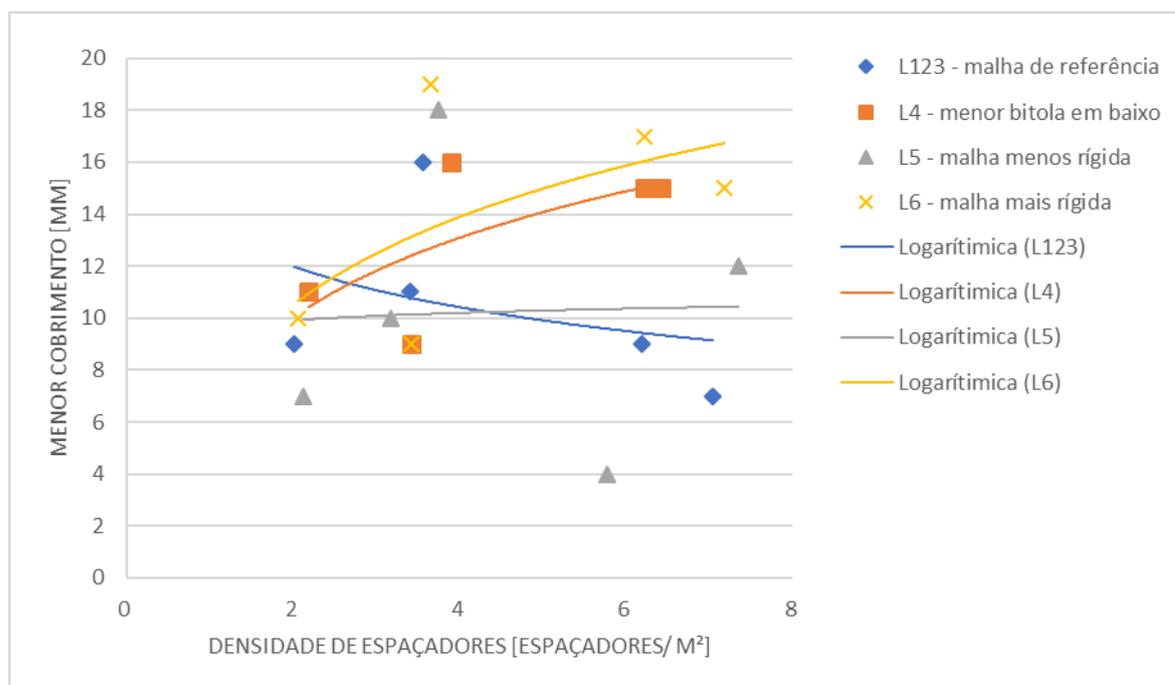
maiores. Em densidade de espaçadores pequenas, próximo a 2 espaçadores por metro quadrado, todas as malhas obtiveram um cobrimento médio parecido, próximo a 17 mm.

Para as maiores densidades de espaçadores, a laje L6, que possui maior rigidez, mostrou o melhor resultado; mesmo assim não foram observados cobrimentos médios maiores que 21 mm, seguida pelas lajes L4 e L123, que apresentaram tendências parecidas. A armadura de menor rigidez da laje L5 teve o pior resultado, inclusive a tendência é de que o aumento na densidade dos espaçadores não influencie substancialmente no cobrimento médio.

### 6.3.2 Densidade de espaçadores e o menor cobrimento lido

O menor cobrimento de cada uma das distribuições está associado com a densidade de espaçadores utilizada, de acordo com o que é visto na Figura 47.

Figura 47 – Relação entre o menor cobrimento e a densidade de espaçadores



(fonte: elaborado pelo autor)

A Figura 47 demonstra a dificuldade em se garantir o cobrimento mínimo. Analisando os menores valores de cobrimentos lidos observa-se que para a laje L6 e para a laje L4 se conseguiu aumentar os menores valores de cobrimento aumentando a densidade de espaçadores, inclusive

superando os 15 mm indicados para a tolerância de execução de 10 mm indicada na NBR 6118 (ABNT, 2014).

Porém, o comportamento das lajes L5 e L123 não foi semelhante aos das anteriormente descritas. A laje L5 mostrou a mesma tendência que havia apresentado para o cobrimento médio, não conseguindo aumentar a menor espessura de cobrimento lida mesmo com uma alta densidade de espaçadores. Já a laje L123, contrariando a tendência apresentada no cobrimento médio, obteve menores espessuras de menor cobrimento usando uma maior densidade de espaçadores. Esse efeito na laje L123 mostra o quanto é difícil prever uma distribuição de espaçadores capaz de garantir que todos os valores de cobrimento são maiores que o cobrimento mínimo. Cabe lembrar que este problema não pode ser totalmente atribuído à distribuição dos espaçadores. Como foi visto no item 6.1, a garantia do cobrimento depende de outros fatores, como planicidade de formas e sobrecarga nas armaduras, devido ao depósito de materiais.

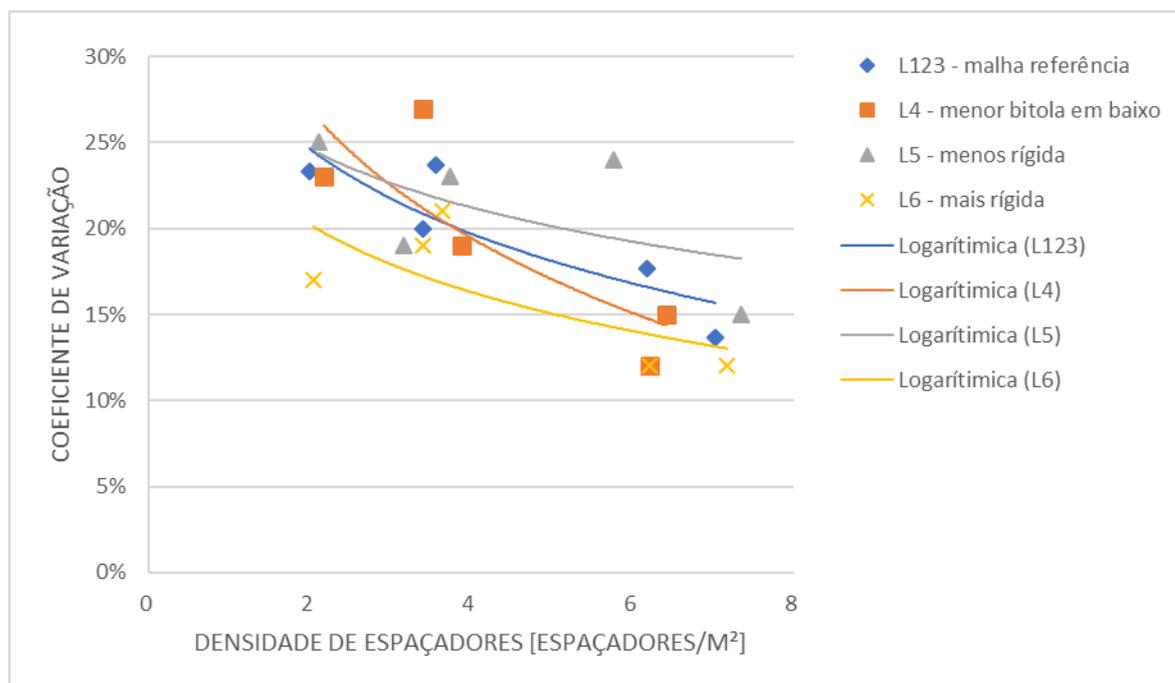
### **6.3.3 Densidade de espaçadores e o coeficiente de variação**

A relação entre os coeficientes de variação de cada laje com a densidade de espaçadores característica de cada distribuição é vista na Figura 48.

Com o aumento da quantidade de espaçadores, tende-se a diminuir o coeficiente de variação, elevando o nível de qualidade e controle de execução. A armadura mais rígida, laje L6, apresentou o melhor resultado. Já para baixas densidades de espaçadores a mesma se mostrava com  $CV = 20\%$ , e com 5 espaçadores por metro quadrado a tendência já atinge o valor de  $15\%$ , enquadrando-se no melhor patamar dado por Andrade (2001).

As armaduras de menor rigidez não tiveram suas tendências atingindo o valor  $15\%$  para as densidades de espaçadores testadas.

Figura 48 – Relação entre coeficiente de variação e densidade de espaçadores



(fonte: elaborado pelo autor)

### 6.3.4 Densidade de espaçadores e o atendimento às tolerâncias de execução

Como já foi visto, a tolerância de execução é um valor a ser acrescido no cobrimento mínimo no momento da especificação do cobrimento, como é visto na equação 1, ou seja, é o quanto a espessura de cobrimento pode diminuir no momento da execução para que o cobrimento mínimo seja respeitado. A norma brasileira e a maioria das normas estrangeiras permitem a utilização de tolerâncias de execução de espessura variável com o nível de controle de execução, prescrevendo um valor de tolerância normal para um nível comum de controle de execução e valores reduzidos de tolerância para um nível de controle intenso.

Na norma brasileira e nas demais analisadas, a tolerância de execução para um nível rigoroso de execução é de 5 mm. Para o nível normal, a norma brasileira indica que se use uma tolerância de execução maior do que 10 mm. Algumas normas estrangeiras prescrevem esse mesmo valor, porém no caso da norma britânica e da norma alemã, o valor padrão de tolerância parte de 15 mm.

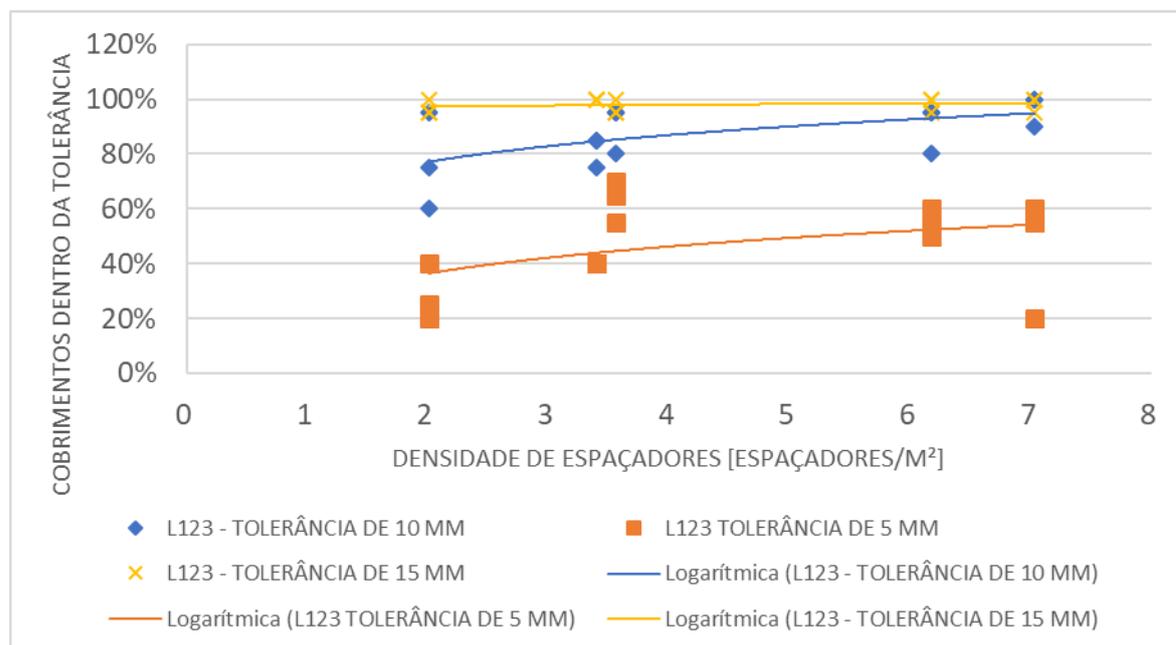
Entre as normas analisadas, a que apresenta a mais precisa definição de controle rigoroso de execução é a norma europeia, que indica que o controle deve incluir o monitoramento do cobrimento com um aparelho de medição de boa precisão, e assim permite utilizar o controle de execução de 5 mm.

Nessa pesquisa, em todos os pavimentos com distribuição controlada, utilizou-se o mais intenso controle de execução, definindo a distribuição de espaçadores a ser utilizada, orientando os operários na distribuição dos espaçadores e conferindo a mesma constantemente durante toda a execução. Além disso, se seguiu o prescrito na norma europeia, monitorando os cobrimentos com paquímetro antes da concretagem e pacômetro após a concretagem.

Encontrar uma distribuição que garanta o cobrimento mínimo também pode ser visto como encontrar uma distribuição que garanta que o cobrimento esteja dentro da tolerância de execução permitida. Tendo em vista essa problematização da tarefa, montou-se para cada uma das malhas de armadura a relação entre a densidade de espaçadores e os cobrimentos dentro de três tolerâncias de execução, 5 mm e 10 mm usuais no Brasil e 15 mm indicada pelas normas alemã e britânica.

A Figura 49 mostra, para a laje L123 de rigidez referência, que os cobrimentos que atendem à tolerância de execução de 5 mm não ultrapassam 60% dos valores lidos, mesmo na mais densa distribuição de espaçadores. Para a distribuição de menor densidade de espaçadores apenas 30% estariam dentro da tolerância de 5 mm.

Figura 49 – Relação entre os cobrimentos dentro da tolerância e a densidade de espaçadores para as lajes 1, 2 e 3.



(fonte: elaborado pelo autor)

A Figura 49 mostra, para a laje L123 de rigidez referência, que os cobrimentos que atendem à tolerância de execução de 5 mm não ultrapassam 60% dos valores lidos, mesmo na mais densa distribuição de espaçadores. Para a distribuição de menor densidade de espaçadores apenas 30% estariam dentro da tolerância de 5 mm.

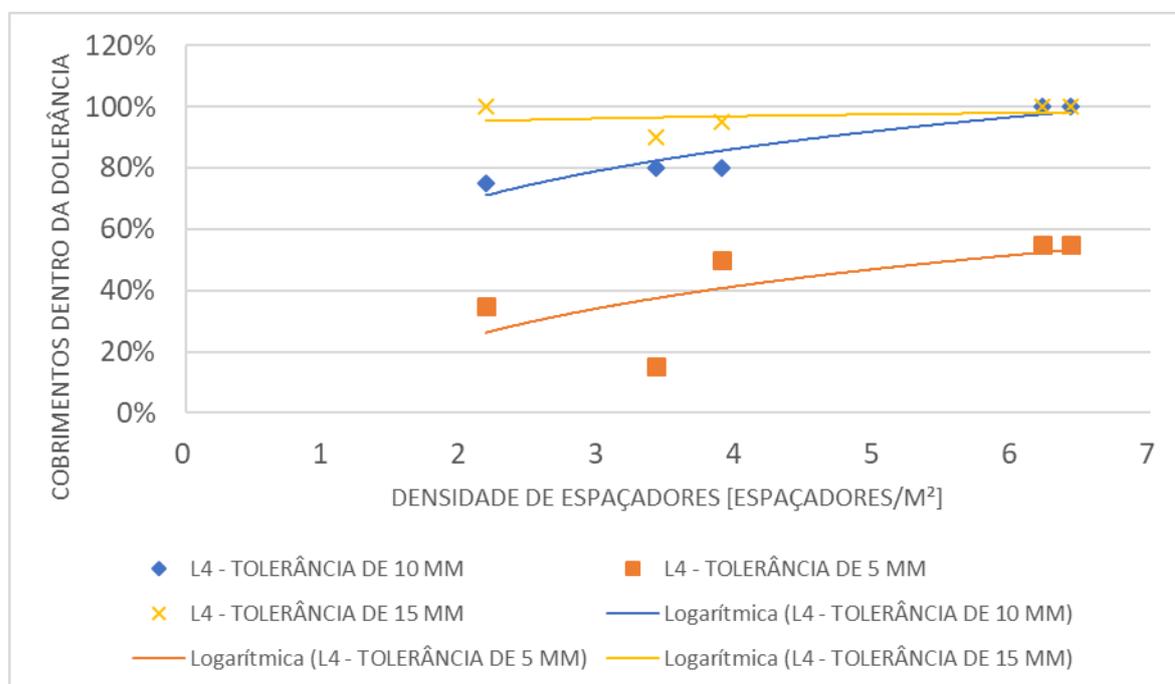
A tolerância de 10 mm se mostra mais viável do que a de 5 mm, porém a mesma ainda é insuficiente para quase todas as densidades de espaçadores, apenas utilizando as mais altas densidades de espaçadores o cobrimento mínimo tende a ser garantido. Para a mais baixa densidade de espaçadores, na distribuição de espaçadores alinhados a cada 80 cm, apenas 70% dos cobrimentos tendem a estar dentro da tolerância.

Já a tolerância de 15 mm se mostrou mais adequada para a situação, tendendo a garantir o cobrimento mínimo desde as mais baixas densidades de espaçadores.

A Figura 50 mostra que o comportamento da laje L4, de rigidez semelhante à da L123, é o mesmo anteriormente descrito. Destacando a total insuficiência da tolerância de 5 mm, independentemente da distribuição dos espaçadores, da tolerância de 10 mm tendendo a garantir o cobrimento mínimo em situações de grande densidade de espaçadores e a tolerância de 15

mm tendendo a garantir o cobrimento mínimo até mesmo para as baixas densidades de espaçadores.

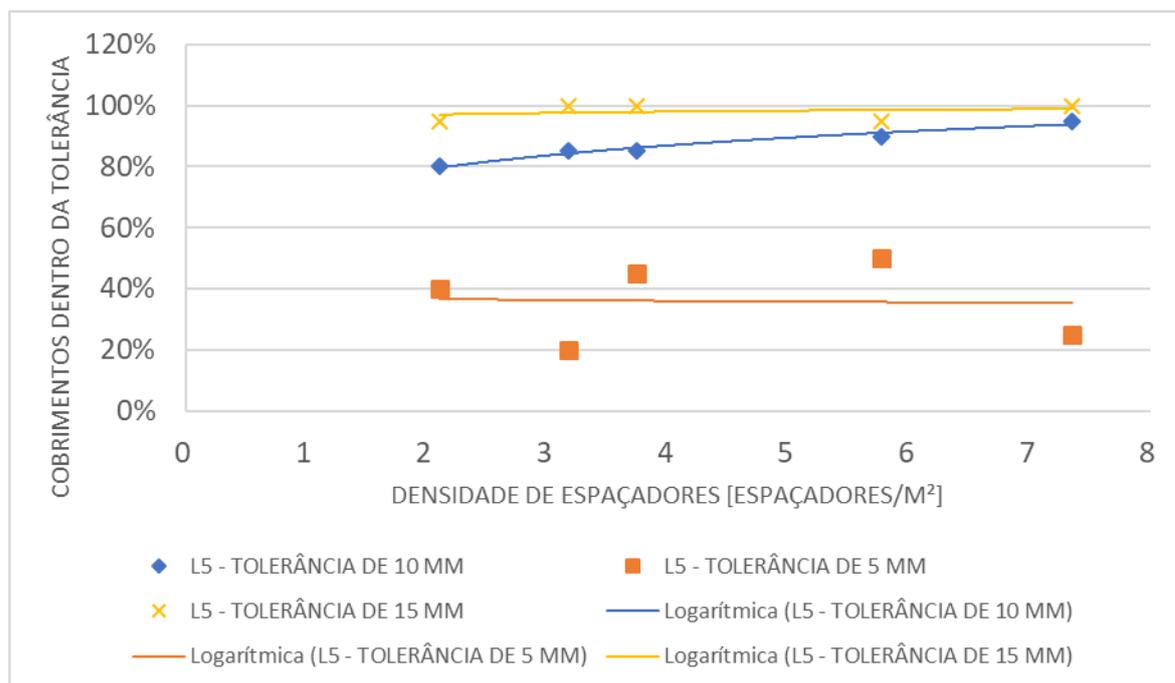
Figura 50 - Relação entre os cobrimentos dentro da tolerância e a densidade de espaçadores para a laje 4



(fonte: elaborado pelo autor)

Os resultados para a laje com armadura menos rígida L5, vistos na Figura 51, apontam um comportamento ainda insuficiente para a tolerância de 5 mm. Para as densidades mais baixas cerca de 40% dos cobrimentos estão dentro dessa tolerância apenas, e esse valor tende a não crescer mesmo na maior densidade de espaçadores. Na tolerância de 10 mm, para as baixas densidades de espaçadores a quantidade de cobrimentos dentro do intervalo é semelhante ao visto para as malhas referência, porém mesmo na mais alta densidade de espaçadores o cobrimento mínimo não consegue ser totalmente garantido. Novamente para a tolerância de 15 mm o cobrimento mínimo tende a ser garantido em baixas densidades de espaçadores.

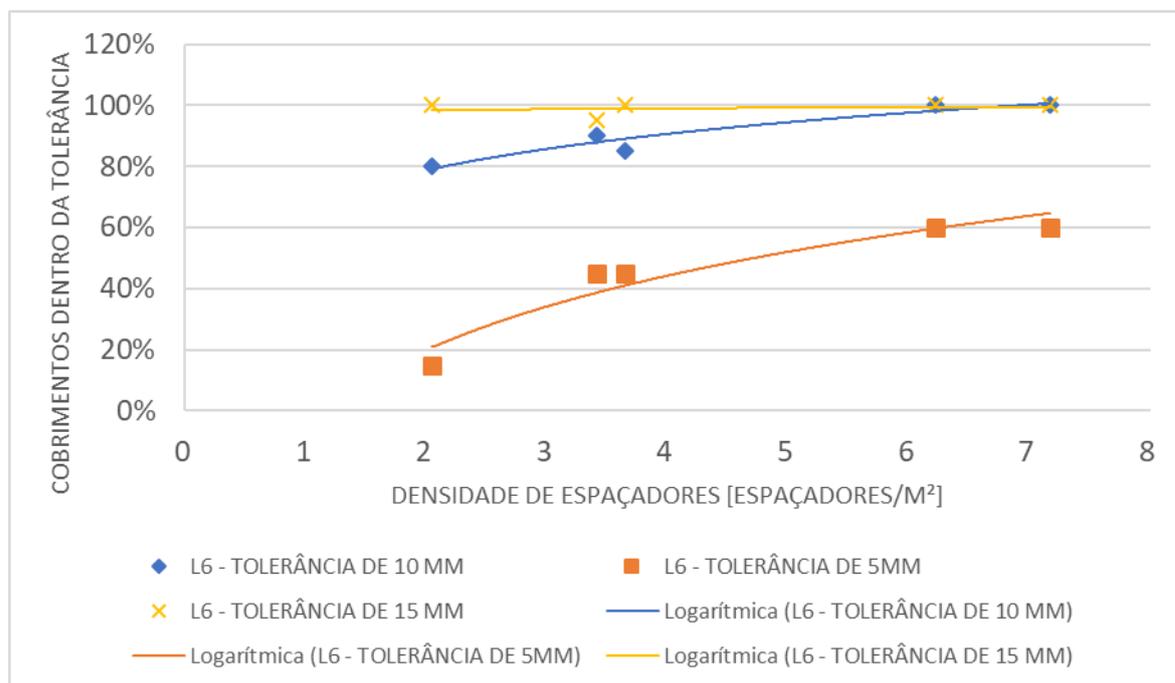
Figura 51 - Relação entre os cobrimentos dentro da tolerância e a densidade de espaçadores para a laje 5



(fonte: elaborado pelo autor)

Para a laje L6, que possui malha de maior rigidez, os resultados são muito semelhantes aos anteriores, como é visto na Figura 52. Mesmo com malhas formadas por barras de 10 e 8 mm, a tolerância de 5 mm não foi suficiente para a maioria dos cobrimentos lidos, que associados a maior densidade de espaçadores, ainda os cobrimentos dentro da tolerância tendem a valores próximos a 60%. Os cobrimentos dentro da tolerância de 10 mm seguem uma tendência muito próxima à da laje de rigidez referência, porém o cobrimento mínimo é garantido já em uma densidade de espaçadores ligeiramente mais baixa. Para a tolerância de 15 mm os resultados são os mesmos aos já apresentados, tendendo a garantir o cobrimento mínimo já em densidades muito baixas.

Figura 52 - Relação entre os cobrimentos dentro da tolerância e a densidade de espaçadores para a laje 6



(fonte: elaborado pelo autor)

Em suma, para todas as rigidezes de armadura apresentadas os resultados seguiram o mesmo padrão, com algumas pequenas variações. A tolerância de execução de 15 mm tende a garantir o cobrimento mínimo para todas as configurações de espaçadores testadas, isso a torna uma solução interessante para ser considerada em um nível normal de controle de execução, pois seria muito alta a chance de garantir o cobrimento mínimo.

A tolerância de 10 mm conseguiria, para baixas densidades de espaçadores, que cerca de 70% a 80% das espessuras de cobrimento fossem maiores do que o cobrimento mínimo, mas só tenderia a garantir que o cobrimento mínimo seja cumprido na sua totalidade quando a densidade de espaçadores for muito alta, nas últimas configurações testadas.

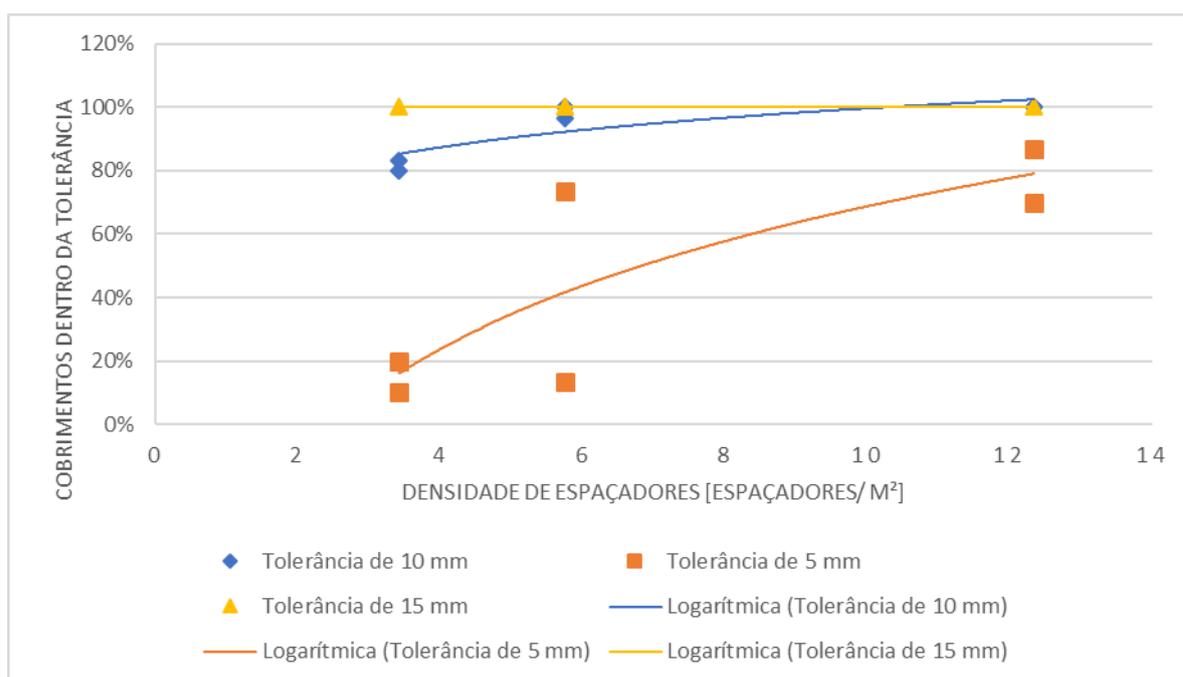
A tolerância de 5 mm se mostrou totalmente inadequada para qualquer um dos casos testados, para baixas densidades de espaçadores, apenas cerca de 20% a 40 % dos cobrimentos seriam maiores que os mínimos, e mesmo na mais alta das densidades a quantidade de cobrimentos maior que o mínimo não ultrapassa de 60%.

Cinco milímetros é um valor muito pequeno. Isso torna o atendimento ou não da tolerância muito sensível a qualquer imperfeição, falta de planicidade ou desalinhamento nas formas e as

deformações causadas por cargas indevidas nas armaduras, além de detalhes construtivos, como caixas de luz que rebaixam a armadura. A distribuição de espaçadores não consegue controlar esses problemas, sendo mais visíveis na tolerância de 5 mm, devido à grande sensibilidade da mesma.

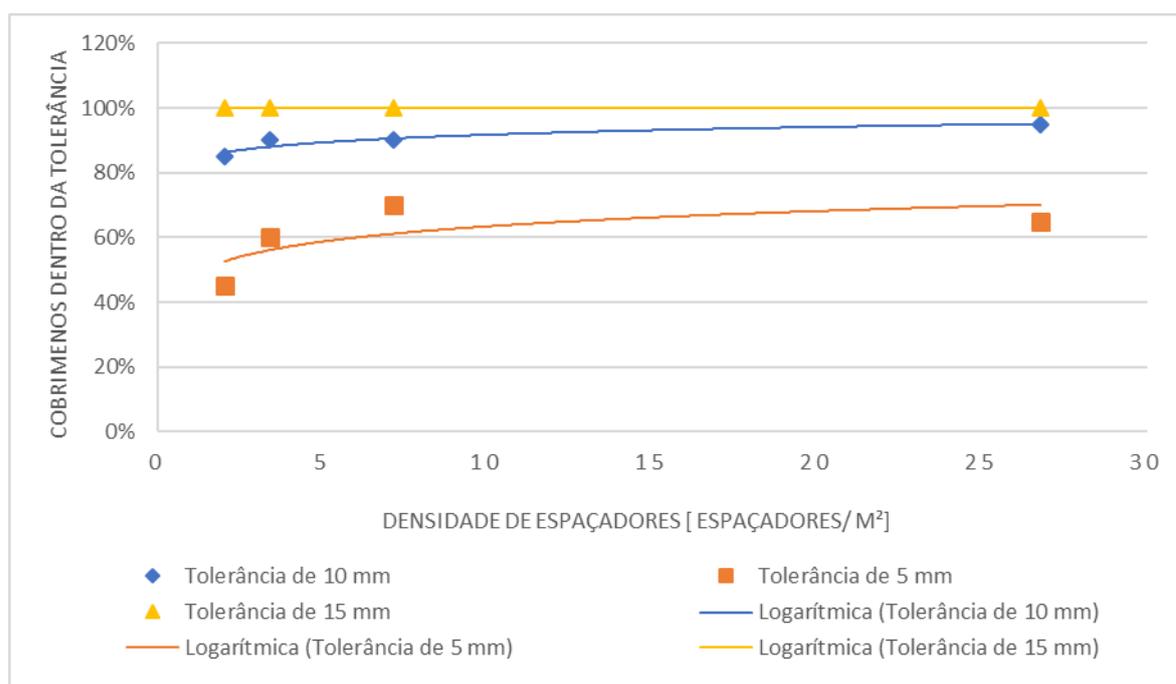
Realizando uma comparação com os resultados dos trabalhos anteriores que controlaram a distribuição de espaçadores, Maran *et al.* (2015) e Palm (2017), verifica-se que as tendências de atendimento as tolerâncias de 15 mm, 10 mm e 5 mm seguem o mesmo padrão visto nos resultados do presente trabalho. A Figura 53 mostra os resultados de Maran *et al.* (2015), que utilizou espaçador do tipo cadeirinha. Palm (2017) utilizou espaçadores do tipo multiapoio, como os utilizados no presente trabalho. A Figura 54 mostra o comportamento para as malhas de 5 mm e a Figura 55 para as de 6.3 mm.

Figura 53 – Resultados para as malhas de 5 mm de Maran *et al.* (2015).



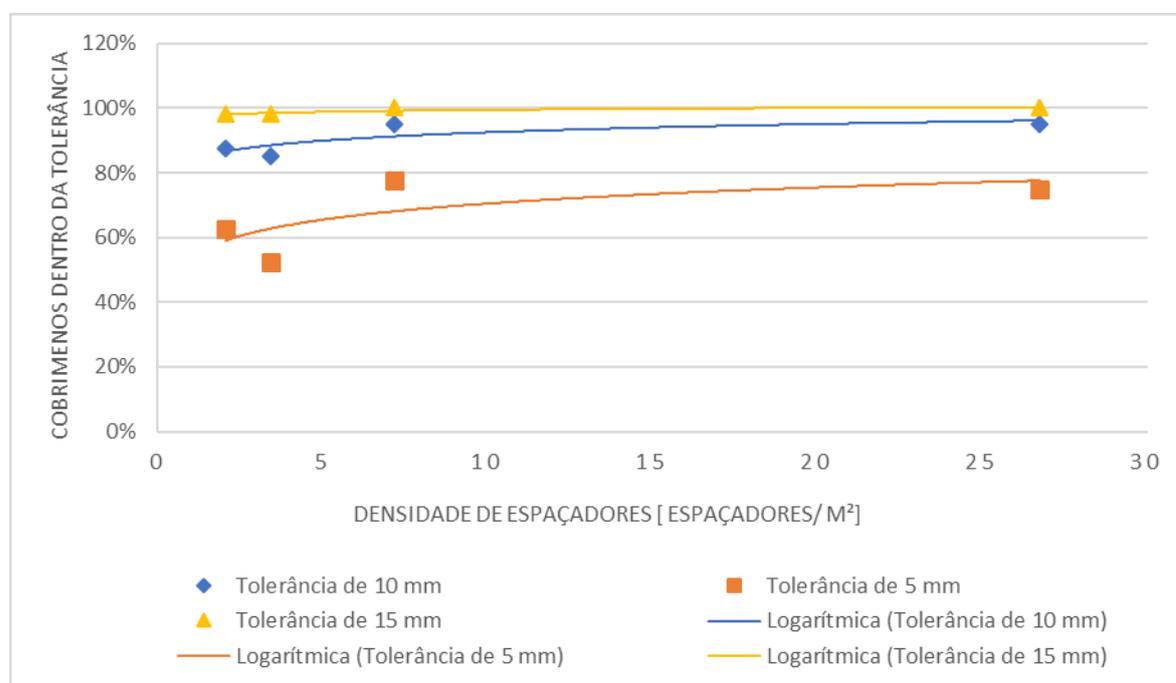
(fonte: elaborado pelo autor com base nos resultados de MARAN *et al.*, 2015)

Figura 54 – Resultados para as malhas de 5 mm do Palm (2017).



(fonte: elaborado pelo autor com base nos resultados de PAM, 2017)

Figura 55 – Resultados para as malhas de 6.3 mm do Palm (2017).



(fonte: elaborado pelo autor com base nos resultados de PAM, 2017)

Os resultados deixam claro a inadequação das tolerâncias de execução propostas pela ABNT NBR 6118. Entretanto, para alterar as recomendações normativas tais conclusões deveriam ser

confirmadas por um programa experimental mais amplo. Os resultados deste trabalho, em conjunto com os resultados dos trabalhos anteriores, sugerem uma possível proposição de alteração da norma brasileira NBR 6118, considerando as condições de execução similares às encontradas nos canteiros de obra objetos destes trabalho, ou seja, ausência de plataformas sobre as armaduras, operários trafegando livremente sobre as armaduras, equipamentos utilizados na concretagem apoiando-se diretamente sobre as armaduras:

- a tolerância de execução utilizada em casos normais de controle de execução teria como valor mínimo de 15 mm, assim como a DIN 1045-1 (2008) e a BS 8500 -1 (2006), pois mesmo com uma quantidade baixa de espaçadores há evidências de que o cobrimento mínimo seria atendido;
- para o controle rigoroso de execução permitir a tolerância de 10 mm, mas indicar que para se utilizar essa tolerância deve-se distribuir pelo menor 7 espaçadores por metro quadrado para malhas formadas por barras de 6.3 mm ou maiores, e 10 espaçadores por metro quadrado para malhas de 5 mm, além de uma supervisão rigorosa sobre a distribuição espacial dos espaçadores na laje;
- a tolerância de 5 mm deveria ser retirada da norma.

O estabelecimento de novos valores para a tolerância de cobrimento não supririam a necessidade de exigências normativas quanto à planicidade dos painéis dos sistemas de fôrmas e cimbramento e de espaço livre entre a borda inferior do eletroduto e a borda a ser fixada nas fôrmas das caixas de ponto de luz e de passagem dos sistemas de instalação elétrica predial.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da proposta inicial desta pesquisa, foi realizada uma revisão dos trabalhos semelhantes já realizados, desde aqueles que apontaram como as obras normalmente não conseguem atender ao cobrimento mínimo prescrito pela norma brasileira ABNT NBR 6118 (2014), até aqueles que testaram distribuições controladas de espaçadores. Não existir uma norma brasileira que prescreva como deve ser feita a distribuição dos espaçadores dificulta a atuação do engenheiro, que fica sem base técnica para melhor controlar o serviço.

A norma brasileira de execução de estruturas de concreto NBR 14931 (ABNT, 2004) apenas indica que os espaçadores devem ser distribuídos de forma que garantam o cobrimento mínimo. A norma brasileira de projeto de estruturas de concreto NBR 6118 (ABNT, 2004) indica as tolerâncias de execução que devem garantir a obtenção do cobrimento mínimo. Para situações normais de execução a mesma sugere a utilização de uma tolerância de execução maior ou igual a 10 mm, e caso se utilize um controle rigoroso de execução a tolerância permitida é de 5 mm.

Analisando as normas de projeto de estruturas de concreto de alguns países estrangeiros observa-se que algumas delas utilizam as mesmas tolerâncias de execução indicadas pela norma brasileira, como o caso da norma europeia e espanhola. Mas para a norma britânica e para a alemã o valor de tolerância de execução parte de 15 mm para um nível de controle normal.

A metodologia de coleta de dados utilizada neste trabalho prioriza a medição dos menores cobrimentos existentes em cada uma das lajes, pois os pontos onde se encontram os menores cobrimentos estão mais suscetíveis a iniciar a corrosão das armaduras.

Analisando um pavimento sem intervir na distribuição dos espaçadores, percebeu-se a falta de um padrão de distribuição dos espaçadores, com os mesmos sendo distribuídos aleatoriamente e em pequena quantidade, cerca de 1,66 espaçadores por metro quadrado, distribuídos espaçados desde 60 cm até 110 cm. Comparando os cobrimentos obtidos com os valores permitidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014) percebe-se que apenas 66% dos cobrimentos medidos estão dentro da tolerância de execução de 10 mm, e somente 37% estão dentro da tolerância de 5 mm.

Analisando as normas internacionais que prescrevem padrões de distribuição de espaçadores, como a EHE (2008) e a BS 7973-2 (2001), observa-se que as mesmas exigem um número muito maior de espaçadores ao que foi utilizado inicialmente pela obra. E analisando a planilha de orçamentação do SINAPI, tem-se que as composições também consideram a utilização de uma maior quantidade de espaçadores, próxima a 6,61 espaçadores para malhas de bitola 6,3 mm.

Os resultados para a tolerância de 10 mm nos pavimentos com distribuição de espaçadores controladas melhoraram com o aumento da densidade de espaçadores, porém para a tolerância de 5 mm os resultados oscilaram muito em torno de um valor baixo de cobrimentos conformes.

Na distribuição de espaçadores alinhados a cada 80 cm, que se utilizou cerca de 2,06 espaçadores por metro quadrado, resultando em 77% de cobrimentos dentro da tolerância de 10 mm, mas apenas 29% dos cobrimentos dentro da tolerância de 5 mm, menos ainda do que na distribuição não controlada. Para a distribuição de espaçadores alinhados a cada 60 cm, que utilizou cerca de 3,37 espaçadores por metro quadrado, 81% dos cobrimentos ficaram dentro da tolerância de 10 mm e 33% dentro da tolerância de 5 mm. Para a distribuição de espaçadores escalonados a cada 80 cm, que utilizou cerca de 3,66 espaçadores por metro quadrado, 87% dos cobrimentos ficaram dentro da tolerância de 10 mm e 55% dentro da tolerância de 5 mm.

Para as distribuições com maiores densidades de espaçadores, conseguiu-se melhores resultados. Com espaçadores escalonados a cada 60 cm, utilizando cerca de 6,125 espaçadores por metro quadrado, 92% dos cobrimentos ficaram dentro da tolerância de 10 mm e 55% dentro da tolerância de 5 mm. E para os espaçadores alinhados a cada 40 cm, com cerca de 7,01 espaçadores por metro quadrado, 97% dos cobrimentos ficaram dentro da tolerância de 10 mm e somente 46% ficaram dentro da tolerância de 5 mm.

Mesmo utilizando o mais rigoroso controle de qualidade e uma alta densidade de espaçadores, os cobrimentos dentro da tolerância de 5 mm não ultrapassaram o valor de 55%. Para a tolerância de 10 mm, somente com uma alta densidade de espaçadores foi possível alcançar um número considerável de cobrimentos dentro da tolerância, e mesmo assim ainda não se pode garantir a sua totalidade, embora os 3% dos cobrimentos desconformes possam ser atribuídos aos fatores não controláveis pela distribuição de espaçadores, como a deformação dos espaçadores, desplanicidade de fôrmas e acúmulo de materiais pesados sobre as armaduras.

Mesmo assim os resultados mostram a total falta de coerência das tolerâncias de execução de cobrimento prescritas na norma brasileira.

Verificando o atendimento à tolerância de execução de 15 mm, que é prescrita pela norma britânica BS 8500-1 (2006) e pela norma alemã DIN 1045-1 (2008), percebe-se que mesmo para as mais baixas densidades de espaçadores testadas os cobrimentos já tendem a ser garantidos em sua totalidade, e seguem com os bons resultados para as maiores densidades de espaçadores.

Os resultados do presente trabalho, juntamente com os resultados dos trabalhos anteriores, Maran *et al.* (2015) e Palm (2017), convergem para a utilização de tolerâncias de execução diferentes das que são prescritas pela NBR 6118 (ABNT, 2014). Mesmo considerando que os resultados precisem ser validados por um trabalho experimental mais amplo antes de alterar um texto normativo, os mesmos sugerem que a tolerância de execução mais indicada para o nível normal de controle e o padrão usual de execução seria 15 mm, pois permitiria que mais facilmente o cobrimento mínimo fosse atingido em todos os pontos. E para o nível de controle rigoroso de execução, a tolerância poderia ser 10 mm, sendo permitida a adoção desse valor somente se for utilizada uma densidade de espaçadores maior do que 7 espaçadores por metro quadrado, em malhas formadas por barras de 6.3 mm e 10 espaçadores por metro quadrado para malhas de bitola 5,0 mm. Por fim a tolerância de execução de 5 mm deveria ter seu uso desautorizado pela norma, devido a evidências de não atendimento do cobrimento mínimo por mais rigoroso que seja o controle de execução.

A área de pesquisa em obtenção da espessura de cobrimento ainda carece de mais estudos. Após o trabalho finalizado, é possível perceber alguns aspectos interessantes a serem iniciados ou expandidos:

- a) realizar novos trabalhos experimentais, que abordem outras bitolas de armaduras e novas configurações e densidade de espaçadores de modo a aumentar o acervo sobre o assunto e possibilitar uma discussão de alteração dos textos normativos;
- b) analisar experimentalmente a influência da altura do espaçador nas deformações permanentes nas barras de aço;
- c) criar e implementar uma logística de trabalho que diminua a deformação das armaduras no momento da concretagem;

- d) realizar simulações computacionais que modelem fielmente os resultados experimentais.

## REFERÊNCIAS

ADAMATTI, D. S. **Análise da eficiência de espaçadores no concreto armado**: impacto da corrosão por íons cloreto em diferentes condições de exposição. 2016. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, UFRGS, Porto Alegre, 2016.

ALZYOUD, S.; WONG, H.; BUENFELD, N.R. Influence of reinforcement spacers on mass transport properties and durability of concrete structures. **Cement and Concrete Research**, v. 87, 2016.

ANDRADE, J. J. O. **Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão das armaduras**: iniciação por cloretos. 2001. Tese (Doutorado) – Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2001.

ANDRADE, J. J. O. **Durabilidade das estruturas de concreto armado**: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco. 1997. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: execução de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_.**NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho – parte1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_.**NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

BARBOSA, M. C. **Estimativa da vida útil de estrutura de concreto armado imediatamente após sua execução**. 2009. 195 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia.

BARNES, R.; ZHENG, T. Research on factors affecting concrete cover measurements. In: **The e-Journal of Nondestructive Testing**. Austrália, december 2008.

BRANDÃO, A.M.S. **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado**: aspectos relativos ao projeto. 1998. 137f. São Carlos. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). **BS 7973-2**: Spacers and chairs for steel reinforcement and their specification – Part 2: Fixing and application of spacer and chairs and tying of reinforcement. UK, 2001.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). **BS 8500-1**: Concrete – Complementary British Standard to BS EN 206-1 – Part 1: Method of specifying and guidance for the specifier. UK, 2006.

CAMPOS, D. de. **Cobrimento de armadura em estruturas de concreto armado**: análise comparativa entre valores antes, durante e depois da concretagem. 2013. 75f - Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto**: inspeção e técnicas eletroquímicas. 1997. 237f. Pini. 1ª Edição.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul**. 1998. 220 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings**. EM 1991-1.1 Brussels: CEN, 2004.

EUROPEAN PRESTANDARD (ENV). **DD ENV 13670-1: Execution of concrete structures – Part 1: Common**. UK, 2000.

GHIGGI, A. C. **A influência da distribuição de espaçadores no cobrimento de armaduras em estruturas de concreto armado**. 2018. 81f – Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil), Centro Universitário Univates, Lajeado, 2018.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em estruturas de concreto armado**. 1993. 231f. Tese (Livre Docência em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 1993.

HELENE, P. R. L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. 1986. 46 p. São Paulo. Pini. 1986.

HELENE, P. R. L. **Introdução a durabilidade no projeto de estruturas de concreto**. 1997. 57 p. Revista Ambiente Construído. Edição de Julho de 1997.

INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD (IBNORCA). **CBH 87: Hormigón armado: Estructuras de hormigón**. Bolivia, 1987.

INSTRUCCIÓN ESPAÑOLA DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL (EHE). **EHE 08 – Capítulos VII, XIII e XVII**. España, 2008.

MARAN, A. P. **Análise da influência de distribuição de espaçadores plásticos para garantir o cobrimento especificado em lajes de concreto armado**. 2015. 122p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

MARAN, A. P.; MENNA BARRETO, M. F. F.; ROHDEN, A. B.; DAL MOLIN, D. C. C.; MASUERO, J. R. Análise da espessura do cobrimento de armadura em lajes com diferentes distanciamentos entre espaçadores e pontos de amarração. **RIEM-IBRACON Structures and Materials Journal**, v. 8, n. 5, 2015.

MEDEIROS, M. H. F. **Contribuição ao Estudo da Durabilidade de Concretos com Proteção Superficial Frente à Ação de Íons Cloretos**. 2008. 218 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. R. L. **Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto**. Concreto: ciência e tecnologia. São Paulo. IBRACON. 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2 ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

MENNA BARRETO, M. F. F. **Avaliação de desempenho de espaçadores plásticos: proposição e avanço de métodos de avaliação**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2014.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 18: Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção**. 2015

NORMENAUSSCHUSS BAUWESEN (NABau). **DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion**. Deutschland, 2008.

OLIVEIRA, A. B. **Cobrimento de armaduras de estruturas de concreto armado: levantamento de critérios adotados na utilização de espaçadores**. 2014. 88f - Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

PALM, V. **Análise experimental da influência da distribuição de espaçadores em lajes de concreto armado, quanto à espessura de cobrimento**. 2017. 69f - Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, O. S. P. da. **Cobrimento de armaduras em estruturas de concreto armado: análise comparativa entre o valor especificado em projeto e o em execução em obras na cidade de Porto Alegre**. 2012. 84f - Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL (SINAPI). **SINAPI-08: Planilha de orçamentação de obras públicas: Composições 92767 – 92772**. Brasil, 2018.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL (SINAPI). **CT SINAPI: Cadernos técnicos de composições para armação de estruturas de concreto armado: Lote 1 Brasil**, 2018.

TIGRE. **Catálogo técnico eletricidade: orientações técnicas sobre instalações de eletricidade**, disponível em: <https://www.tigre.com.br/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/ct-eletricidade.pdf>. Acesso em 15/11/2018.

VAQUERO, Julio. Separadores para hormigón estructural. **Zuncho** n13. Septiembre. 2007.

WEBER, L. F. L. **Cobrimento de armaduras em estruturas de concreto armado**: análise comparativa entre os valores projetados e executados nas obras do vale do Taquari. 2014. 97f – Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil), Centro Universitário Univates, Lajeado, 2014.

**APÊNDICE A – Resultados de cobrimento antes da concretagem no  
pavimento sem controle de espaçadores**

Cobrimento						
Leitura	L1	L2	L3	L4	L5	L6
1	14	17	20	19	15	22
2	13	20	16	19	22	25
3	16	19	24	20	22	22
4	20	20	23	22	21	18
5	19	18	24	22	20	24
6	18	21	20	24	8	24
7	15	26	19	18	12	18
8	25	23	14	23	22	23
9	16	14	16	13	22	20
10	15	13	20	22	14	21
11	8	14	22	24	16	24
12	15	6	23	15	17	24
13	22	22	23	19	16	23
14	15	19	21	20	22	17
15	19	24	18	26	19	19
16	19	23	28	21	20	18
17	19	23	21	21	22	24
18	17	22	19	20	22	22
19	20	22	19	24	24	21
20	16	23	16	16	22	27
21	22	17	22	18	23	20
22	19	22	20	7	20	20
23	19	20	23	14	24	24
24	29	21	18	22	20	21
25	19	20	15	20	28	18
26	20	26	13	20	18	18
27	19	20	18	14	16	20
28	14	20	16	21	12	19
29	23	21	21	16	21	24
30	21	20	20	24	18	20

**APÊNDICE B – Resultados de cobrimento depois da concretagem no  
pavimento sem controle de espaçadores**

Cobrimento						
Leitura	L1	L2	L3	L4	L5	L6
1	15	14	10	14	12	14
2	21	15	22	19	14	21
3	23	19	10	17	18	23
4	12	15	13	19	9	23
5	11	15	15	11	22	14
6	14	17	17	8	22	27
7	16	19	20	16	15	21
8	22	23	23	18	10	19
9	21	24	22	23	13	17
10	16	20	24	20	14	16
11	21	16	19	23	11	22
12	23	24	22	22	20	23
13	13	18	23	21	9	22
14	14	21	23	18	17	11
15	17	12	18	20	15	20
16	6	18	15	10	21	12
17	7	13	20	10	8	17
18	13	7	20	13	12	21
19	14	20	11	12	19	19
20	9	14	24	19	23	11

**APÊNDICE C – Resultados de cobrimento antes da concretagem, alinhado  
a cada 80 cm**

Cobrimento						
Leituras	L1	L2	L3	L4	L5	L6
1	19	16	17	16	19	16
2	21	19	23	25	19	10
3	23	21	19	18	17	19
4	20	23	25	22	23	20
5	21	18	16	21	23	20
6	18	23	21	22	20	20
7	20	18	25	20	21	20
8	22	22	23	20	23	21
9	17	18	22	22	13	26
10	22	22	21	14	25	22
11	24	23	26	21	20	21
12	21	21	20	17	21	24
13	24	20	21	16	21	19
14	20	24	24	23	14	21
15	19	20	19	24	24	22
16	23	21	21	21	26	17
17	24	14	27	25	15	22
18	23	20	16	20	17	16
19	22	19	20	23	25	15
20	21	17	23	11	22	20

**APÊNDICE D – Resultados de cobrimento depois da concretagem alinhado  
a cada 80 cm**

Cobrimento						
Leituras	L1	L2	L3	L4	L5	L6
1	19	16	16	17	19	15
2	23	19	22	19	21	16
3	22	21	12	19	7	15
4	19	17	18	16	22	14
5	17	12	10	20	22	19
6	20	18	12	13	16	18
7	24	17	16	24	15	20
8	15	15	12	11	11	19
9	17	17	23	20	17	14
10	18	24	9	17	17	17
11	18	24	15	22	21	19
12	23	11	17	13	21	23
13	15	19	19	16	19	16
14	22	20	21	22	16	18
15	17	11	10	18	11	10
16	21	14	13	18	14	14
17	15	13	25	11	19	21
18	23	18	17	21	23	16
19	9	20	17	21	21	16
20	18	15	14	11	22	19

**APÊNDICE E – Resultados de cobrimento antes da concretagem  
espaçadores escalonados a cada 80 cm**

Cobrimento						
leituras	L1	L2	L3	L4	L5	L6
1	21	22	22	24	21	27
2	27	22	23	18	22	21
3	24	30	28	22	22	25
4	22	24	21	24	23	26
5	23	19	24	20	29	23
6	22	20	23	19	26	26
7	19	27	25	25	24	24
8	24	24	23	27	21	26
9	24	27	18	22	24	19
10	21	27	20	23	22	25
11	25	25	18	22	24	21
12	19	22	25	21	21	21
13	21	23	19	22	20	24
14	23	21	24	21	23	19
15	16	23	22	25	18	21
16	28	22	24	16	24	24
17	25	24	25	23	23	22
18	24	26	25	23	22	22
19	24	24	24	22	21	23
20	23	23	22	24	22	22

**APÊNDICE F – Resultados de cobertura depois da concretagem  
espaçadores escalonados a cada 80 cm**

Cobrimento						
Leituras	L1	L2	L3	L4	L5	L6
1	18	22	21	20	15	21
2	21	15	24	18	20	10
3	22	19	18	23	18	21
4	24	24	15	23	15	23
5	24	17	19	16	26	20
6	23	22	20	22	14	18
7	4	24	23	11	26	18
8	19	26	23	13	22	22
9	24	18	21	23	21	13
10	21	22	13	22	18	16
11	21	22	16	18	12	19
12	19	20	11	13	22	20
13	23	24	16	15	15	18
14	23	17	24	18	16	15
15	19	4	21	24	14	18
16	22	22	13	6	20	13
17	23	23	22	20	21	20
18	21	22	12	22	22	22
19	18	21	21	19	19	18
20	19	24	26	21	17	23

**APÊNDICE G – Resultados de cobrimento antes da concretagem  
espaçadores alinhados a cada 60 cm**

Cobrimento						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
1	22	16	20	22	23	24
2	21	21	26	18	21	18
3	23	30	21	21	24	22
4	25	21	21	21	22	21
5	29	20	25	21	21	22
6	21	21	22	20	26	23
7	20	27	19	20	19	19
8	21	22	19	21	20	17
9	23	21	19	20	21	25
10	20	23	26	22	24	22
11	20	22	20	21	22	24
12	18	23	24	23	27	24
13	19	23	21	22	19	22
14	21	20	13	19	23	25
15	19	22	23	19	18	20
16	27	23	19	19	18	25
17	24	20	21	22	20	22
18	18	21	20	23	24	24
19	24	20	21	23	20	20
20	26	21	19	14	22	23

APÊNDICE H – Resultados de cobrimento depois da concretagem espaçadores alinhados a cada 60 cm

Cobrimento						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
1	16	15	21	18	20	15
2	18	21	20	9	15	17
3	23	21	21	19	20	15
4	13	22	21	18	16	9
5	22	17	25	13	18	20
6	16	16	19	20	23	21
7	20	27	11	19	10	19
8	17	21	20	21	17	15
9	21	18	18	15	16	20
10	20	14	20	17	17	20
11	18	16	18	19	16	18
12	21	23	21	10	18	21
13	14	12	14	21	10	19
14	19	16	12	13	15	25
15	16	21	18	17	17	13
16	13	13	12	18	14	20
17	15	17	15	15	16	19
18	17	18	16	8	20	22
19	25	16	17	11	16	19
20	20	20	14	10	17	20

**APÊNDICE I – Resultados de cobrimento antes da concretagem  
espaçadores escalonados a cada 60 cm**

Cobrimento						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
1	21	21	23	20	24	28
2	23	23	24	22	23	24
3	22	25	24	25	26	22
4	29	23	24	23	24	20
5	23	20	20	20	24	19
6	21	26	26	25	20	22
7	18	15	24	24	24	21
8	26	24	22	25	22	27
9	24	23	23	23	22	23
10	23	22	22	19	22	26
11	22	24	23	23	24	21
12	25	25	23	22	24	25
13	24	24	26	25	23	21
14	21	22	24	23	25	25
15	22	21	23	22	22	22
16	25	21	26	27	23	27
17	24	23	26	28	22	26
18	24	24	27	24	22	24
19	21	24	25	21	23	20
20	28	31	20	28	22	21

**APÊNDICE J – Resultados de cobrimento depois da concretagem  
espaçadores escalonados a cada 60 cm**

Cobrimento						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
1	15	20	20	19	22	24
2	23	20	23	18	20	24
3	19	21	20	18	19	19
4	25	21	23	23	22	20
5	20	19	17	15	20	17
6	19	22	24	20	15	21
7	17	13	19	16	19	19
8	24	24	9	21	4	23
9	19	22	19	19	22	23
10	21	13	17	16	20	23
11	13	18	22	21	20	19
12	22	18	19	18	15	18
13	20	22	19	20	17	20
14	17	13	23	20	15	23
15	21	15	22	21	20	19
16	21	20	17	20	23	24
17	20	15	19	24	16	23
18	17	20	24	19	16	22
19	21	12	24	20	13	17
20	23	18	20	22	21	18

**APÊNDICE K – Resultados de cobrimento antes da concretagem  
espaçadores alinhados a cada 40 cm**

Cobrimento						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
1	22	20	23	24	22	24
2	18	23	24	23	20	24
3	23	24	24	25	20	25
4	28	23	25	25	23	25
5	16	21	27	27	24	24
6	16	20	23	23	22	23
7	22	20	21	23	20	23
8	22	24	22	28	20	25
9	21	22	18	24	23	24
10	20	23	27	21	22	24
11	23	24	23	18	17	24
12	24	23	21	20	21	25
13	19	24	23	21	19	24
14	22	22	21	27	21	24
15	22	21	24	24	24	16
16	24	23	25	24	23	20
17	19	19	25	22	19	25
18	22	20	25	21	24	25
19	19	18	23	23	21	23
20	22	23	27	20	26	18

**APÊNDICE L – Resultados de cobrimento depois da concretagem  
espaçadores alinhados a cada 40 cm**

Cobrimento						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6
1	17	19	22	21	18	22
2	17	20	24	21	19	20
3	19	21	21	15	21	22
4	25	20	23	28	21	19
5	7	18	23	19	22	20
6	14	18	23	22	20	23
7	16	20	22	18	16	19
8	19	19	19	23	22	20
9	19	22	16	23	16	20
10	19	21	21	22	18	18
11	18	20	23	17	12	21
12	19	21	19	18	19	20
13	15	21	19	17	16	16
14	18	21	19	20	15	21
15	21	21	19	23	16	18
16	17	19	19	18	19	18
17	16	18	15	22	15	15
18	21	20	22	20	16	23
19	17	15	21	19	19	21
20	20	16	19	18	15	16