

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

**Avaliação de desempenho de espaçadores plásticos: proposição e
avanço de métodos de avaliação**

Maria Fernanda Fávero Menna Barreto

Porto Alegre
2014

Maria Fernanda Fávero Menna Barreto

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ESPAÇADORES
PLÁSTICOS: PROPOSIÇÃO E AVANÇO DE MÉTODOS DE
AVALIAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em
Engenharia.

Porto Alegre
2014

CIP - Catalogação na Publicação

MENNA BARRETO, MARIA FERNANDA FAVERO
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ESPAÇADORES PLÁSTICOS:
PROPOSIÇÃO E AVANÇO DE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO / MARIA
FERNANDA FAVERO MENNA BARRETO. -- 2014.
114 f.

Orientadora: DENISE CARPENA COITINHO DAL MOLIN.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, BR-
RS, 2014.

1. COBRIMENTO. 2. ESPAÇADORES. 3. DESEMPENHO. I.
DAL MOLIN, DENISE CARPENA COITINHO , orient. II.
Título.

MARIA FERNANDA FÁVERO MENNA BARRETO

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ESPAÇADORES
PLÁSTICOS: PROPOSIÇÃO E AVANÇO DE MÉTODOS DE
AVALIAÇÃO**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA, Construção, e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 18 de dezembro de 2014.

Prof. Denise Carpena Coitinho Dal Molin
Dra. pela USP
Orientadora

Prof. João Ricardo Masuero
Dr. pela UFRGS
Colaborador

Prof. Armando Miguel Awruch
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Angela Borges Masuero (UFRGS)
Dra. pela UFRGS

Prof. Jairo José de Oliveira Andrade (PUC)
Dr. pela UFRGS

Marina Martins Mennucci (UFRGS)
Dra. pela USP/Université Pierre et Marie Curie

Prof. Luciani Somensi Lorenzi (UFRGS)
Dra. pela UFRGS

Dedico este trabalho aos meus pais, José Luiz e Márcia Dalila, e a minha querida e amada vó Elza (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer meus pais por todo apoio e carinho dedicados a mim ao longo desta vida. Vocês são minha razão e inspiração.

Agradeço à minha família, em especial à minha querida e amada Vó Elza e Tia Marta, pelas orações e pensamentos positivos emanados ao longo desses quase dois anos.

Agradeço ao Carlos Rizzardi pela atenção, paciência e contribuição despendidos durante esta jornada.

Agradeço à Ana Paula Maran, minha querida amiga e parceira, por todos os momentos em que estivemos juntas, trabalhando ou descansando.

Agradeço a todos os amigos que acreditaram e torceram pela minha vitória, em especial a Raquel Zucchi, minha grande amiga e *housemate*.

Agradeço, imensamente, aos professores e orientadores que possibilitaram a realização deste trabalho, principalmente a Professora Denise Dal Molin, por não ter me deixado desistir, e o Professor João Masuero, por ter me atendido sempre com a maior atenção e presteza.

Agradeço, de modo geral, à família e equipe NORIE, pelo período maravilhoso que vivemos juntos. À Professora Angela Masuero, muito obrigada pelo carinho e atenção dedicados aos seus alunos, você é uma mãezona para todos nós. Ao Márlon Longhi, você foi nosso anjo da guarda, o bendito ao fruto entre as mulheres, obrigada pela paciência e zelo para conosco. Às gurias Ana Paula, Natalia, Ariane, Gabriela A., Rafaela S., Anile, Rafaela B., Gabriela R. Camila, muito obrigada por tudo, especialmente por terem me acolhido. Aos laboratoristas (Airton e Gilmar) e ao bolsista (Arthur), meu sincero agradecimento pelo auxílio que me deram no laboratório e pela confiança e amizade oferecida.

Agradeço à CAPES pela bolsa de estudos e ao auxílio financeiro dos meus pais, que possibilitou a minha total dedicação aos estudos para alcançar este título.

Agradeço à banca avaliadora pelas contribuições para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para eu ter conquistado mais esta etapa. Minha eterna gratidão a vocês. Muito obrigada. Que Deus os abençoe.

A sabedoria está em não se acreditar saber aquilo que não se sabe.

Sócrates

RESUMO

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.

A durabilidade de estruturas de concreto armado é altamente dependente das características do concreto de cobrimento das armaduras e sua espessura. O fracasso na obtenção do cobrimento é o fator de maior influência na corrosão prematura de armaduras que, por sua vez, é a principal forma de deterioração de estruturas de concreto armado. Pesquisas indicam que o cobrimento mínimo normatizado não tem sido alcançado em sua totalidade nas atuais obras que adotam esta solução estrutural, tratando-se de um problema crônico e não esporádico. Esta situação foi constatada através de um levantamento realizado *in loco* do cobrimento obtido em obras de Porto Alegre/RS e Cuiabá/MT. Dentre os elementos estruturais mais prejudicados, encontram-se as lajes e o fundo das vigas que, em determinadas ocasiões, apresentaram a totalidade dos valores medidos de cobrimento abaixo do valor mínimo especificado em norma. Uma das causas observadas para falha na obtenção do cobrimento mínimo normatizado é o uso incorreto de espaçadores e a utilização de espaçadores inadequados, bem como a falta de uma norma brasileira que regulamente o produto e seu uso e, conseqüentemente, a falta de certificação de qualidade pelo órgão responsável. Tendo este trabalho como foco o espaçador propriamente dito, foram propostos requisitos e critérios de desempenho para os espaçadores, assim como métodos para avaliação dos mesmos. A maioria dos requisitos e critérios propostos foram compilados e adaptados a partir de normas internacionais. Depois de estabelecidos os requisitos, critérios e métodos de avaliação, alguns espaçadores plásticos disponíveis no mercado foram efetivamente testados segundo a metodologia proposta. Nenhum modelo de espaçador avaliado provou-se satisfatório segundo a abordagem de desempenho estabelecida. Entretanto, ficou claro que os requisitos, critérios e métodos de avaliação propostos são adequados para avaliação de desempenho de espaçadores plásticos. Diante da diversidade de modelos e de desempenho dos espaçadores ofertados, ficou comprovada a necessidade de uma norma brasileira regulamentadora para este produto, a fim de balizar a qualidade dos espaçadores disponíveis no mercado e eliminar esta variável das causas da não obtenção do correto cobrimento. Desta forma, este trabalho visa colaborar com melhorias na questão da durabilidade de estruturas de concreto armado com foco na obtenção da correta espessura de cobrimento.

Palavras-chave: cobrimento; espaçadores; desempenho.

ABSTRACT

MENNA BARRETO, M. F. F. Performance evaluation of plastic spacers: proposition and advancement of evaluation methods. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

The reinforced concrete structures durability is highly dependent on the concrete cover to reinforcement characteristics and its thickness. The failure on achieving the specified cover thickness is the most influential factor in premature reinforcement corrosion, which is the main deterioration form of reinforced concrete structures. Researches indicate that the minimum standardized cover has not been completely achieved in current constructions that adopt this structural solution, which is a chronic problem and not sporadic. This situation was reaffirmed through a survey conducted *in loco* of the cover obtained in Porto Alegre/RS and Cuiabá/MT constructions. Among the most damaged structural elements are the slabs and beams bottom that, sometimes, showed one hundred percent probability of unsatisfactory standard cover levels. One of the failure causes observed to obtain the minimum standardized cover is the incorrect use of spacers and the use of inappropriate spacers, not to mention the lack of a Brazilian standard for regulating its manufacturing and, therefore, the lack of quality certification by the responsible agency. Having this work focused on the spacers themselves, requirements and performance criteria for the spacers, as well as methods for their evaluation, were proposed. Most of them were compiled and adapted from international standards. After established the requirements, criteria and evaluation methods, some plastic spacers available in the market were effectively tested according to the proposed methodology. No model spacers evaluated proved to be satisfactory according to the established performance approach. However, it was clear that any requirements, criteria and set evaluation methods can be satisfied. Given the diversity of spacers models and offered performances, it has been stated the need for a Brazilian regulatory standard for this product, in order to gauge the quality of the ones commercially available and to eliminate this variable among the causes of failure in obtaining the correct cover. Thus, this work aims to collaborate with improvements on the durability issue of reinforced concrete structures with a focus on getting the right cover thickness.

Key-words: cover to reinforcement; spacers; performance.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	OBJETIVOS	23
1.2	DELIMITAÇÕES	24
1.3	ESTRUTURA GERAL.....	24
2	ESPAÇADORES	26
2.1	CLASSIFICAÇÃO DOS ESPAÇADORES.....	26
2.1.1	Função	26
2.1.2	Formato.....	27
2.1.3	Material utilizado na sua fabricação	28
2.2	ESPAÇADORES INDUSTRIALIZADOS	31
2.2.1	Cobrimento proporcionado.....	32
2.2.2	Qualidade do produto	32
2.2.3	Quantidades e disposição na execução (aplicação)	33
2.2.4	Requisitos complementares	34
3	IMPORTÂNCIA DO USO DE ESPAÇADORES	35
3.1	FUNCIONAMENTO ESTRUTURAL.....	35
3.2	DURABILIDADE	37
3.3	ANÁLISE CRÍTICA EM RELAÇÃO ÀS PRESCRIÇÕES NORMATIVAS	43
4	LEVANTAMENTO DOS COBRIMENTOS DE CONCRETO EXECUTADOS EM OBRA	45
4.1	METODOLOGIA	45
4.1.1	Informações das obras	46
4.1.2	Coleta dos dados.....	47
4.2	RESULTADOS	49
4.2.1	Informações obtidas.....	49
4.2.2	Coleta dos dados.....	51

5	DESEMPENHO	57
5.1	ABORDAGEM DE DESEMPENHO	57
5.2	DESEMPENHO DOS ESPAÇADORES	58
5.2.1	Requisitos e critérios de desempenho.....	59
5.2.1.1	Dimensionais	60
5.2.1.2	Identificação.....	61
5.2.1.3	Fixação.....	62
5.2.1.4	Estabilidade.....	63
5.2.1.5	Capacidade de carga	63
5.2.1.6	Aplicação	64
6	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO.....	65
6.1	DOS REQUISITOS DIMENSIONAIS	65
6.2	DO REQUISITO IDENTIFICAÇÃO.....	66
6.3	DO REQUISITO FIXAÇÃO	67
6.4	DO REQUISITO ESTABILIDADE.....	68
6.5	DO REQUISITO CAPACIDADE DE CARGA	69
6.6	DO REQUISITO APLICAÇÃO.....	71
6.7	VALIDAÇÃO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS ESPAÇADORES	72
7	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	76
7.1	POR REQUISITOS	76
7.1.1	Dimensionais	76
7.1.2	Identificação	79
7.1.3	Fixação	80
7.1.4	Estabilidade	83
7.1.5	Capacidade de carga	85
7.1.6	Aplicação.....	88

7.2	POR FABRICANTES	91
7.2.1	Fabricante A	91
7.2.2	Fabricante B.....	93
7.2.3	Fabricante C.....	95
7.2.4	Fabricante D	96
7.2.5	Fabricante E.....	97
7.2.6	Fabricantes desconhecidos	98
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
8.1	CONCLUSÕES	101
8.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	102
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Organograma da pesquisa.....	23
Figura 2 - Espaçador utilizado para separar armadura da fôrma.	26
Figura 3 – Espaçador utilizado para separar armaduras entre si (http://www.maisplastico.com.br/).	27
Figura 4 - Espaçador de fôrmas (http://www.coplas.com.br/).	27
Figura 5 - Espaçadores plásticos: a) tipo circular; b) tipo cadeirinha; c) tipo multiapoio.....	28
Figura 6 - Espaçadores metálicos treliçados (www.fameth.com.br).	29
Figura 7 - Espaçador metálico tipo caranguejo (DENARDI et al, 2011).	29
Figura 8 - Espaçador tipo cocadinha (PEIXOTO e GOMES, 2007).	30
Figura 9 - Espaçadores de argamassa (construironline.dashofer.pt).	30
Figura 10 – Análise de sensibilidade a erros de execução em lajes: camada de cobrimento (BENEDETTI, 2013).	36
Figura 11 – Análise de sensibilidade em vigas: camadas de cobrimento em flexão (BENEDETTI, 2013).	36
Figura 12 - Importância do cobrimento na proteção da estrutura contra substâncias agressivas (adaptado de ROSTAM, 2005).	38
Figura 13 – Influência da espessura de cobrimento na vida útil devido a: a) penetração por cloreto (ANDRADE, 2001); b) ação da carbonatação (POSSAN, 2010).	39
Figura 14 – Proposição do cobrimento para estruturas de concreto armado.	44
Figura 15 - Medição do cobrimento das armaduras positivas em fundo de laje com auxílio de pacômetro.	48
Figura 16 – Medição de cobrimento das vigas: a) lateral da viga; b) fundo da viga.	49

Figura 17- Medição do cobrimento de pilar: a) base; b) meio; c) topo.	49
Figura 18- Deslocamento da armadura dentro do elemento estrutural.....	53
Figura 19 - Distribuição normal: a) diagrama de frequências relativas (histograma) dos cobrimentos efetivos das laterais de vigas da obra 4; b) gráfico de distribuição normal com indicativo das áreas referentes aos valores de cobrimento.	53
Figura 20 - Concretagem de pilares, vigas e lajes por bombeamento do concreto: a) carregamento do mangote sobre a laje; b) espalhamento e vibração do concreto.....	59
Figura 21 - Exemplo de um espaçador com duas possíveis posições de aplicação (VAQUERO, 2007).	60
Figura 22 – Desenho explicativo do requisito de desempenho dimensional, dimensões mínimas.	61
Figura 23 – Identificação: a) dimensão do cobrimento no produto; b) cores distintas entre espaçadores.....	62
Figura 24 – a) Espaçador do mesmo fabricante, do mesmo tipo, e do mesmo modelo, porém com cobrimentos diferentes: b) espaçador para cobrimento de 25 mm; c) espaçador para cobrimento de 20 mm.	62
Figura 25 - Espaçadores que se soltaram da armadura, não desempenhando mais a sua função.	63
Figura 26 – Espaçador tombado durante um concretagem.....	63
Figura 27 - Deformação do espaçador diante da carga em serviço.	64
Figura 28 - Método de avaliação do desempenho físico: a) em espaçadores tipo cadeirinha; b) em espaçadores circulares.	66
Figura 29 - Medição das dimensões dos espaçadores tipo cadeirinha: a) medida paralela ao posicionamento da barra; b) medida perpendicular ao posicionamento da barra; c) medida do centro de apoio do espaçador circular.	66

Figura 30 - Representação esquemática do ensaio de fixação do espaçador (CEB, 1990 e BS 7973-1, 2001).	67
Figura 31 – Requisitos geométricos de estabilidade de espaçadores com fixadores integrados (CEB, 1990 e BS 7973-1, 2001): a) raio de rotação paralelo à barra de aço; b) raio de rotação paralelo à barra de aço; c) raio de rotação perpendicular à barra de aço; d) largura do apoio central de espaçadores circulares.....	68
Figura 32 - Ensaio de capacidade de carga: a) em espaçadores circulares; b) em espaçadores cadeirinha.....	69
Figura 33 - Aparato para teste de capacidade de carga (CEB, 1990 e BS 7973-1, 2001).....	70
Figura 34 - Ensaio de aplicação do espaçador à barra de aço: a) em espaçadores circulares; b) em espaçadores cadeirinha.	71
Figura 35 - Fabricante A: a) modelo A1; b) modelo A2; c) modelo A3.	72
Figura 36 - Fabricante B: a) modelo B1; b) modelo B2; c) modelo B3; d) modelo B4; e) modelo B5.	73
Figura 37 - Fabricante C: a) modelo C1; b) modelo C2; c) modelo C3; d) modelo C4.....	73
Figura 38 - Fabricante D: a) modelo D1; b) modelo D2; c) modelo D3.	74
Figura 39 - Fabricante E: a) modelo E1; b) modelo E2; c) modelo E3.....	74
Figura 40 - Fabricantes desconhecidos: a) modelo X1; b) modelo X2; c) modelo X3; d) modelo X4; e) modelo X5; f) modelo X6; g) modelo X7; h) modelo X8; i) modelo X9; j) modelo X10.	75
Figura 41 - Espaçadores que satisfazem o requisito identificação.	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estudo comparativo entre espaçadores plásticos e pastilhas de argamassa.	32
Tabela 2 - Distanciamento dos espaçadores.	34
Tabela 3 - Classe de agressividade ambiental.	40
Tabela 4 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.	40
Tabela 5 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm.	41
Tabela 6 – Redução do cobrimento permitido por norma.	42
Tabela 7 – Critérios de classificação dos cobrimentos obtidos nos levantamentos.	45
Tabela 8 – Classificação das obras segundo o nível de controle apresentado.	50
Tabela 9 – Informações das obras participantes da pesquisa.	50
Tabela 10 – Valores mínimos e máximos, em mm, dos cobrimentos executados medidos em obra após concretagem.	52
Tabela 11 - Resumo dos cobrimento executados medidos em obra após concretagem.	52
Tabela 12 – Proposta de classificação do coeficiente de variação da espessura de cobrimento às armaduras, em função do controle empregado na execução.	53
Tabela 13 - Probabilidade de ocorrência de valores insatisfatórios.	54
Tabela 14 - Probabilidade de ocorrência de valores satisfatórios.	55
Tabela 15 - Probabilidade de ocorrência de valores insatisfatórios levando em consideração o deslocamento da armadura dentro do elemento estrutural.	56
Tabela 16 – Parâmetros dimensionais para o requisito dimensões mínimas.	66
Tabela 17 - Parâmetros para o valor da carga máxima aplicada no ensaio do método de avaliação do requisito capacidade de carga.	70

Tabela 18 - Resultados da avaliação do requisito dimensional dos espaçadores de formato cadeirinha dos Fabricantes A, B e C.....	76
Tabela 19 - Resultados da avaliação do requisito dimensional dos espaçadores de formato cadeirinha do Fabricante E e dos Fabricantes desconhecidos.	77
Tabela 20 - Resultados da avaliação do requisito dimensional dos espaçadores de formato circular dos Fabricantes A, B e C.	78
Tabela 21 - Resultados da avaliação do requisito dimensional dos espaçadores de formato circular dos Fabricantes D, E e Fabricantes desconhecidos.	78
Tabela 22 - Resultados da avaliação do requisito dimensional dos espaçadores de formato multiapoio dos Fabricantes C, D, E e Fabricantes desconhecidos.	79
Tabela 23 - Resultados da avaliação do requisito fixação dos espaçadores de formato cadeirinha dos Fabricantes A, B e C.....	80
Tabela 24 - Resultados da avaliação do requisito fixação dos espaçadores de formato cadeirinha do Fabricante E e dos Fabricantes desconhecidos.	81
Tabela 25 - Resultados da avaliação do requisito fixação dos espaçadores de formato circular dos Fabricantes A, B e C.	81
Tabela 26 - Resultados da avaliação do requisito fixação dos espaçadores de formato circular dos Fabricantes D, E e Fabricantes desconhecidos.	82
Tabela 27 - Resultados da avaliação do requisito fixação dos espaçadores de formato multiapoio dos Fabricantes C, D, E e Fabricantes desconhecidos.	82
Tabela 28 - Resultados da avaliação do requisito estabilidade dos espaçadores de formato cadeirinha dos Fabricantes A, B e C.....	83
Tabela 29 - Resultados da avaliação do requisito estabilidade dos espaçadores de formato cadeirinha do Fabricante E e dos Fabricantes desconhecidos.	83
Tabela 30 - Resultados da avaliação do requisito estabilidade dos espaçadores de formato circular dos Fabricantes A, B e C.	84

Tabela 31 - Resultados da avaliação do requisito estabilidade dos espaçadores de formato circular dos Fabricantes D, E e Fabricantes desconhecidos.	84
Tabela 32 - Resultados da avaliação do requisito estabilidade dos espaçadores de formato multiapoio dos Fabricantes C, D, E e Fabricantes desconhecidos.	85
Tabela 33 - Resultados da avaliação do requisito capacidade de carga dos espaçadores de formato cadeirinha dos Fabricantes A, B e C.	85
Tabela 34 - Resultados da avaliação do requisito capacidade de carga dos espaçadores de formato cadeirinha do Fabricante E e dos Fabricantes desconhecidos.	86
Tabela 35 - Resultados da avaliação do requisito capacidade de carga dos espaçadores de formato circular dos Fabricantes A, B e C.	86
Tabela 36 - Resultados da avaliação do requisito capacidade de carga dos espaçadores de formato circular dos Fabricantes D, E e Fabricantes desconhecidos.	87
Tabela 37 - Resultados da avaliação do requisito capacidade de carga dos espaçadores de formato multiapoio dos Fabricantes C, D, E e Fabricantes desconhecidos.	88
Tabela 38 - Resultados da avaliação do requisito aplicação dos espaçadores de formato cadeirinha dos Fabricantes A, B e C.	89
Tabela 39 - Resultados da avaliação do requisito aplicação dos espaçadores de formato cadeirinha do Fabricante E e dos Fabricantes desconhecidos.	89
Tabela 40 - Resultados da avaliação do requisito aplicação dos espaçadores de formato circular dos Fabricantes A, B e C.	90
Tabela 41 - Resultados da avaliação do requisito aplicação dos espaçadores de formato circular dos Fabricantes D, E e Fabricantes desconhecidos.	90
Tabela 42 - Resultados da avaliação do requisito aplicação dos espaçadores de formato multiapoio dos Fabricantes C, D, E e Fabricantes desconhecidos.	91
Tabela 43 – Resultado da avaliação dos modelos de espaçadores do Fabricante A.	92
Tabela 44 - Resultado da avaliação dos modelos de espaçadores do Fabricante B.	94

Tabela 45 - Resultado da avaliação dos modelos de espaçadores do Fabricante C.	95
Tabela 46 - Resultado da avaliação dos modelos de espaçadores do Fabricante D.	96
Tabela 47 - Resultado da avaliação dos modelos de espaçadores do Fabricante E.....	97
Tabela 48 - Resultado da avaliação dos modelos de espaçadores de fabricantes desconhecidos (parte 1).....	99
Tabela 49 - Resultado da avaliação dos modelos de espaçadores de fabricantes desconhecidos (parte 2).....	100

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANOVA: Análise de variância

BS: *British Standard*

C: Cobrimento

CEB: *Comite Euro-international du Beton*

cm: centímetros

C_{mín}: Cobrimento mínimo

C_{nom}: Cobrimento nominal

CS: *Concrete Society*

CV: Coeficiente de Variação

EHE: *Instrucción Española del Hormigón Estructural*

FIP: *Fédération Internationale de la Précontrainte*

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia

kg: quilograma

kgf: quilograma força

kN: quilo Newton

mm: milímetros

MPa: Mega Pascal

MT: Mato Grosso

N/A: não se aplica

N: Newton

NBR: Norma Brasileira Regulamentada

NORIE: Núcleo Orientado para Inovação da Edificação

RS: Rio Grande do Sul

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

ΔC : Tolerância de execução do cobrimento

1 INTRODUÇÃO

Os problemas de durabilidade de estruturas de concreto armado originam-se a partir de ações ambientais de agentes agressivos que penetram no concreto, podendo causar na estrutura, deterioração prematura, prejudicar o desempenho em serviço e, em casos extremos, induzir falha estrutural (LI, CHEN e LIAN, 2007).

Li, Chen e Lian (2007) afirmam que a questão de durabilidade das estruturas tem um significado tanto técnico como econômico. Rostam (2005) reforça tratar-se de um desastre econômico quando estruturas de concreto armado deterioram-se em apenas alguns anos em serviço. Segundo o autor, nota-se um aumento frequente de relatos de eventos desta natureza, a partir dos anos 70.

O fracasso na obtenção do cobrimento é, provavelmente, o maior fator influente na corrosão prematura de armaduras (MARSH, 2003) que, por sua vez, é a principal forma de deterioração de estruturas de concreto armado (CLARK et al, 1997). Contudo, a obtenção do cobrimento geralmente não é percebida pelos engenheiros como um problema, logo não lhe é dado prioridade (CLARK et al, 1997).

Sendo assim, um dos maiores problemas relacionado a estas estruturas é a incapacidade de posicionar a barra de aço com o correto cobrimento de concreto, afetando diretamente o comportamento mecânico e a durabilidade da estrutura (SHAW, 2007), exigindo ações corretivas envolvendo reparos caros (MERRETZ, 2010).

A garantia de uma espessura de cobrimento adequado de concreto de qualidade, devidamente compactado e curado, resultaria em uma redução dramática na soma muito grande de dinheiro gasto anualmente, em todo o mundo, na reparação e substituição prematura de estruturas de concreto (MARSH, 2003).

Muitos dos problemas que acarretam um cobrimento insuficiente estão relacionados com defeitos no projeto, detalhamento ou no fornecimento de materiais, e provavelmente podem apenas ser resolvidos, abordando-os na sua fonte de origem (MARSH, 2003).

Sendo assim, esta questão está diretamente relacionada aos espaçadores, pois eles são responsáveis pelo correto posicionamento do aço, proporcionando assim uma adequada proteção ao mesmo (VAQUERO, 2007).

Espaçadores são essenciais na execução de estruturas de concreto armado e protendido, tanto que a ABNT NBR 14931 (2004) recomenda seu uso. São amplamente utilizados em grandes quantidades nas construções que adotam esta solução estrutural, que compreende a maioria no país.

Entretanto, a produção e utilização inadequada dos espaçadores têm sido uma das principais causas do mal posicionamento das armaduras (BS 7973-1, 2001). A inexistência de uma norma brasileira que regulamente a produção e o uso dos espaçadores e, conseqüentemente, a falta de certificação de qualidade pelo órgão responsável pela fiscalização de produtos, contribuem para o agravamento desta situação.

A alta competitividade existente no setor eleva a exigência no mercado com relação aos padrões e normas de qualidade, o que implica em movimento das organizações em busca de melhorias em técnicas, materiais e componentes, e melhoria nos processos produtivos que tragam ganhos em qualidade, maior confiabilidade nos prazos de entrega, e de maior desempenho da mão-de-obra, gerando maior produtividade e redução de custos (PEIXOTO e GOMES, 2007).

Neste sentido, esta pesquisa visa contribuir com o tema durabilidade das estruturas de concreto armado, com foco na correta obtenção da espessura de cobrimento, buscando-se, através de um trabalho colaborativo, englobar todas as possíveis causas de falhas na execução do cobrimento relacionadas aos espaçadores.

Este trabalho aborda a qualidade na produção de espaçadores plásticos, propondo métodos para avaliar seu desempenho, bem como estabelecendo requisitos e critérios, e o trabalho desenvolvido por Maran (a defender), complementa o assunto com questões relacionadas ao uso deste produto, tais como quantidades necessárias e disposição ideal dos mesmos.

Uma visão geral sobre o tema está detalhada no organograma da Figura 1. Ambas as pesquisas foram realizadas no Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação – NORIE sob

orientação da Professora Doutora Denise Carpena Coitinho Dal Molin e do Professor Doutor João Ricardo Masuero.

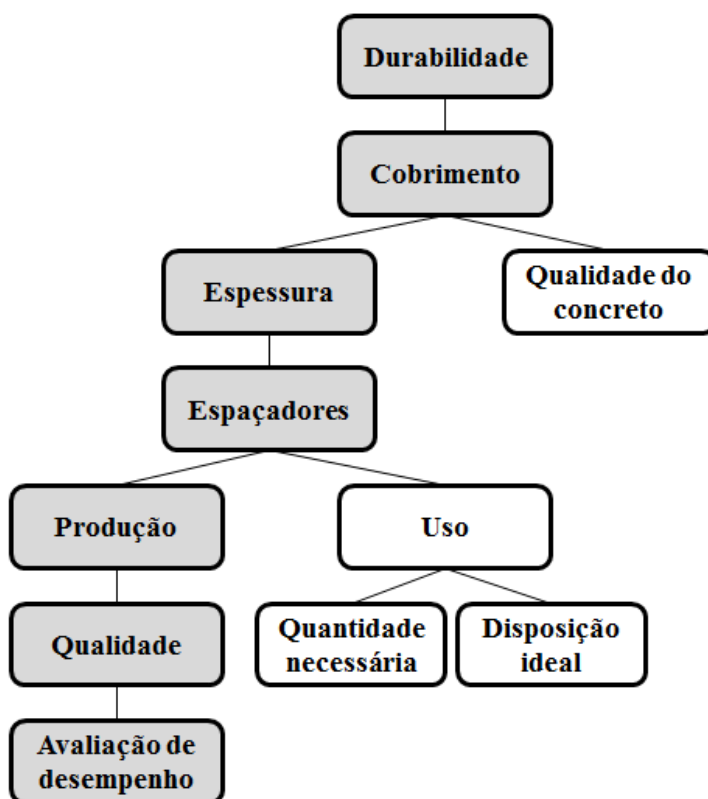


Figura 1 - Organograma da pesquisa.

1.1 OBJETIVOS

Como foco da pesquisa, adotam-se os seguintes objetivos:

- a) identificar quão recorrente é o problema de cobrimentos insuficientes e quais suas prováveis causas;
- b) identificar e avaliar os elementos estruturais com maiores problemas de cobrimentos;
- c) verificar a necessidade do desenvolvimento de uma norma brasileira regulamentadora fundamentada em desempenho para os espaçadores;
- d) estabelecer requisitos e critérios de desempenho baseados no comportamento em uso do produto, tomando como referência a norma europeia (CEB, 1990) e a norma britânica (BS 7973-1, 2001), complementando-as e adaptando-as quando necessário;

- e) propor métodos para avaliação do desempenho dos espaçadores plásticos segundo requisitos e critérios de desempenho estabelecidos anteriormente;
- f) avaliar o desempenho de alguns espaçadores plásticos existentes no mercado através dos métodos propostos.

1.2 DELIMITAÇÕES

O estudo de caso desta pesquisa se limitou a 9 obras – 4 em Cuiabá/MT e 5 em Porto Alegre/RS - que possui estrutura de concreto armado moldado *in loco*.

Já a avaliação de desempenho se limitou à 28 modelos de espaçadores plásticos utilizados nas obras do estudo de caso.

1.3 ESTRUTURA GERAL

No capítulo 2 é feita uma descrição e caracterização do objeto da pesquisa, os espaçadores.

No capítulo 3 é descrita a importância do uso dos espaçadores com relação ao funcionamento estrutural e durabilidade da estrutura.

No capítulo 4 é apresentado um levantamento *in loco* dos cobrimentos obtidos em lajes, vigas e pilares em obras multi pavimentadas das cidades de Porto Alegre/RS e Cuiabá/MT, e das orientações quanto ao uso de espaçadores contidas nos projetos e procedimentos construtivos utilizados nas respectivas obras, bem como comparações com o cobrimento nominal de projeto e as prescrições de norma, visando identificar quão recorrente é o problema de cobrimentos insuficientes e quais suas prováveis causas. Além disso, esses levantamentos têm o objetivo de caracterizar as cargas acidentais atuantes sobre as armaduras durante a fase de execução das estruturas de concreto.

No capítulo 5 é abordada a questão do desempenho, bem como estabelecido os requisitos e critérios a serem atendidos pelos espaçadores plásticos. Já no capítulo 6 são propostos métodos para a avaliação do desempenho dos espaçadores. Nessas partes, encontram-se traduções e adaptações de alguns trechos das normativas internacionais existente, bem como complementações e preenchimento das lacunas identificadas sobre o assunto.

Finalmente, no capítulo 7 são apresentados e discutidos os resultados das avaliações do desempenho dos espaçadores e no capítulo 8 as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

2 ESPAÇADORES

Os espaçadores, também conhecidos como distanciadores, são pequenos dispositivos usados para garantir o correto posicionamento das armaduras durante a concretagem (BÉRGAMO, 2013). A ABNT NBR 14931 (2004) recomenda seu uso como forma de alcançar o cobrimento mínimo das armaduras em obras de concreto armado e protendido. São posicionados na armadura mais exposta da futura peça a ser concretada como forma de assegurar o cobrimento de concreto especificado em projeto.

2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS ESPAÇADORES

Os espaçadores podem ser classificados de diferentes maneiras:

2.1.1 Função

Pode-se dividir a função dos espaçadores em três grandes categorias (BÉRGAMO, 2013):

- a) afastar armadura da fôrma: usados para garantir o cobrimento adequado do aço, conforme Figura 2;



Figura 2 - Espaçador utilizado para separar armadura da fôrma.

- b) separar armaduras entre si: proporciona um posicionamento adequado da armadura, exemplificado na Figura 3;

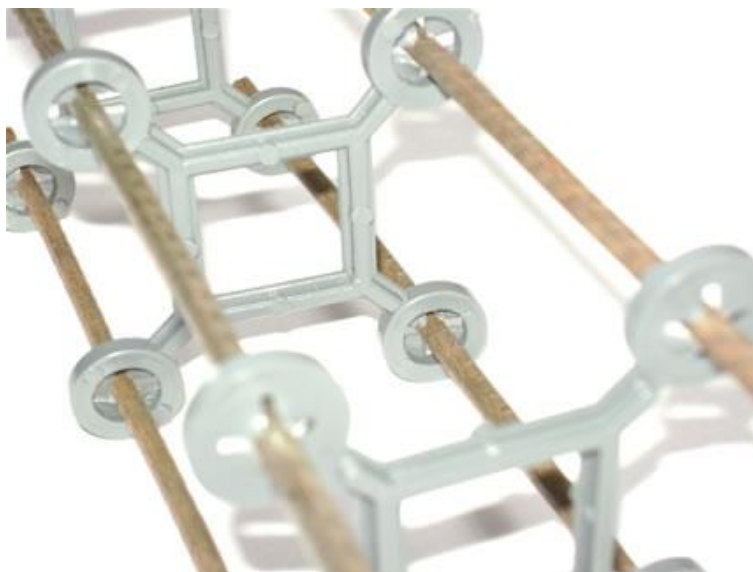


Figura 3 – Espaçador utilizado para separar armaduras entre si (<http://www.maisplastico.com.br/>).

- c) separar uma fôrma da outra: geralmente usado em paredes para impedir a movimentação relativa das fôrmas; são os chamados espaçadores de fôrma ou tensos, conforme mostrados na Figura 4.



Figura 4 - Espaçador de fôrmas (<http://www.coplas.com.br/>).

2.1.2 Formato

Os espaçadores têm formatos variados adaptados à sua utilização (PEIXOTO e GOMES, 2007).

Dentre os disponíveis, destacam-se os produtos industrializados, pois estes oferecem uma grande variedade de opções e para cada peça a ser concretada existe um tipo de espaçador ideal.

Alguns exemplos estão ilustrados na Figura 5 e descritos:

- a) circulares raiados: são produtos que podem ser utilizados em laterais de vigas, pilares, paredes, postes, estacas, entre outros. Esses espaçadores plásticos proporcionam fixação em bitolas variáveis de aço. Na colocação, a peça deve ser posicionada com raio de abertura paralelo à fôrma (Figura 5a);
- b) cadeirinhas: este modelo apoia armaduras horizontais. Indicado para fundo de vigas, lajes e pré-moldados (Figura 5b);
- c) multiapoio: sustentam armaduras horizontais tais como lajes, fundo de vigas, sapatas e pré-moldados (Figura 5c).

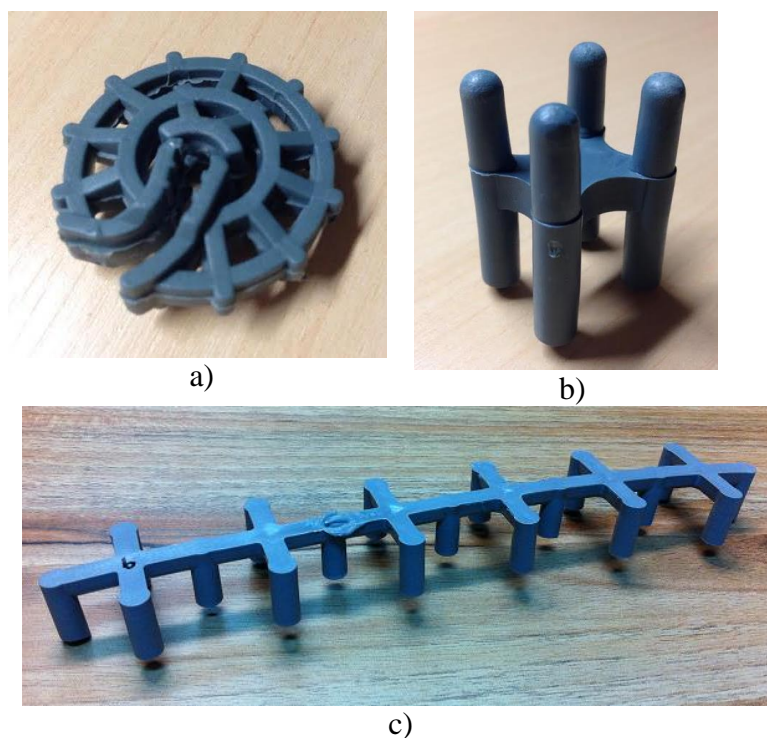


Figura 5 - Espaçadores plásticos: a) tipo circular; b) tipo cadeirinha; c) tipo multiapoio.

2.1.3 Material utilizado na sua fabricação

Os espaçadores são usualmente fabricados a partir de três materiais básicos: metálicos, materiais cimentícios e plásticos (BS 7973-1, 2001).

a) Metálicos

Estes espaçadores geralmente são confeccionados em barras de 10 mm CA 50 ou CA 25. Existem produtos prontos de fábrica, como o treliçado mostrado na Figura 6, e os produzidos na própria central de corte e dobra do canteiro, como o “caranguejo” da Figura 7.

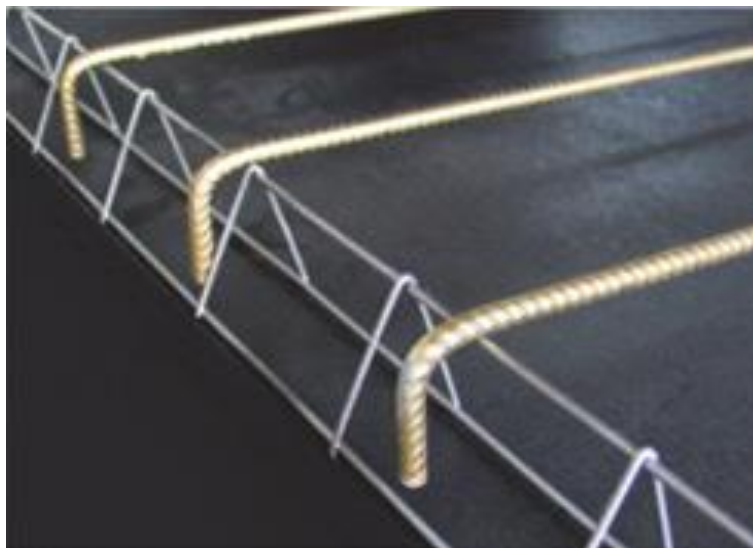


Figura 6 - Espaçadores metálicos treliçados (www.fameth.com.br).



Figura 7 - Espaçador metálico tipo caranguejo (DENARDI et al, 2011).

Os espaçadores metálicos podem ser utilizados desde que as partes em contato com a fôrma sejam revestidas com material plástico ou outros, não podendo nenhuma parte ficar exposta (ABNT NBR 14931, 2004).

b) Cimentícios

Os espaçadores produzidos em argamassa ou concreto, mostrados na Figura 8 e Figura 9, devem possuir relação água/cimento menor ou igual a 0,5, podendo ser industrializados ou confeccionados no próprio canteiro (ABNT NBR 14931, 2004).

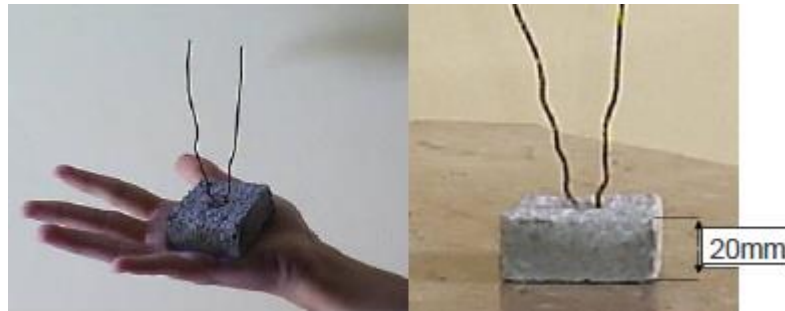


Figura 8 - Espaçador tipo cocadinha (PEIXOTO e GOMES, 2007).

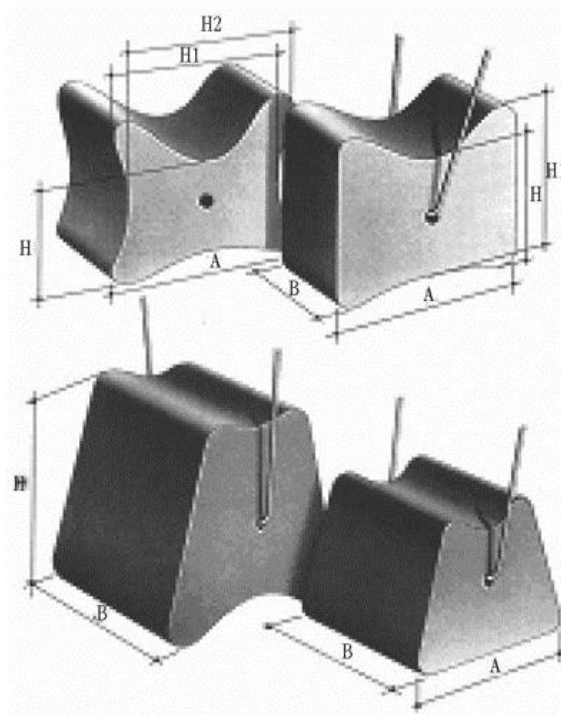


Figura 9 - Espaçadores de argamassa (construironline.dashofer.pt).

Tais espaçadores devem apresentar características de resistência, permeabilidade, higroscopicidade, dilatação térmica, entre outros, comparáveis ao concreto utilizado na construção da peça (VAQUERO, 2007).

São mais vantajosos para situações personalizadas, quando as opções comercializadas não atendem às especificações do projeto. Em caso de concreto aparente, os espaçadores feitos de cimento favorecem o acabamento (HELENE, 2013).

No caso da produção de espaçadores cimentícios, recomenda-se que fiquem armazenados em tanques de água, câmaras úmidas ou, no mínimo, protegidos do sol (BÉRGAMO, 2013) durante seu processo de cura.

c) Plásticos

Os materiais mais utilizados em sua fabricação são polímeros como polipropileno, polietileno de alta densidade e poliestireno. Estes materiais podem ser reciclados, sem nenhum prejuízo à confiabilidade e qualidade dimensional. O processo de fabricação é a transformação termoplástica de moldagem por injeção (PEIXOTO e GOMES, 2007).

Este tipo de espaçador é particularmente aconselhável em situações de exposição aos ambientes agressivos, proporcionando uma excelente proteção frente à corrosão, podendo-se utilizá-lo com todo tipo de barras (VAQUERO, 2007). Em contrapartida, não existem pesquisas sobre a interface dos espaçadores e do concreto a respeito da penetração de agente agressivos.

No entanto, a maioria das construções atualmente usa os espaçadores plásticos, pois são mais baratos, vêm prontos para serem instalados (BÉRGAMO, 2013), proporcionam grande aderência ao concreto, devido aos seus formatos, além de serem um produto uniforme (MENEZES e AZEVEDO, 2009).

2.2 ESPAÇADORES INDUSTRIALIZADOS

Peixoto e Gomes (2007), em um estudo de análise e avaliação da taxa de variação de produtividade, mostram o baixo desempenho em produtividade econômica dos espaçadores artesanais (produzidos no canteiro) comparativamente aos espaçadores plásticos.

Esta afirmação reforça a pesquisa realizada por Peixoto (2006) que mostra as vantagens dos espaçadores plásticos, tais como a melhoria da qualidade do cobrimento, maior rapidez no processo de montagem, redução de custos e redução de mão-de-obra no canteiro. Outras comparações estão expostas na Tabela 1.

Tabela 1 - Estudo comparativo entre espaçadores plásticos e pastilhas de argamassa.

	Espaçadores plásticos	Pastilhas de argamassa
Investimento	Representam apenas 0,2% do custo total da obra.	Custam em média 45% a mais do que os espaçadores plásticos;
Produtividade	Fáceis de aplicar, aumentando a produtividade da obra. Não há necessidade de mão de obra qualificada para aplicação dos espaçadores.	O concreto utilizado para fazer as pastilhas deve ser o mesmo utilizado na estrutura. Necessitam de mão de obra qualificada para aplicação (armador).
Qualidade	Cor uniforme. Modelos que possibilitam o mínimo contato com as fôrmas. Garantem o cobrimento de concreto especificado. Posicionam a armadura corretamente. Não absorvem produtos químicos.	Grande área de contato com a fôrma. Não garantem o cobrimento com precisão. Absorvem o desmoldante, criando focos de infiltração.
Estoque e Transporte	Podem ser manuseados, estocados e transportados facilmente, pois não há risco de quebra.	Quebram com facilidade através do manuseio das embalagens e do modo como são estocados.

(Fonte: PEIXOTO e GOMES, 2006).

Diante do exposto, fica evidenciado que os espaçadores industrializados plásticos são a melhor alternativa dentre as atualmente conhecidas e disponíveis no mercado. Egidio Hervé Neto, em entrevista para Nakamura (2011), reafirma que os espaçadores plásticos, por sua precisão geométrica, dominam o mercado das obras correntes.

Entretanto, ao utilizar estes dispositivos é importante observar diversos fatores, descritos na sequência.

2.2.1 Cobrimento proporcionado

Os espaçadores são comercializados de acordo com o cobrimento desejado. Um mesmo modelo pode apresentar tamanhos diferentes que proporcionam cobrimentos distintos. Portanto, durante sua utilização, deve-se cuidar para não confundi-los e usá-los incorretamente.

2.2.2 Qualidade do produto

Não existe norma brasileira que regule a produção ou estabeleça especificações mínimas necessárias do produto para garantir o desempenho requerido de modo que não há

certificação de qualidade por parte de nenhum órgão normatizador, como o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

Este problema se estende para outros países, como a Espanha. Segundo Vaquero (2007), embora a Espanha adote as recomendações para espaçadores segundo o Comitê Euro-Internacional do Concreto (CEB, 1990), não existe um corpo normativo que permita avaliar os distintos espaçadores existentes no mercado espanhol e que possa estabelecer adequado padrão de desempenho para os projetos.

Entretanto, esta não é uma realidade no Reino Unido. Além de possuir uma norma que define os requisitos de desempenho, bem como os métodos de avaliação dos espaçadores – Norma Britânica 7973-1 (2001) – também há organismo de certificação responsável por proporcionar confiança aos usuários, compradores e especificadores de aços de construção através de um regime de regulação, teste e inspeção, o CARES.

Embora isto ainda não exista no Brasil, é importante procurar produtos testados em laboratórios e certificados voluntariamente pelo fabricante (GIRIBOLA, 2013). Todavia, em alguns casos, os dados fornecidos pelo fabricante não representam características ou propriedades relevantes, principalmente no que diz respeito à resistência e à durabilidade do material ou sistema (TINOCO e FIGUEIREDO, 2001).

Diante disto, surge a necessidade de uma norma brasileira para espaçadores que regule sua produção e uso e, conseqüentemente, a fiscalização e certificação da qualidade dos espaçadores existentes no mercado por parte dos órgãos responsáveis, de forma a eliminar os que possuem desempenho insatisfatório, favorecendo assim a busca pela excelência nos produtos fornecidos pelas indústrias.

2.2.3 Quantidades e disposição na execução (aplicação)

Antes de 1989 não existia nenhuma orientação publicada no Reino Unido sobre a forma de alcançar o cobrimento especificado (SHAW, 2007). Este cenário mudou com a publicação Report CS 101 da Sociedade do Concreto em 1989. A partir de então, outras recomendações para espaçadores surgiram como a do Comitê Euro-Internacional do Concreto (CEB, 1990) e a da Norma Britânica 7973-2 (2001).

A quantidade de espaçadores durante uma concretagem não é fixa, variando, dentre outras coisas, com o diâmetro da armadura. Aços de maiores diâmetros necessitam de menos

espaçadores para garantir um mesmo cobrimento do que aços de menores diâmetros (MENNA BARRETO et al, 2014). O dimensionamento do número de espaçadores por metro quadrado se dá em função da bitola da armadura e dos esforços solicitantes (HELENE, 2013).

O Comitê Euro-Internacional do Concreto (CEB, 1990), a Norma Britânica (BS 7973-2, 2001) e a Instrução Espanhola do Concreto Estrutural (EHE, 2008) consideram indiretamente as diferentes solicitações atuantes nas armaduras, prescrevendo espaçamentos baseados no diâmetro das armaduras em função do tipo de peça estrutural, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Distanciamento dos espaçadores.

Elementos		Distância Máxima
Elementos superficiais horizontais (lajes e fundações)	Armadura inferior	$50 \phi \leq 100 \text{ cm}$
	Armadura superior	$50 \phi \leq 50 \text{ cm}$
Muros/Paredes	Cada armadura	50ϕ ou 50 cm
	Separação entre armaduras	100 cm
Vigas		100 cm
Pilares		$100 \phi \leq 200 \text{ cm}$

ϕ Diâmetro da armadura fixada no espaçador.

(Fonte: CEB, 1990; BS 7973-2, 2001 e EHE, 2008).

2.2.4 Requisitos complementares

Além dos quesitos anteriormente citados, é importante verificar a existência de alguns itens relevantes, como:

- a) de incremento, como hastes e molas, que auxiliam na fixação do espaçador no gradil (BÉRGAMO, 2013);
- b) distinção entre espaçadores do mesmo tipo, porém de cobrimentos diferentes;
- c) certificação por parte de laboratórios idôneos;
- d) informações gerais do produto – especificações técnicas do material e recomendações de uso (indicar o tipo de elemento estrutural, entre outros);
- e) identificação do fabricante no produto, entre outros.

3 IMPORTÂNCIA DO USO DE ESPAÇADORES

O tipo e a disposição dos espaçadores usados para posicionar a barra de aço são importantes por diversas razões, apresentadas nos itens a seguir.

3.1 FUNCIONAMENTO ESTRUTURAL

O cobrimento das armaduras permite a transmissão segura das forças de ligação entre o aço e o concreto, assegurando o funcionamento da estrutura conforme projetada em relação ao carregamento de cargas (MARSH, 2003).

Se a barra de aço não está na posição em que foi concebida, a segurança da estrutura pode ser gravemente afetada, podendo resultar em colapso (SHAW, 2007).

Diante disto, Benedetti (2013), em uma análise de sensibilidade a erros de execução relacionados à espessura da camada de cobrimento para lajes com espessura média de 8,5 cm (Figura 10), afirmou:

[...] diminuindo em 1 cm a camada de cobrimento das lajes, o coeficiente de segurança aumentou em média de 1,63 para 1,92, ou seja, 17,79%. Aumentando em 1 cm o cobrimento, o coeficiente de segurança médio foi de 1,34, ou seja, 17,79% menor. Aumentando 2 cm, o coeficiente foi de 1,05, valor 36,81% menor que o original. Este valor fica muito abaixo do limite de 1,30 admitido como seguro e bastante próximo do estado limite último.

Já para vigas em flexão com altura média de 40,0 cm (Figura 11), Benedetti (2013) aponta:

[...] aumentando em 3 cm a camada de cobrimento das vigas, o coeficiente de segurança diminui, em média, de 1,84 para 1,64, ou seja, 10,87%. Aumentando em 6 cm o cobrimento, o coeficiente de segurança médio foi 1,44, ou seja, 21,74% (menor).

Esta redução do coeficiente de segurança se dá pela diminuição da altura útil da seção dos elementos estruturais.

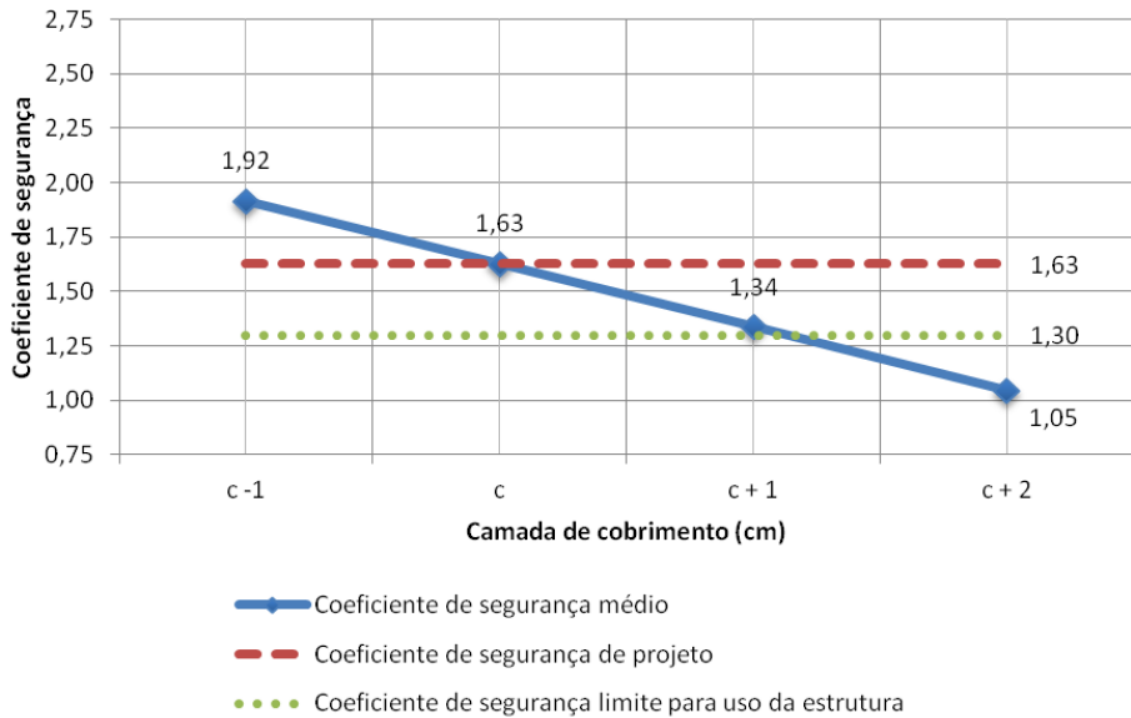


Figura 10 – Análise de sensibilidade a erros de execução em lajes: camada de cobrimento (BENEDETTI, 2013).

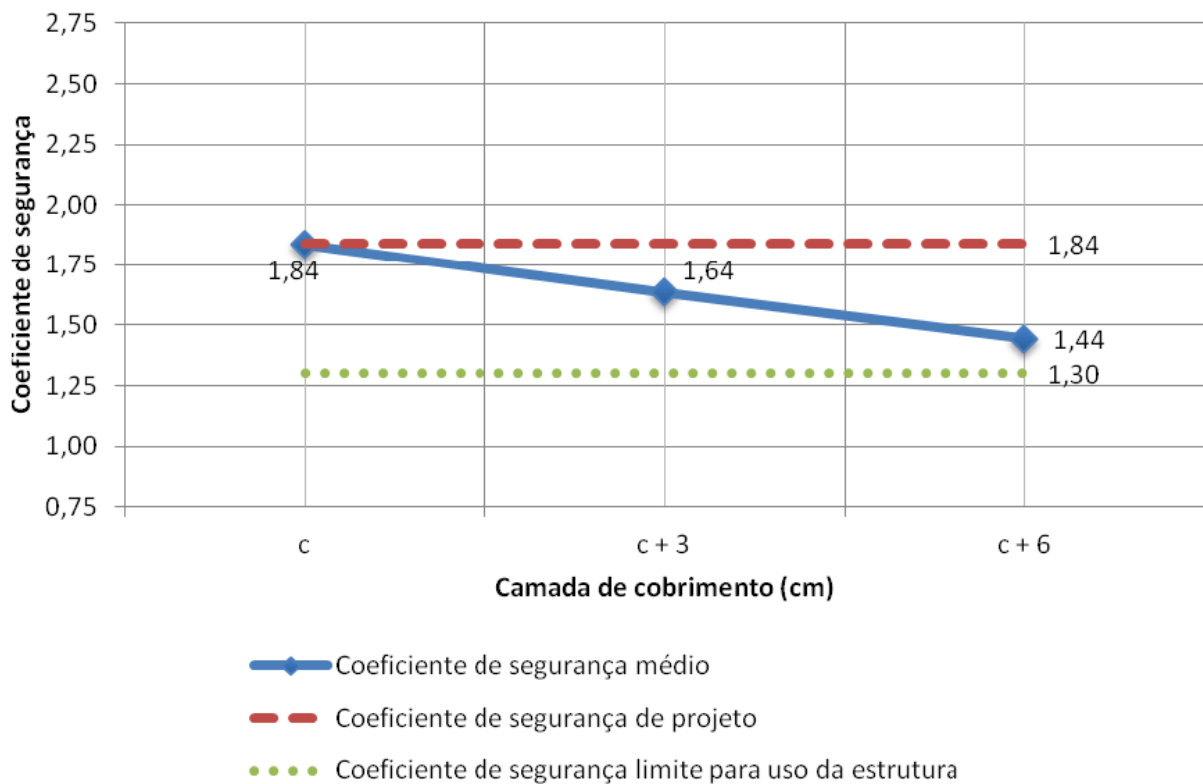


Figura 11 – Análise de sensibilidade em vigas: camadas de cobrimento em flexão (BENEDETTI, 2013).

Diferentemente da durabilidade, no caso do funcionamento estrutural das lajes e vigas, o coeficiente de segurança global aumenta conforme diminui o cobrimento.

3.2 DURABILIDADE

Segundo o Comitê Euro-Internacional do Concreto e a Federação Internacional da Protensão (CEB-FIP, 1993), as estruturas de concreto armado devem ser projetadas, construídas e operadas de tal forma que, sob esperadas influências ambientais, mantenha a sua segurança, facilidade de manutenção e aparência aceitável durante um período explícito ou implícito de tempo sem a necessidade de alto custo não previsto para a manutenção e reparação.

A durabilidade do sistema estrutural consiste em conservar a segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil (ABNT NBR 15575-2, 2013). Este requisito é altamente dependente das características do concreto de cobrimento da armadura e da sua espessura. A determinação desses parâmetros é extremamente importante para quantificar a vida útil de projeto de novas estruturas de concreto (ROSTAM, 2005).

Estas condições são necessárias devido à presença do aço na estrutura, que consiste na parte mais sensível ao ataque do meio ambiente. As armaduras devem ficar protegidas através de uma espessura de concreto de cobrimento a fim de impedir que os agentes agressivos atinjam em concentrações e quantidades significativas para deteriorar a estrutura (MEDEIROS; ANDRADE e HELENE, 2011).

Segundo Takata (2009), o cobrimento serve como:

- a) proteção física das armaduras: contra choques mecânicos e pela criação de uma camada de baixa permeabilidade;
- b) proteção química das armaduras: proporciona uma película protetora (camada passivadora formada em ambiente alcalino).

Pereira et al (2013) reforçam que o cobrimento da armadura com concreto é um fator muito importante de controle da movimentação dos íons cloreto e da penetração de substâncias nocivas ao concreto que, segundo Carmona e Helene (2006) podem alterar as características de proteção da corrosão (despassivação), conforme mostrado na Figura 12.

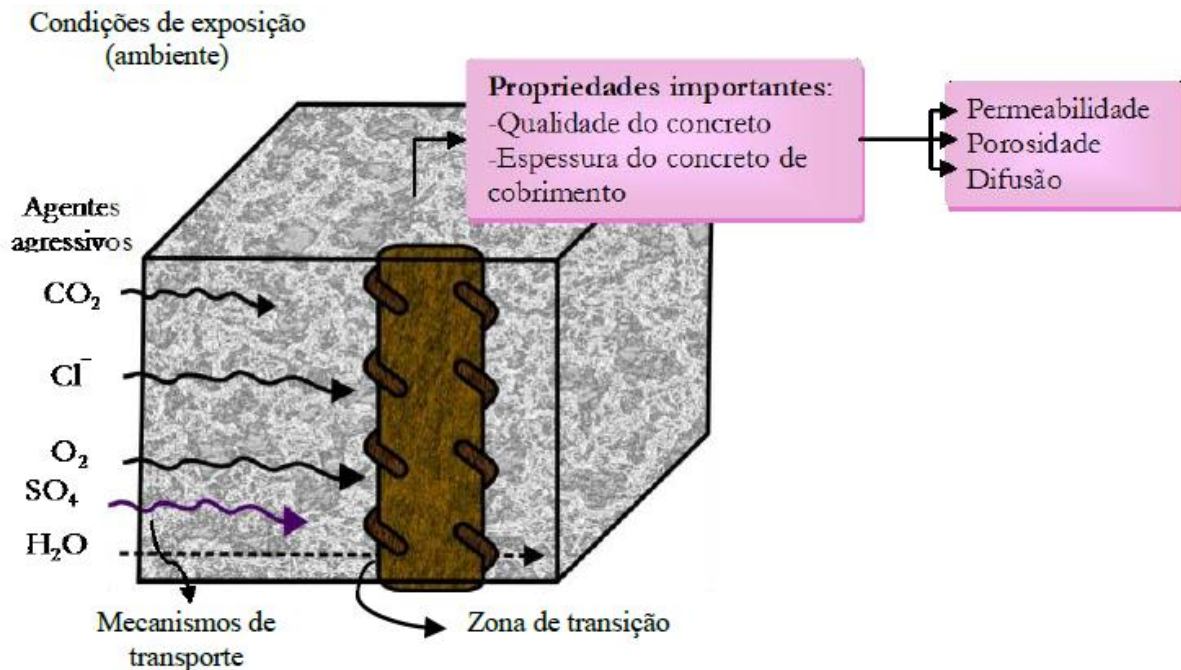


Figura 12 - Importância do cobrimento na proteção da estrutura contra substâncias agressivas (adaptado de ROSTAM, 2005).

A despassivação pode ocorrer de duas formas: devido à presença de uma quantidade suficiente de íons cloretos, os quais podem advir tanto do meio externo e atingir a armadura por difusão, quanto podem estar no interior do concreto, vindos da água de amassamento e/ou de agregados contaminados; e pela diminuição da alcalinidade do concreto, que pode ocorrer devido principalmente às reações de carbonatação (CASCUDO, 1997) que consistem nas reações químicas entre os componentes do cimento hidratado e o CO₂ (CARMONA e HELENE, 2006).

Diante deste pressuposto, criaram-se modelos de previsão de vida útil baseados na penetração de cloretos e na carbonatação. Segundo Possan (2010), os parâmetros que mais influenciam na vida útil são o tipo de cimento, a resistência à compressão, a espessura de cobrimento e o ambiente de exposição. Com exceção do tipo de cimento, os demais parâmetros foram incluídos nas prescrições sobre o cobrimento da ABNT NBR 6118 (2014).

O cobrimento mínimo de concreto é geralmente o valor utilizado para calcular a vida útil da estrutura (ROSTAM, 2005). Logo, quando a espessura de cobrimento executada é menor que a especificada, a durabilidade da estrutura de concreto armado é grandemente reduzida (SHAW, 2007), assim como à medida que se aumenta a espessura de cobrimento tem-se um incremento significativo da vida útil (ANDRADE, 2001), conforme exposto na Figura 13.

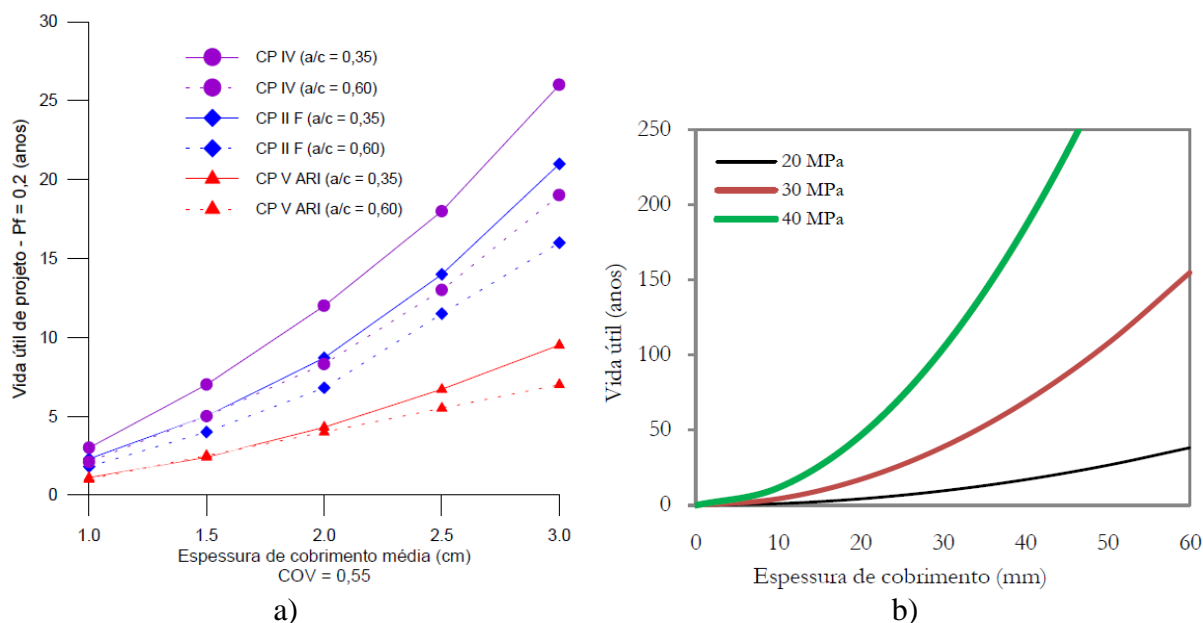


Figura 13 – Influência da espessura de cobrimento na vida útil devido a: a) penetração por cloretos (ANDRADE, 2001); b) ação da carbonatação (POSSAN, 2010).

Segundo Possan (2010), a forma mais simples de expressar a profundidade carbonatada é em função da raiz quadrada do tempo, uma simplificação da primeira lei de Fick. Diante disto, Marsh (2003) afirmou que um cobrimento efetivo da metade do valor especificado em projeto pode conduzir a uma redução no tempo para a iniciação da corrosão de aproximadamente 75%. Da mesma forma, ao dobrar a espessura do cobrimento, a vida útil da estrutura aumenta em quatro vezes (DAL MOLIN, 1988).

Helene (2013) alerta para as consequências da diminuição no cobrimento projetado: “Meio centímetro de diferença no cobrimento pode significar de 10 a 15 anos de vida útil a menos da estrutura”.

Analisando a Figura 13a, ao especificar uma espessura de cobrimento de 2,0 cm para uma determinada estrutura, ao trocar o cimento CP V ARI para o cimento CP II F, mantendo-se a relação a/c constante (0,60), tem-se um aumento de 100% no tempo até a despassivação das armaduras (ANDRADE, 2001). O mesmo efeito, em alguns casos, pode ser conseguido aumentando-se o cobrimento em 0,5 cm para um mesmo cimento e uma mesma relação a/c.

Obter durabilidade suficiente para estruturas de concreto desde a fase de projeto é um passo crucial contra deteriorações inesperadas durante sua vida útil (LI, CHEN e LIAN, 2007). Uma vez estabelecida qual a vida útil de um projeto de uma estrutura, as normas prescrevem o

valor do cobrimento e a qualidade do concreto de cobrimento para que esta vida útil seja atingida. Neste sentido, a ABNT NBR 6118 (2014) estabelece requisitos mínimos relacionados à classe de agressividade do ambiente em que a estrutura está inserida, à relação água/cimento, à classe de resistência do concreto de cobrimento e, por último, o cobrimento nominal da armadura, conforme exposto na Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 3 - Classe 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 ^{a,b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a,b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a,c}	Elevado
		Respingo de maré	

^a 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 argamassas e pinturas).

^b 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 da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

(Fonte: ABNT NBR 6118, 2014).

Tabela 4 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.

Concreto ^a	Tipo ^{b,c}	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

(Fonte: ABNT NBR 6118, 2014).

Segundo Rostam (2005), a classe de agressividade ambiental é a decisão mais importante que o projetista tem que tomar, relacionada à vida útil da estrutura. A resistência dos materiais utilizados também é necessária para a utilização de modelos matemáticos que descrevem o processo de degradação ao longo do tempo, permitindo ao projetista avaliar o desempenho da estrutura.

A norma limita a relação água/cimento máxima e as resistências mínimas do concreto para reduzir a porosidade capilar dos concretos em função da agressividade do meio ambiente.

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014), o cobrimento mínimo da armadura, apresentado na Tabela 5, é o menor valor que deve ser respeitado ao longo de todo o elemento considerado e se constitui num critério de aceitação.

Tabela 5 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm.

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

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b 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, piso asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitando um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c 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 da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

(Fonte: ABNT NBR 6118, 2014).

Assim como o CEB-FIP (1993), a ABNT NBR 6118 (2014) contempla no cobrimento nominal uma tolerância de execução para o cobrimento de 10 mm. As normas permitem uma redução de 5 mm na tolerância de execução quando houver um adequado controle de qualidade e rígidos limites de tolerância da variabilidade das medidas durante a execução, ou seja, caso a obra comprove o uso de critérios rigorosos de controle na montagem das armaduras.

No entanto, a norma brasileira não define quais são estes critérios e não indica parâmetros nos quais o projetista pode se basear para adoção desta redução, ficando a cargo dos mesmos defini-los e explicita-los no projeto. Pesquisas realizadas por Clark et al (1997) reforçam que uma tolerância de 5 mm no cobrimento nominal não reflete a distribuição de cobrimento normalmente obtida na prática.

Não obstante, a ABNT NBR 6118 (2014) também permite uma redução de 5 mm no cobrimento mínimo para concretos de classe de resistência superior ao mínimo exigido na Tabela 5.

No caso da adoção destes critérios, tem-se a Tabela 6, na qual mostra que o cobrimento normatizado pode ser reduzido em até 10 mm, o que, em determinadas ocasiões, chega a ser uma redução de até 50% do cobrimento do cobrimento nominal.

Tabela 6 – Redução do cobrimento permitido por norma.

$C_{nom} = C_{mín} + \Delta C$		Classe do Concreto	
		Mínima normatizada	Superior à mínima normatizada
Controle de qualidade na execução	Normal	$C_{nom} = C_{min} + \Delta C$	$C_{nom} = (C_{min} - 5) + \Delta C$
	Rígido	$C_{nom} = C_{min} + (\Delta C - 5)$	$C_{nom} = (C_{min} - 5) + (\Delta C - 5)$

$\Delta C = 10 \text{ mm}$

A tolerância do cobrimento da armadura deve ser claramente identificada em desenhos construtivos para as diferentes faces e elementos estruturais (MERRETZ, 2010), de forma que, segundo a Associação dos Engenheiros Sul-africanos de Concreto Armado (2014), o cobrimento real, obtido *in loco*, nunca deve ser menor que o cobrimento mínimo especificado

pelas autoridades competentes, nem mais do que o mínimo acrescido das tolerâncias normatizadas. Para isto, os espaçadores utilizados devem possuir o mesmo tamanho do cobrimento nominal especificado e devem estar detalhados nos projetos (EL-REEDY, 2008).

Contudo, muitos estudos ao redor do mundo têm mostrado que o cobrimento alcançado na prática normalmente não atende às expectativas de projeto (MARSH, 2003). Segundo Helene (2014), pesquisas indicam que 90% dos casos de corrosão acontecem devido a erros do posicionamento do gradil. Em sua pesquisa, Campos (2013) afirma que 44% dos valores de cobrimento antes da concretagem encontram-se abaixo do valor especificado em projeto e após a concretagem, essa porcentagem aumenta para 50%.

Por outro lado, o cobrimento excessivo, além de correr o risco de fissurar, é antieconômico. Segundo March (2003), o excesso de cobrimento afeta a capacidade de carga da estrutura, a deflexão e a largura máxima das fissuras. Para espessuras acima de 6 cm, aumenta a expectativa do aparecimento dessa manifestação patológica (MOTA et al, 2012). Isto se confirmou na pesquisa realizada por Pereira et al (2013), onde corpos de prova com espessuras de cobrimento igual a 6 cm apresentaram fissuras.

Diante do exposto, o cobrimento executado deve sempre respeitar as especificações de projeto que por obrigação deve ser igual ou acima do cobrimento nominal normatizado. Desta forma, deve-se utilizar um espaçador adequado ao cobrimento desejado, não devendo este ser maior e nem menor do que o estabelecido em projeto.

É imperativo que o cobrimento seja projetado e executado adequadamente, a fim de garantir o desempenho esperado da estrutura (MEDEIROS, ANDRADE e HELENE, 2011). Ou seja, os valores de cobrimento devem ser assegurados na estrutura final levando em consideração a seleção do tipo, dimensão e espaçamento dos espaçadores (ROSTAM, 2005).

3.3 ANÁLISE CRÍTICA EM RELAÇÃO ÀS PRESCRIÇÕES NORMATIVAS

Conforme relatado nos subitens anteriores, o cobrimento da armadura tem uma função essencial nas estruturas de concreto armado. Esta função tem diferentes efeitos de acordo com cada questão analisada.

Levando em consideração as duas situações mais críticas – segurança estrutural e durabilidade – nas quais o cobrimento tem um efeito contrário, a fim de garantir ambas, tem-se a situação da Figura 14.

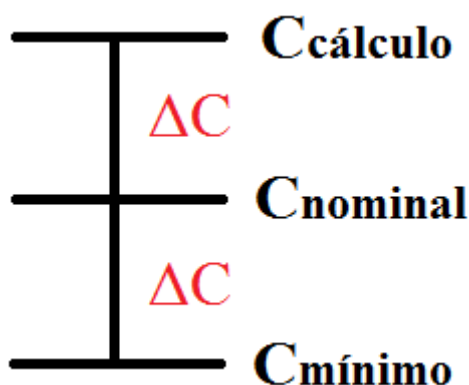


Figura 14 – Proposição do cobrimento para estruturas de concreto armado.

O cobrimento de cálculo deve ser o maior e com ele devem ser realizados todos os cálculos estruturais. O cobrimento nominal é o de valor intermediário, o qual deve estar especificado no detalhamento dos elementos estruturais no projeto. O cobrimento mínimo é o menor valor de cobrimento que a estrutura deve possuir após sua concretagem. Desta forma, tem-se uma tolerância de execução (ΔC) tanto para mais, quanto para menos, que garante, em caso de erro de execução, a segurança estrutural e a durabilidade da estrutura.

Quando o erro causar a diminuição do cobrimento, a durabilidade não será afetada, pois existe uma tolerância de execução, desde que não ultrapasse o valor mínimo. Esta situação é semelhante à normatizada.

No entanto, a ABNT NBR 6118 (2014) não conta com uma tolerância de execução para mais, visto que todos os projetos estruturais consideram o cobrimento nominal no cálculo das estruturas. Diante do fato do aumento do cobrimento nominal reduzir a segurança estrutural, justifica-se a adoção de uma tolerância superior ao cobrimento nominal. Desta forma, ao errar o cobrimento para mais, a segurança estrutural mantém-se garantida através do uso do cobrimento de cálculo.

4 LEVANTAMENTO DOS COBRIMENTOS DE CONCRETO EXECUTADOS EM OBRA

4.1 METODOLOGIA

Foi realizado um levantamento, em obras, do cobrimento obtido após a concretagem, em pavimentos com a estrutura moldada, desformada, sem escoramento e sem revestimento.

Para isto, optou-se pela adaptação do método proposto inicialmente por Silva (2012) e empregado também por Campos (2013), com ampliação do foco das medições após a concretagem e desmembramento das faces do elemento estrutural medido. A planilha de levantamento dos dados em campo, utilizada como auxílio das medições, encontra-se exposta no Apêndice A.

Esta parte da pesquisa é colaborativa com a dissertação de Maran (a defender) e foi realizada em diferentes obras de duas cidades do Brasil: Porto Alegre/RS e Cuiabá/MT.

Segundo projetista da estrutura das obras pesquisadas, por se tratar de obras inseridas em ambiente urbano, tem-se:

- classe de agressividade II (moderada);
- concreto com fck mínimo de 25 MPa e relação água/cimento inferior a 0,60;
- cobrimentos nominais de 25 mm nas lajes, 30 mm em vigas e pilares.

Devido à norma brasileira considerar uma tolerância de execução para o cobrimento de 10 mm, as avaliações dos cobrimentos obtidos em obra foram feitos comparativamente aos valores normatizados, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Critérios de classificação dos cobrimentos obtidos nos levantamentos.

Elemento estrutural	Cobrimentos satisfatórios	Cobrimentos insatisfatórios
Lajes	$15 \text{ mm} \leq C \leq 25 \text{ mm}$	$C < 15 \text{ mm}$ ou $C > 25 \text{ mm}$
Vigas e Pilares	$20 \text{ mm} \leq C \leq 30 \text{ mm}$	$C < 20 \text{ mm}$ ou $C > 30 \text{ mm}$

4.1.1 Informações das obras

As obras foram escolhidas conforme disponibilidade e autorização para medição, mediante o envio de uma carta solicitando participação à pesquisa, encaminhada a diversas empresas.

4.1.1.1 Dados gerais

Como dados da obra, foram coletados: empresa responsável pela execução, nome do empreendimento, pavimento medido e data da medição.

As empresas responsáveis pela execução da obra foram classificadas conforme critérios a seguir:

- pequeno porte: empresas com atuação local;
- médio porte: empresas com atuação regional;
- grande porte: empresas com atuação nacional.

Todos os empreendimentos pesquisados, obrigatoriamente, se limitam a obras multi-pavimentadas, com estrutura em concreto armado moldado *in loco* com a utilização de espaçadores plásticos na execução.

4.1.1.2 Nível de controle

Como níveis de controle, adotaram-se quatro critérios, sendo eles:

- presença do engenheiro civil responsável na obra;
- organização e limpeza do canteiro/pavimento medido;
- metodologia na disposição dos espaçadores;
- certificação de qualidade.

A partir da quantidade de níveis de controle registrados, a obra foi classificada da seguinte forma:

- a) nenhum nível de controle registrado: a obra foi classificada como não possuindo controle;
- b) um nível de controle registrado: a obra foi classificada como possuindo um nível ruim;

- c) dois níveis de controle registrados: a obra foi classificada como possuindo um nível intermediário;
- d) três níveis de controle registrados: a obra foi classificada como possuindo um nível bom;
- e) quatro níveis de controle registrados: a obra foi classificada como possuindo um nível ótimo.

4.1.1.3 Valores dos cobrimentos nominais de projeto

Os valores do cobrimento nominal de projeto foram obtidos nos projetos disponíveis em obra. Estes cobrimentos foram classificados como:

- a) cobrimento nominal indicado no projeto: valor do cobrimento indicado nos selos ou no memorial descritivo do projeto;
- b) cobrimento nominal efetivo do projeto: valor do cobrimento resultante do desenho das armaduras, em especial dos estribos, em comparação com o desenho da fôrma.

4.1.1.4 Espaçadores utilizados

Os espaçadores utilizados para atingir o cobrimento projetado foram informados pela equipe de obra e, quando possível, uma amostra foi coletada para avaliação em laboratório.

4.1.2 Coleta dos dados

Para o início do levantamento, foi feito um estudo prévio dos projetos de fôrma e armadura do pavimento de medição, com o intuito de obter a identificação do elemento estrutural medido e informações das espessuras de cobrimento projetado, diâmetro das barras que foram medidas e outras armaduras componentes do elemento estrutural. Estas informações são necessárias para a rastreabilidade dos elementos, comparação do cobrimento projetado *versus* executado e para inserir informações no equipamento de medição a fim de garantir maior precisão dos dados obtidos com o mesmo.

Para a medição dos valores de cobrimento, foi utilizado um pacômetro digital, que estima o valor do cobrimento de armadura com uma precisão de 3 mm sob uma faixa de medição curta (até 60 mm de profundidade). Entretanto, segundo Barnes e Zheng (2008), quando ajustado para o diâmetro real da armadura de medição, mais precisos são os resultados informados pelo equipamento. Desta forma, desejando obter resultados mais exatos, inseriu-se esta informação através dos projetos estruturais fornecidos.

O levantamento dos cobrimentos foi realizado após a concretagem em lajes, vigas e pilares.

4.1.2.1 Lajes

Foram escolhidas, aleatoriamente, 3 lajes localizadas totalmente dentro do pavimento medido. Nelas foram feitas 10 medições aleatórias, distribuídas igualmente em cada uma, somando um total de 30 medições no fundo da laje, com o objetivo de medir o cobrimento das armaduras positivas, conforme mostrado na Figura 15.



Figura 15 - Medição do cobrimento das armaduras positivas em fundo de laje com auxílio de pacômetro.

4.1.2.2 Vigas

Foram escolhidas, aleatoriamente, 3 vigas localizadas totalmente dentro do pavimento medido. Em cada uma delas, foram realizadas, de forma aleatória e distribuídas igualmente ao longo do elemento estrutural, 10 medições de cobrimento em uma lateral, 10 medições na lateral oposta à primeira (Figura 16a) e 10 medições no fundo da viga (Figura 16b), totalizando 30 medições por viga e 90 medições em vigas por obra.



Figura 16 – Medição de cobertura das vigas: a) lateral da viga; b) fundo da viga.

4.1.2.3 Pilares

Preferencialmente, foram escolhidos pilares localizados totalmente dentro do pavimento. Na ausência destes, por questão de segurança, foram feitas medidas de cobertura apenas nas faces internas de pilares da periferia. Tais medições foram realizadas em cada face acessível do pilar, da seguinte maneira:

- medição em sua base (na altura do primeiro estribo) conforme Figura 17a;
- medição na sua altura média (meio do pilar) mostrado na Figura 17b;
- medição em seu topo (próximo da linha de encontro do pilar com a viga) assim como na Figura 17c.

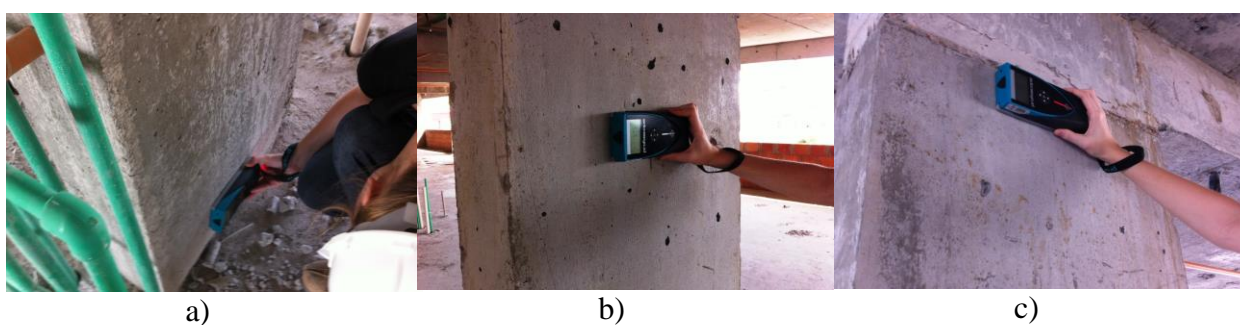


Figura 17- Medição do cobertura de pilar: a) base; b) meio; c) topo.

4.2 RESULTADOS

4.2.1 Informações obtidas

Estão apresentadas na Tabela 8 e na Tabela 9 as informações obtidas nas obras onde foram realizados os levantamentos dos cobrimentos executados após concretagem.

Tabela 8 – Classificação das obras segundo o nível de controle apresentado.

Empresa:	A			B	C			D	
Crítérios para o estabelecimento do nível de controle da obra/Obras	1	2	3	4	5	6	7	8	9
– Presença do engenheiro civil responsável?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
– Organização e limpeza do canteiro/pavimento medido?	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
– Possui metodologia na disposição dos espaçadores?	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
– O empreendimento/empresa possui certificação de qualidade?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Classificação:	Intermediário	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom

Tabela 9 – Informações das obras participantes da pesquisa.

Cidade	Empresa	Porte da empresa	Obra	Nível de controle da obra	Cobrimento nominal indicado e efetivo ¹			Tolerância admitida no cobrimento ¹	Concreto indicado (fck)
					Laje	Viga	Pilar		
Cuiabá	A	Grande	1	Intermediário	20	25	25	5	25 MPa
			2	Bom	15	20	20	0	30 MPa
			3	Bom	20	25	25	5	30 MPa
	B	Médio	4	Bom	20	25	25	5	30 MPa
Porto Alegre	C	Médio	5	Bom	15	20	25	0 para laje/viga; 5	35 MPa
			6	Bom	15	20	25		30 MPa
			7	Bom	20	25	25	5	35 MPa
	D	Grande	8	Bom	20	25	25	5	30 MPa
			9	Bom	20	25	25	5	30 MPa

¹Medidas em mm obtidas no projeto estrutural.

Nenhuma das obras pesquisadas apresentou uma metodologia na disposição dos espaçadores, portanto nenhuma alcançou o nível de controle máximo. Esta também foi uma constatação de Silva (2012) e Campos (2013).

Percebe-se que, embora pertencentes a uma mesma empresa, as obras podem possuir níveis de controle distintos, como é o caso da obra 1 da empresa A, que possui nível intermediário, diferenciando-se das obras 2 e 3 da mesma empresa, que possuem nível bom.

No que diz respeito aos cobrimentos nominais de projeto, existem diferenças nas definições de projeto dentre as empresas, como é o caso da obra 2 que se diferencia das obras 1 e 3 da empresa A, assim como as obras 5 e 6 que se distinguem da obra 7, ambas da empresa C. Esta prática mostrou-se independente de localização e porte das empresas pesquisadas, visto que ocorreu nas duas cidades e em obras de diferentes portes. Tais diferenças não seriam esperadas uma vez que todas as obras pesquisadas eram de um mesmo tipo (residencial), não

havendo justificativa para alteração de classe de agressividade ambiental e, conseqüentemente, cobrimento de projeto.

A maioria dos projetos contemplaram a redução de 5 mm na tolerância de execução do cobrimento nominal. Esta redução é permitida por norma, desde que exista um adequado controle de qualidade e rígidos limites de tolerância da variabilidade das medidas durante a execução, embora nenhuma obra tenha apresentado claramente definidos os requisitos no projeto estrutural.

Segundo a nova atualização da NBR 6118 (2014), uma redução do cobrimento pode estar relacionada ao concreto de classe de resistência superior ao mínimo exigido pela norma. Esta seria uma explicação plausível para a diminuição do cobrimento nominal, com exceção da obra 1 que possui concreto de 25 MPa. Entretanto, este é um item contido na última revisão da norma, não se aplicando às obras pesquisadas.

Existem projetos que não contemplaram tolerância para execução do cobrimento nominal, como é o caso das obras 2, 5 e 6. Trata-se de uma decisão arriscada, visto que problemas na obtenção do cobrimento são recorrentes.

Estas duas práticas também ficaram evidenciadas nos trabalhos de Silva (2012) e Campos (2013) ao exporem os valores dos cobrimentos obtidos nos projetos das obras pesquisadas e estes contemplarem uma redução na tolerância normatizada, em alguns casos, excluindo-a.

Diante disto, reforça-se a afirmação de Marsh (2003), o qual aponta as graves deficiências no cobrimento também sendo resultado de erros de origem de projeto e não somente na execução.

4.2.2 Coleta dos dados

Os resultados obtidos nos levantamentos dos cobrimentos executados em obras encontram-se expostos na Tabela 10 e na Tabela 11.

Os coeficientes de variação dos elementos estruturais ficaram compreendidos entre 0,17 e 0,54, dentro dos valores verificados por Andrade (2001) que variavam de 0,14 a 0,54. A fim de categorizar os diversos níveis de controle de qualidade existentes na execução dos elementos de concreto armado, o autor propôs a classificação da Tabela 12.

Tabela 10 – Valores mínimos e máximos, em mm, dos cobrimentos executados medidos em obra após concretagem.

Cidade	Empresa	Obra	Elemento Estrutural							
			Laje		Viga				Pilar	
					Laterais		Fundo			
Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo			
Cuiabá	A	1	4,0	23,0	16,0	49,0	11,0	28,0	5,0	63,0
		2	5,0	19,0	9,0	43,0	2,0	13,0	5,0	66,0
		3	3,0	22,0	8,0	58,0	5,0	23,0	5,0	60,0
	B	4	9,0	20,0	14,0	44,0	5,0	25,0	5,0	51,0
Porto Alegre	C	5	5,0	17,0	3,0	42,0	3,0	17,0	4,0	60,0
		6	5,0	27,0	6,0	43,0	3,0	27,0	5,0	40,0
		7	2,0	18,0	4,0	48,0	5,0	31,0	3,0	60,0
	D	8	8,0	25,0	12,0	46,0	3,0	20,0	5,0	45,0
		9	2,0	23,0	6,0	48,0	6,0	24,0	3,0	41,0

Medidas do cobrimento em mm.

Tabela 11 - Resumo dos cobrimento executados medidos em obra após concretagem.

Cidade	Empresa	Obra	Elemento Estrutural							
			Laje		Viga				Pilar	
					Laterais		Fundo			
Média (mm)	Coef. Var (%)	Média (mm)	Coef. Var (%)	Média (mm)	Coef. Var (%)	Média (mm)	Coef. Var (%)			
Cuiabá	A	1	15,4	36%	31,0	30%	17,4	24%	32,0	39%
		2	13,2	32%	23,4	34%	7,5	37%	24,8	49%
		3	14,2	34%	31,5	42%	13,9	39%	29,1	45%
	B	4	15,6	17%	27,9	25%	11,8	38%	23,1	40%
Porto Alegre	C	5	10,9	31%	19,8	45%	10,3	38%	25,1	39%
		6	15,3	39%	22,1	50%	10,5	49%	22,3	41%
		7	9,9	45%	26,7	47%	19,2	35%	26,6	54%
	D	8	15,7	29%	24,7	31%	11,8	36%	24,0	37%
		9	16,3	28%	26,2	37%	15,4	30%	22,8	40%

Percebe-se que o pilar foi o elemento estrutural que apresentou maior coeficiente de variação, chegando a 54%. Tão elevados quanto os obtidos por Clark et al (1997) que atingiram 39%. Esta situação justifica-se pelo fato de que para cada cobrimento inferior existia um cobrimento superior devido ao deslocamento da armadura no elemento estrutural, conforme Figura 18. Em algumas situações, para as laterais de vigas também ocorre o mesmo.

Tabela 12 – Proposta de classificação do coeficiente de variação da espessura de cobrimento às armaduras, em função do controle empregado na execução.

Nível de controle	Coeficiente de variação da espessura de cobrimento (%)
Baixo	55
Médio	35
Alto	15

(Fonte: ANDRADE, 2001).

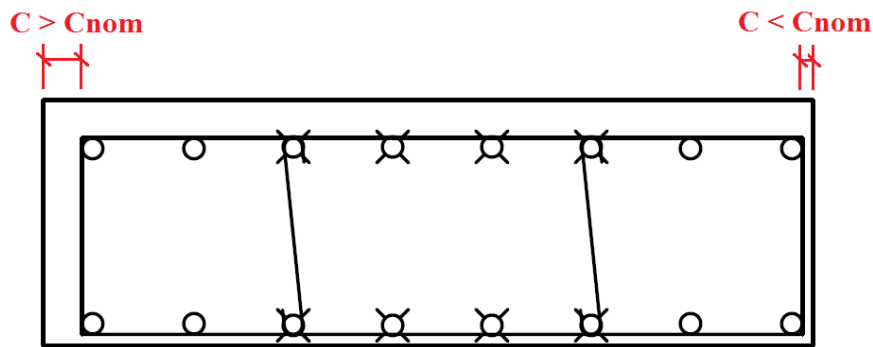


Figura 18- Deslocamento da armadura dentro do elemento estrutural.

Segundo a classificação da Tabela 12, nenhum elemento estrutural das obras avaliadas apresentou alto nível de controle. Entretanto, todos os projetistas, ao contemplarem uma redução de 5 mm na tolerância de execução do cobrimento nominal, consideraram a existência de rígidos limites de tolerância da variabilidade das medidas de execução.

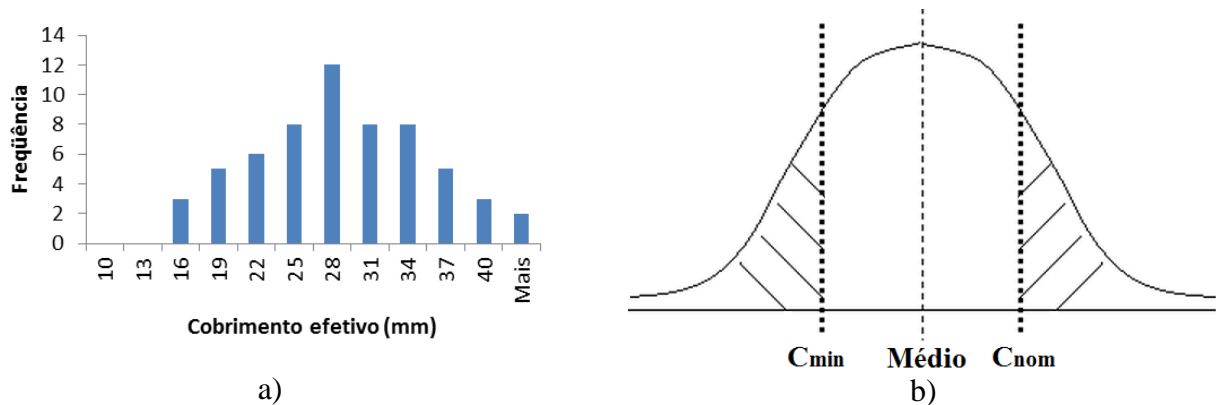


Figura 19 - Distribuição normal: a) diagrama de frequências relativas (histograma) dos cobrimentos efetivos das laterais de vigas da obra 4; b) gráfico de distribuição normal com indicativo das áreas referentes aos valores de cobrimento.

A partir dos dados expostos, cujo histograma está exemplificado na Figura 19a, calculou-se, através de uma curva normal, a probabilidade de ocorrência de valores diferentes dos limites

indicados na ABNT NBR 6118 (2014), como demonstrado na Figura 19b, ou seja, fora da tolerância admitida em norma, e neste caso, medidas consideradas insatisfatórias. Estes valores encontram-se indicados na Tabela 13.

Tabela 13 - Probabilidade de ocorrência de valores insatisfatórios.

Cidade	Empresa	Obra	Elemento Estrutural							
			Laje		Viga				Pilar	
					Laterais		Fundo			
			% ¹ < 15 mm	% ¹ > 25 mm	% ¹ < 20 mm	% ¹ > 30 mm	% ¹ < 20 mm	% ¹ > 30 mm	% ¹ < 20 mm	% ¹ > 30 mm
Cuiabá	A	1	46,9	4,2	12,0	54,2	73,1	0,1	16,5	56,5
		2	66,0	0,3	33,8	20,3	100,0	0,0	34,6	33,2
		3	56,3	1,3	19,6	54,3	86,7	0,2	24,3	47,4
	B	4	40,8	0,0	12,7	38,3	96,6	0,0	36,8	23,0
Porto Alegre	C	5	88,8	0,0	51,1	12,4	99,4	0,0	30,4	30,8
		6	47,8	5,4	42,4	23,6	96,8	0,0	39,9	20,1
		7	87,0	0,0	29,7	39,7	54,9	5,5	32,2	40,6
	D	8	43,7	2,2	26,8	24,6	97,5	0,0	32,7	25,2
		9	38,7	3,1	26,5	34,8	83,8	0,1	37,8	21,7

¹Probabilidade de ocorrência de valores.

Assim como o observado por em Clark et al (1997), todas as obras pesquisadas mostraram problemas na obtenção do correto cobrimento.

Dentre os elementos estruturais, todos apresentaram elevadas probabilidades de ocorrência de valores abaixo dos normatizados.

Para as lajes, a probabilidade de ocorrência de medidas insatisfatórias é praticamente nula para valores acima do normatizado e de 38,7% a 88,8% para valores abaixo do mínimo de norma.

A viga foi o elemento que obteve valores mais críticos, especificamente o fundo das mesmas, que apresentou elevadas probabilidades de cobrimentos insatisfatórios, sendo mais relevantes as medidas abaixo do valor normatizado, variando de 54,9% e atingindo a totalidade (100% no caso da obra 2). Entretanto os valores acima do especificado em norma não se mostrou expressivo para o fundo das vigas, excetuando-se a obra 7. Já para as laterais das vigas, as maiores probabilidade ocorreram tanto para valores abaixo do normatizado (entre 12% a 51,1%) quanto acima (12,4% a 54,3%).

Os pilares apresentaram uma elevada ocorrência de valores insatisfatórios tanto para medidas abaixo quanto acima do cobrimento normatizado. A probabilidade varia de 16,5% a 39,9% para valores abaixo do normatizado e 20,1% a 56,5% para valores acima do normatizado.

Resumidamente, a Tabela 14 apresenta a probabilidade de ocorrência de valores satisfatórios que volta a destacar o fundo da laje como o elemento estrutural mais afetado quanto à espessura de cobrimento.

Tabela 14 - Probabilidade de ocorrência de valores satisfatórios.

Cidade	Empresa	Obra	Elemento Estrutural			
			Laje	Viga		Pilar
				Laterais	Fundo	
				$15 \text{ mm} \leq \%^1 \leq 25 \text{ mm}$	$20 \text{ mm} \leq \%^1 \leq 30 \text{ mm}$	
Cuiabá	A	1	48,9	33,8	26,7	27,0
		2	33,7	45,9	0,0	32,2
		3	42,4	26,1	13,2	28,3
	B	4	59,2	48,9	3,4	40,3
Porto Alegre	C	5	11,2	36,5	0,6	38,8
		6	46,8	34,0	3,2	40,0
		7	12,9	30,6	39,6	27,2
	D	8	54,2	48,6	2,5	42,1
		9	58,2	38,8	16,1	40,5

¹Probabilidade de ocorrência de valores.

Campos (2013) apontou a laje como elemento estrutural mais prejudicado, que também se mostrou crítico neste estudo. Entretanto, o autor não levou em consideração em seu trabalho o fundo das vigas, que nesta pesquisa se destacou como a parte do elemento estrutural com a menor porcentagem de cobrimentos dentro do normatizado.

Levando-se em consideração a situação exemplificada na Figura 18, na qual para cobrimentos de faces opostas tem-se um valor superior e um inferior, pegando-se o menor deles, gerou-se os dados da Tabela 15 a fim de verificar a probabilidade de ocorrência de valores inferiores sem a interferência dos superiores. Percebe-se que as laterais de vigas e pilares também se mostraram elementos prejudicados, atingindo probabilidades de até 90,4% e 72,3% (respectivamente) de valores inferiores ao normatizado.

Estes dados, assim como os encontrados nos estudos de Clark et al (1997), deixam evidente que os valores de cobrimento requisitado e suas tolerâncias permitidas não são totalmente

cumpridas. Os autores vão mais além, afirmando que os dados confirmam que a falta de cobertura é um extenso problema crônico ao invés de esporádico.

Tabela 15 - Probabilidade de ocorrência de valores insatisfatórios levando em consideração o deslocamento da armadura dentro do elemento estrutural.

Cidade	Empresa	Obra	Elemento Estrutural					
			Lateral de viga			Pilar		
			Média mínima (mm)	Desvio Padrão	% ¹ < 20 mm	Média mínima (mm)	Desvio Padrão	% ¹ < 20 mm
Cuiabá	A	1	24,4	5,9	22,8	24,2	7,6	29,2
		2	17,3	4,3	73,4	18,6	9,2	56,0
		3	20,1	5,8	49,1	19,7	8,0	51,3
	B	4	22,6	4,4	27,8	16,7	6,3	69,7
Porto Alegre	C	5	13,7	4,8	90,4	19,1	4,9	57,8
		6	12,8	5,6	90,1	20,3	3,2	45,9
		7	16,5	8,7	65,6	16,3	7,8	68,1
	D	8	20,0	3,3	50,4	17,7	5,1	67,2
		9	18,8	6,0	57,8	16,2	6,4	72,3

¹Probabilidade de ocorrência de valores.

5 DESEMPENHO

O conceito de desempenho, segundo Spekkink (2005), é aplicável em diferentes níveis de decomposição e agregação de uma construção: construção como um todo, seus elementos, componentes e materiais.

5.1 ABORDAGEM DE DESEMPENHO

A abordagem de desempenho, conforme Gibson (1982), é a prática de pensar e trabalhar em termos de fins, ao invés de meios. Está preocupado com o que um produto é requerido a fazer e não com a prescrição de como ele será construído. Ou seja, resumidamente, desempenho é o comportamento em uso (ABNT NBR 15575, 2013) durante sua vida útil.

A forma de estabelecimento do desempenho é comum e internacionalmente pensada através da definição de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação, os quais permitem a mensuração clara de seu atendimento (ABNT NBR 15575, 2013).

Usuário é aquele que gera requisitos a serem atendidos por um produto, serviço ou sistema. De um modo genérico, os requisitos do usuário consistem em um enunciado geral, vago, qualitativo que define uma necessidade do cliente. Um requisito do usuário pode acarretar vários requisitos de desempenho (SPEKKINK, 2005).

Contexto de uso é aquele no qual o produto, serviço ou sistema está inserido, e no qual devem ser atendidos os requisitos do usuário.

Os requisitos dos usuários juntamente com o contexto de uso são traduzidos em requisitos e critérios de desempenho. Segundo a ABNT NBR 15575 (2013), requisitos de desempenho são condições que expressam qualitativamente os atributos que o produto deve possuir, a fim de que possam atender aos requisitos dos usuários. Por sua vez, critérios de desempenho são especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados.

Testes de desempenho são indispensáveis para fins de controle de qualidade (ROSTAM, 2005). Gibson (1982) afirma que não pode haver uma suposição sobre o desempenho de um produto sem uma base quantitativa para teste e posterior avaliação.

Neste sentido, a avaliação de desempenho busca analisar a adequação ao uso de um produto destinado a atender a uma determinada função, independentemente da solução técnica adotada. Para atingir esta finalidade, é realizada uma investigação sistemática baseada em métodos consistentes, capazes de produzir uma interpretação objetiva sobre o comportamento esperado do sistema nas condições de uso definidas (ABNT NBR 15575, 2013).

Para avaliar o desempenho é necessário desenvolver métodos que representem objetivamente seu comportamento e que permitam a medição de seus critérios.

Na avaliação de desempenho não se deve incluir valor de julgamento (GIBSON, 1982), ou seja, não existem bons ou maus produtos, existem produtos satisfatórios ou não satisfatórios a uma determinada condição de uso durante sua vida útil.

A ABNT NBR 15575 (2013) recomenda que a avaliação de desempenho seja realizada por instituições, laboratórios, empresas, equipes ou profissionais de reconhecida capacidade técnica.

De acordo com ABNT NBR 15575 (2013), existem diversos métodos de avaliação do desempenho, como por exemplo, ensaios (laboratoriais, em campo), inspeções (em protótipos ou em campo), simulações e análise de projetos. Tais métodos quase sempre envolvem alguma aproximação ou simplificação das condições reais de uso (GIBSON, 1982).

5.2 DESEMPENHO DOS ESPAÇADORES

Menezes e Azevedo (2009) apontam que a má execução da colocação dos espaçadores faz com que eles não desempenhem sua função. Helene (2013) reforça que, quando mal posicionados e fixados de forma errada, os espaçadores podem se soltar da armadura.

De acordo com Helene (2013), calcular mal a quantidade de espaçadores das armaduras pode causar o esmagamento deles devido à sobrecarga, causando o deslocamento da armadura. O engenheiro Egydio Hervé Neto, em entrevista para Nakamura (2011), reafirma que é preciso

respeitar a resistência dos espaçadores e posicioná-los correta e firmemente para evitar problemas.

Estas afirmações partem do pressuposto de que o uso dos espaçadores deve se adequar às características dos produtos existentes atualmente no mercado, e que o problema de cobertura restringe-se a critérios de disposição e fixação dos mesmos. No entanto, o ideal seria que o produto se adaptasse ao uso, e não o contrário. Não somente a resistência mecânica do espaçador é importante, mas também a forma de aplicação nas armaduras, sua fixação às mesmas, a uniformidade dimensional, entre outras características discutidas a seguir. Desta forma, é imprescindível uma abordagem de desempenho.

5.2.1 Requisitos e critérios de desempenho

Para os espaçadores, o usuário consiste, basicamente, no setor da construção civil, e o requisito deste usuário é garantir o correto posicionamento das armaduras durante a concretagem.

O contexto crítico de uso no qual os espaçadores têm que atender aos requisitos é o mesmo de uma concretagem, como exemplificado na Figura 20.



Figura 20 - Concretagem de pilares, vigas e lajes por bombeamento do concreto: a) carregamento do mangote sobre a laje; b) espalhamento e vibração do concreto.

Como um material componente do sistema estrutural, o espaçador tem que resistir às solicitações críticas do contexto inserido segundo suas condições reais, tais como o peso de pessoas e equipamentos sobre as armaduras durante a montagem das mesmas e a concretagem (RISSI, 2007), peso da própria armadura e do concreto lançado no elemento estrutural, acomodação e vibração do concreto, entre outros.

A partir dos requisitos dos usuários e contexto de uso apresentados, são definidos os requisitos e critérios de desempenho dos espaçadores, que consistem em uma base para teste e posterior avaliação.

Segundo a Norma Britânica (BS 7973-1, 2001), os requisitos dos espaçadores incluem suas dimensões, identificação, fixação, estabilidade, resistência e deformação linear no sentido do cobrimento.

Desta forma, para desempenhar satisfatoriamente seu papel, garantindo o correto posicionamento das armaduras durante a concretagem, um espaçador satisfatório deve atender aos requisitos e critérios a seguir.

5.2.1.1 Dimensionais

Os requisitos e critérios dimensionais são estabelecidos baseando-se na norma europeia (CEB, 1990) e norma britânica (BS 7973-1, 2001):

- a) proporcionar um único valor de cobrimento (CEB, 1990) ou um máximo dois cobrimentos em um mesmo espaçador, desde que estes estejam claramente identificáveis no produto (BS 7973-1, 2001). Assim, evitam-se erros na sua aplicação, onde a inversão na sua colocação poderiam gerar diferença de cobrimento não facilmente perceptível, conforme exemplificado na Figura 21.;

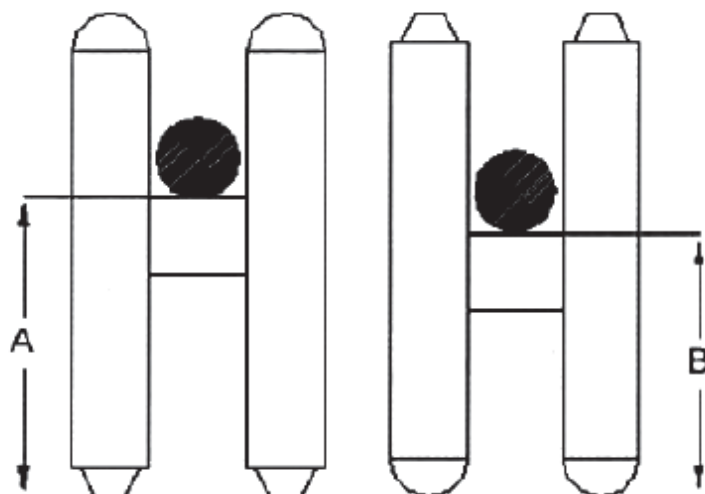


Figura 21 - Exemplo de um espaçador com duas possíveis posições de aplicação (VAQUERO, 2007).

- b) garantir o cobrimento nominal. Para isto, deve possuir com precisão a medida do cobrimento especificado pelo fabricante no momento de sua utilização, com uma tolerância de ± 1 mm para cobrimentos até 75 mm e ± 2 mm para cobrimentos maiores (CEB, 1990 e BS 7973-1, 2001). O espaçador deve possuir esta dimensão entre a base de apoio até o posicionamento final do aço no produto;
- c) dimensões mínimas (CEB, 1990 e BS 7973-1, 2001): para modelos que são fixados com o auxílio de arame (cadeirinhas e multiapoio), sua base deve possuir no mínimo 20 mm e no máximo 350 mm medidos na direção paralela à barra de aço, e no mínimo 0,75 da dimensão de cobrimento medidos perpendicular à barra, conforme orientações da Figura 22. Para modelos tipo circulares, o centro de apoio onde a barra fica acoplada tem que possuir uma espessura superior 0,5 do cobrimento proporcionado.

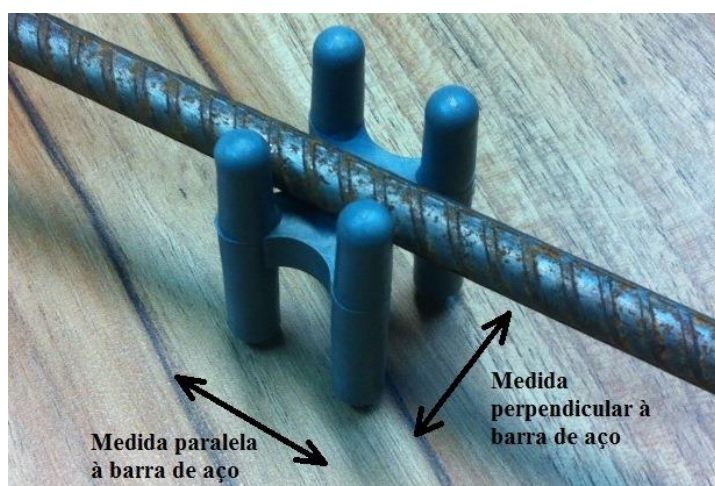


Figura 22 – Desenho explicativo do requisito de desempenho dimensional, dimensões mínimas.

5.2.1.2 Identificação

O produto deve ser de fácil identificação, mesmo quando misturados. Ou seja, a dimensão do cobrimento nominal deve estar indicada no produto em si (BS 7973-1, 2001), conforme mostrado na Figura 23a.

Embora nenhuma norma exija distinção além da identificação do cobrimento no produto, quando se tratar de um mesmo modelo, porém de cobrimentos diferentes, estes devem possuir cores distintas, como indicado na Figura 23b. Desta forma, evita-se que durante uma concretagem com diversas espessuras de cobrimento, o espaçador especificado se confunda com os demais, situação semelhante à da Figura 24.

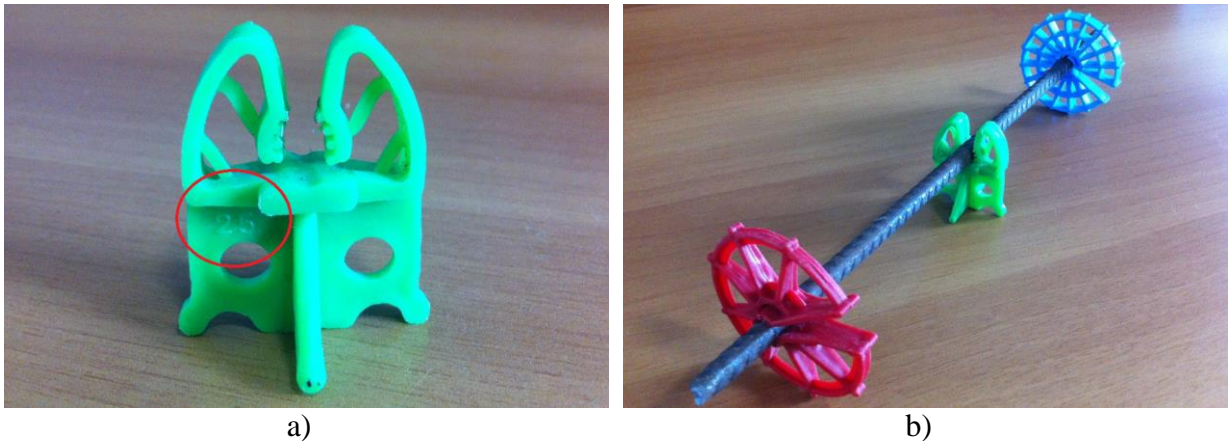


Figura 23 – Identificação: a) dimensão do cobrimento no produto; b) cores distintas entre espaçadores.

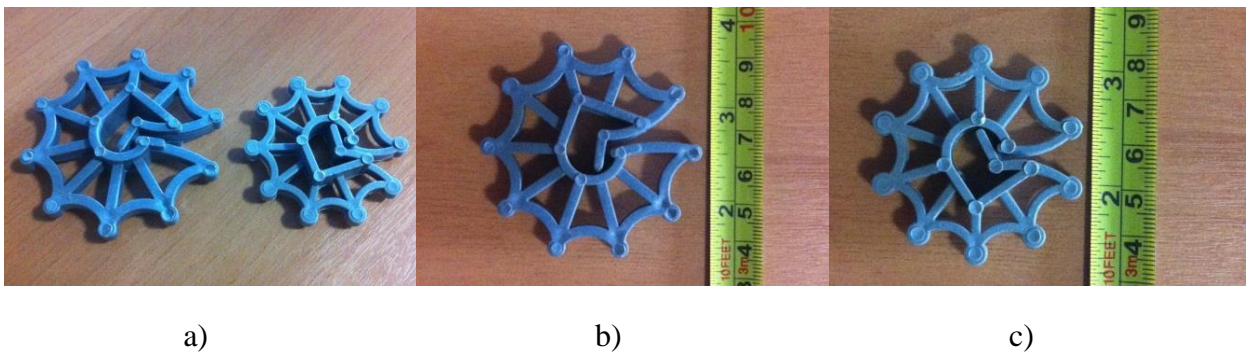


Figura 24 – a) Espaçador do mesmo fabricante, do mesmo tipo, e do mesmo modelo, porém com cobrimentos diferentes; b) espaçador para cobertura de 25 mm; c) espaçador para cobertura de 20 mm.

Além disto, o fabricante deve estar identificado no produto, seja pelo nome, logomarca ou cnpj, para fins de rastreabilidade.

5.2.1.3 Fixação

O espaçador deve possuir a capacidade de fixar-se na armadura e resistir ao deslocamento proposto por uma barra de aço com uma carga de 5 N (CEB, 1990 e BS 7973-1, 2001). Diante disto, todo espaçador deve possuir um item de fixação integrado ao produto, de modo a permitir que o mesmo se prenda à armadura, não se soltando e perdendo sua função, como ilustrado na Figura 25. Portanto, este item não pode ficar a cargo da equipe responsável pela montagem da armadura em obra, correndo o risco de não ser executado.



Figura 25 - Espaçadores que se soltaram da armadura, não desempenhando mais a sua função.

5.2.1.4 Estabilidade

O espaçador deve possuir uma estabilidade mínima, de modo que, quando solicitado durante uma concretagem, continue desempenhando seu papel, evitando-se assim problemas como o tombamento, exemplificado na Figura 26.



Figura 26 – Espaçador tombado durante um concretagem.

5.2.1.5 Capacidade de carga

O espaçador deve permanecer íntegro durante o processo de concretagem, resistindo ao carregamento imposto - como o peso da armadura, as operações de montagem e concretagem, o peso de operários e máquinas, entre outros - sob uma carga mínima estimada de 3,0 kN - máxima força sugerida pelo Comitê Euro-Internacional do Concreto (CEB, 1990) e pela Norma Britânica (BS 7973-1, 2001) - para espaçadores com grandes solicitações como os

utilizados em lajes e fundo de vigas (cadeirinhas e multiapoio), e uma carga mínima de 0,25 kN (força leve sugerida pelo Comitê Euro-Internacional do Concreto (CEB, 1990) e pela Norma Britânica 7973-1 (2001) para espaçadores utilizados nas laterais dos elementos, como os circulares. Estas forças devem ser resistidas sob uma deformação linear máxima permanente no sentido do cobrimento de 1 mm (CEB, 1990 e BS 7973-1, 2001), evitando situações como a da Figura 27.



Figura 27 - Deformação do espaçador diante da carga em serviço.

5.2.1.6 Aplicação

O espaçador deve ser facilmente aplicável às barras de aço. Deste modo, não há necessidade de mão de obra qualificada para sua aplicação. Para isto, não devem requerer mais de 0,15 kN (força aplicável por qualquer adulto) para sua colocação no maior diâmetro de barra informado segundo fabricante (CEB, 1990 e BS 7973-1, 2001).

6 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO

Após estabelecidos os requisitos e critérios de desempenho listados no item 5.2.1, são propostos métodos para sua verificação e avaliação.

6.1 DOS REQUISITOS DIMENSIONAIS

Apesar das normas estrangeiras não se manifestarem a respeito do método de avaliação dos requisitos e critérios dimensionais, foram desenvolvidos os métodos a seguir:

- a) o método de avaliação do desempenho do requisito “Proporcionar um único valor de cobrimento ou no máximo dois claramente identificados” consiste em uma inspeção visual e análise de projeto do produto. O desempenho é considerado satisfatório quando o espaçador proporcionar apenas um cobrimento ou, no caso de dois cobrimentos em um mesmo espaçador, estes estejam claramente identificados no produto;
- b) o método de avaliação do desempenho do requisito “Garantir o cobrimento nominal” consiste em uma inspeção dimensional através da aplicação de uma barra de aço ao espaçador, em seguida é medida, com o auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,02 mm, a distância (C) entre a base de apoio e o fundo da barra de aço, conforme a Figura 28, imediatamente antes e depois do espaçador. O desempenho é considerado satisfatório quando o cobrimento proporcionado pelo produto for igual ao especificado pelo fabricante com uma tolerância de ± 1 mm para cobrimentos até 75 mm e ± 2 mm para recobrimentos maiores.
- c) o método de avaliação do desempenho do requisito “Dimensões mínimas” também consiste em uma inspeção dimensional a qual é executada com o auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,02 mm, conforme Figura 29. O desempenho é considerado satisfatório quando as medidas atenderem aos valores especificados na Tabela 16.



Figura 28 - Método de avaliação do desempenho físico: a) em espaçadores tipo cadeirinha; b) em espaçadores circulares.

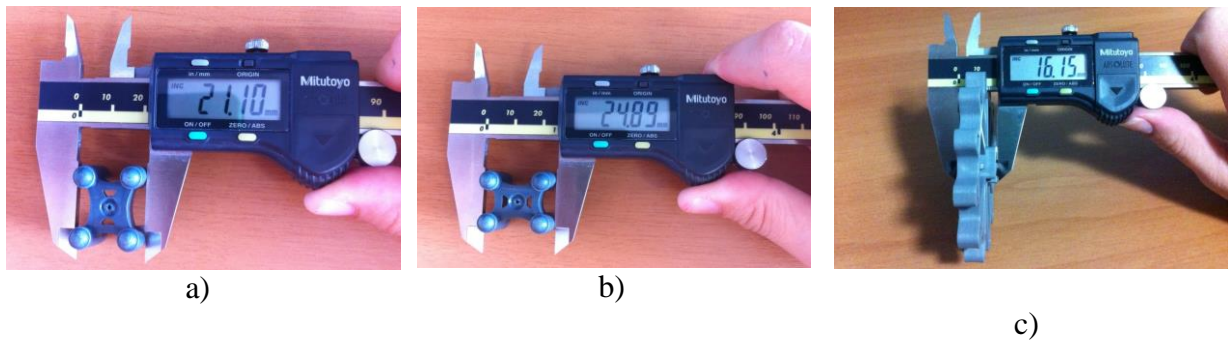


Figura 29 - Medição das dimensões dos espaçadores tipo cadeirinha: a) medida paralela ao posicionamento da barra; b) medida perpendicular ao posicionamento da barra; c) medida do centro de apoio do espaçador circular.

Tabela 16 – Parâmetros dimensionais para o requisito dimensões mínimas.

Modelo	Medida mínima da base	
	Perpendicular à barra de aço	Paralela à barra de aço
Cadeirinhas e multiapoio	$\geq 0,75$ cobrimento proporcionado	≥ 20 mm e ≤ 350 mm
Circulares	-	$\geq 0,5$ cobrimento proporcionado

(Fonte: CEB, 1990 e BS 7973-1, 2001).

6.2 DO REQUISITO IDENTIFICAÇÃO

O método de avaliação do desempenho deste requisito consiste em uma inspeção técnica do produto. Caso ele possua a informação do cobrimento nominal, cor diferenciada dos outros

espaçadores do mesmo modelo e identificação do fabricante, este é considerado satisfatório, caso contrário é considerado insatisfatório.

6.3 DO REQUISITO FIXAÇÃO

O método de avaliação do desempenho deste requisito consiste em uma inspeção técnica e análise do projeto do produto, de forma que, o espaçador deva apresentar um item de fixação integrado ao produto. Se o mesmo não possuir algum tipo de fixação integrado, automaticamente é considerado insatisfatório. Entretanto, se o produto apresentar o item de fixação, o método de avaliação é conforme o ensaio proposto pelo CEB (1990) e a Norma Britânica (BS 7973-1, 2001), no qual se aplica o espaçador a uma barra de aço limpa do menor diâmetro para o qual o espaçador se aplica, segundo o fabricante, com o peso de $0,5 \text{ kg} \pm 0,01 \text{ kg}$, conforme Figura 30.

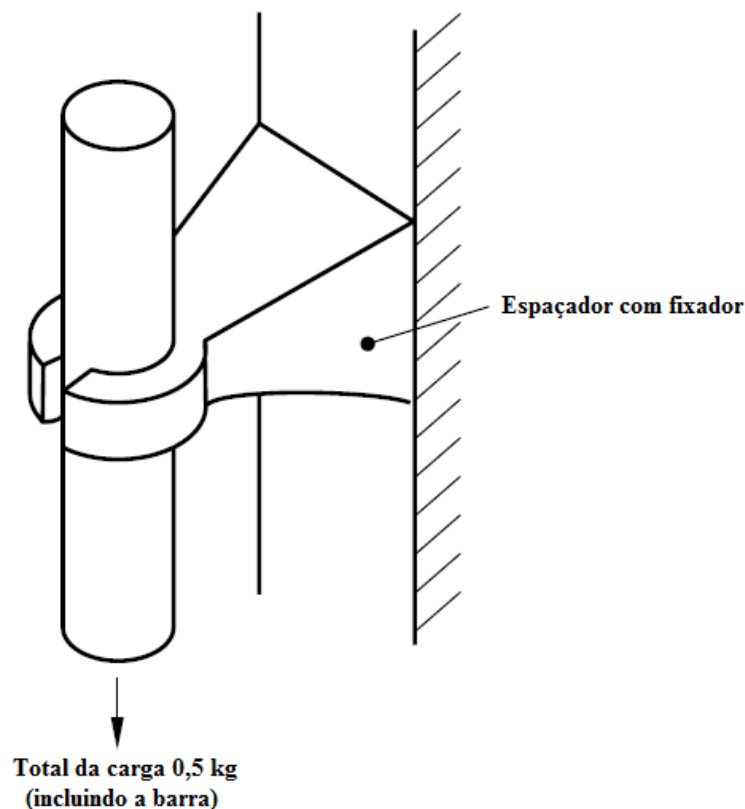


Figura 30 - Representação esquemática do ensaio de fixação do espaçador (CEB, 1990 e BS 7973-1, 2001).

Caso o espaçador impeça o deslizamento da barra, este é considerado satisfatório, caso contrário é considerado insatisfatório. O parâmetro do método de avaliação não contempla tolerâncias.

6.4 DO REQUISITO ESTABILIDADE

O método de avaliação do desempenho deste requisito consiste em inspeções dimensionais com auxílio de um paquímetro digital, conforme especificações do Comitê Euro-Internacional do Concreto (CEB, 1990) e da Norma Britânica (BS 7973-1, 2001).

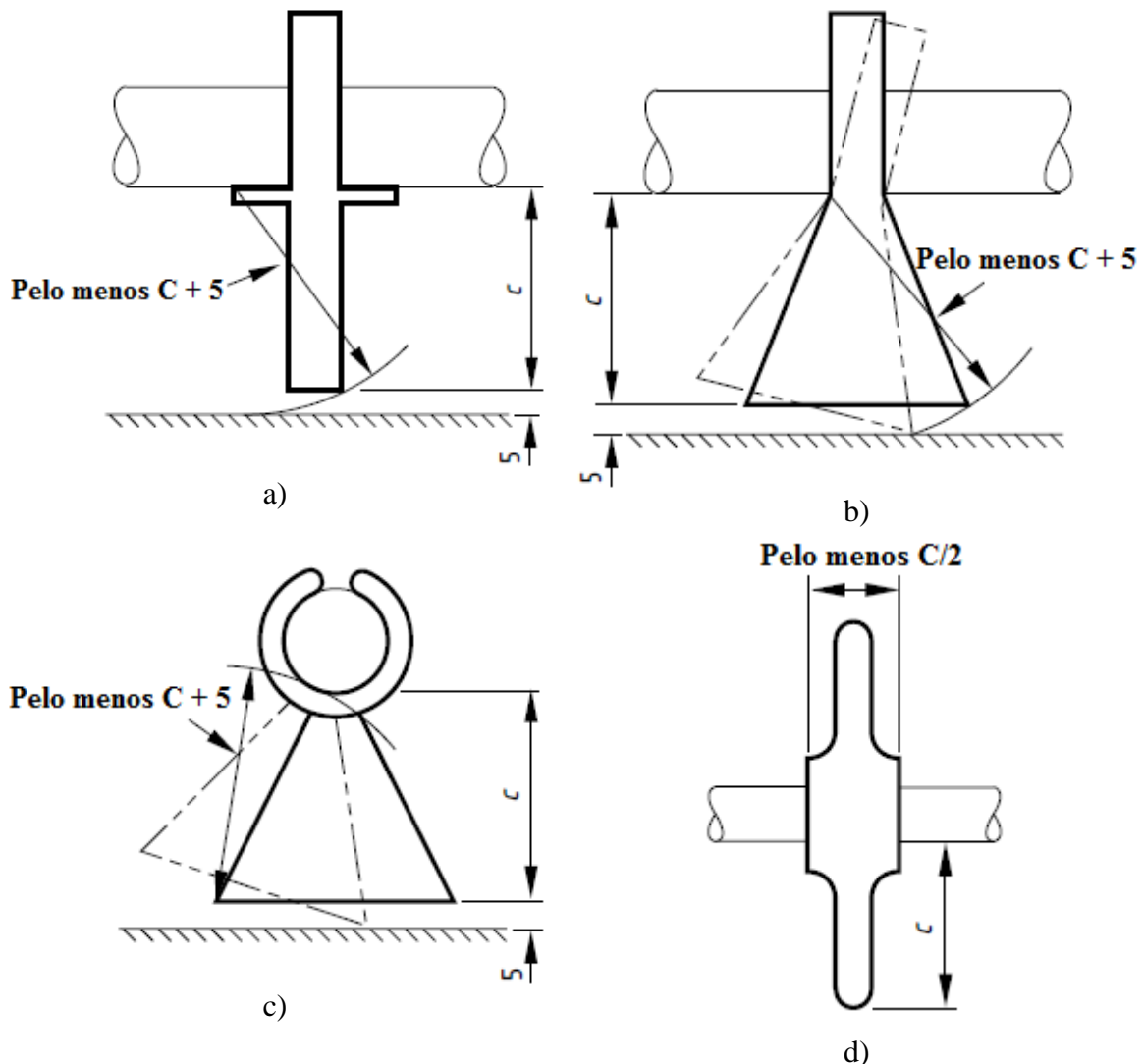


Figura 31 – Requisitos geométricos de estabilidade de espaçadores com fixadores integrados (CEB, 1990 e BS 7973-1, 2001): a) raio de rotação paralelo à barra de aço; b) raio de rotação paralelo à barra de aço; c) raio de rotação perpendicular à barra de aço; d) largura do apoio central de espaçadores circulares.

Para um espaçador com fixador integrado, exceto espaçador circular, a estabilidade é considerada assegurada quando, para o tombamento sobre a superfície de apoio, o espaçador assegurar um raio de rotação de pelo menos 5 mm maior do que o cobrimento fornecido pelo produto. Este raio deve ser provido pelo espaçador nas dimensões paralela e perpendicular à barra de aço ao qual é aplicado, conforme Figura 31 (a, b e c).

Espaçadores circulares não requerem um raio mínimo de rotação perpendicular à barra, a estabilidade é fornecida pela largura do apoio central paralelo à barra, que deve ser maior do que a metade do cobrimento fornecido, de acordo com o exemplificado na Figura 31d.

Espaçadores que não possuem item de fixação ou não atenderem aos parâmetros e critérios de desempenho descritos são considerados insatisfatórios.

6.5 DO REQUISITO CAPACIDADE DE CARGA

A avaliação do requisito capacidade de carga é uma adaptação do método proposto pelo CEB (1990) e Norma Britânica (BS 7973-1, 2001), que consiste em um ensaio laboratorial.

Para possibilitar a realização do ensaio, foi desenvolvido o primeiro dispositivo do Apêndice C, no qual se aplica o espaçador na barra de aço de 8 mm do dispositivo, assim como na Figura 32. Em seguida, insere-se o conjunto (dispositivo + espaçador) em uma prensa e aplica-se força até a capacidade de carga requerida do espaçador, conforme Tabela 17.



Figura 32 - Ensaio de capacidade de carga: a) em espaçadores circulares; b) em espaçadores cadeirinha.

Após a interrupção do ensaio, seja por rompimento ou por atingir a capacidade de carga, retirar o conjunto da prensa e verificar a deformação linear máxima permanente no sentido do

cobrimento, que deve ser menor do que 1 mm. Através do programa da prensa, são gerados gráficos de força *versus* deformação a respeito do comportamento do material.

No caso de espaçadores que possibilitam dois cobrimentos distintos, este deve ser testado em sua posição mais desfavorável, ou seja, aplicado no dispositivo conforme o maior cobrimento proporcionado. São considerados satisfatórios os produtos que atenderem aos critérios de desempenho estabelecidos.

Tabela 17 - Parâmetros para o valor da carga máxima aplicada no ensaio do método de avaliação do requisito capacidade de carga.

Espaçador	Solicitação	Capacidade de carga
Cadeirinha e Multiapoio	Pesada	3,0 kN
Circular	Leve	0,25 kN

(Fonte: ABNT NBR 6118, 2014).

Embora o CEB (1990) e a Norma Britânica (BS 7973-1, 2001) possuam um método diferente para esta avaliação (Figura 33), o ensaio proposto acima foi concebido com a finalidade de obter gráficos gerados pela prensa do comportamento do material quanto à força e deformação do mesmo.

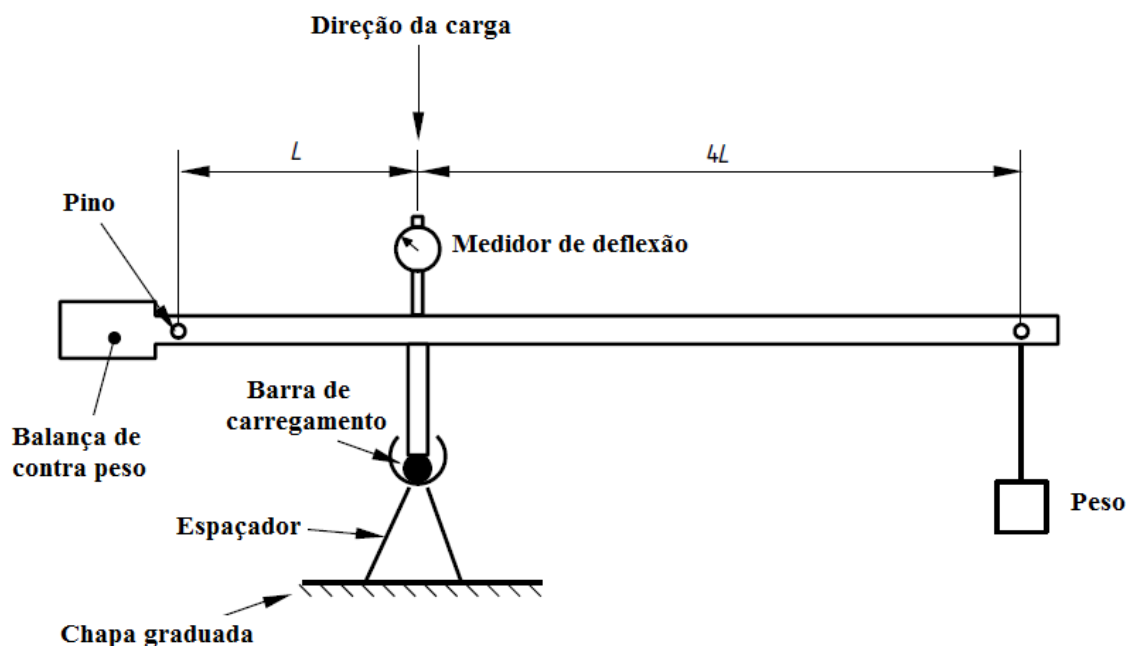


Figura 33 - Aparato para teste de capacidade de carga (CEB, 1990 e BS 7973-1, 2001).

6.6 DO REQUISITO APLICAÇÃO

O método de avaliação do desempenho deste requisito consiste em ensaio laboratorial no qual se apoia o espaçador sobre o maior diâmetro de barra recomendado pelo seu fabricante, em seguida, o conjunto é inserido em uma prensa, conforme Figura 34, e a carga é aplicada até o encaixe total do espaçador à barra de aço.

O produto é considerado satisfatório quando este não exigir mais de 0,15 kN de força para sua completa aplicação.

Apesar do CEB (1990) e a Norma Britânica (BS 7973-1, 2001) não indicarem um método específico para avaliação deste requisito, o ensaio proposto foi concebido a fim de se ter um método de avaliação deste requisito. Desta forma, desenvolveu-se o segundo dispositivo especificado no Apêndice C.



a)



b)

Figura 34 - Ensaio de aplicação do espaçador à barra de aço: a) em espaçadores circulares; b) em espaçadores cadeirinha.

6.7 VALIDAÇÃO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS ESPAÇADORES

Para validar os métodos de avaliação propostos, foram ensaiados 18 modelos de espaçadores de 5 fabricantes distintos (A, B, C, D e E), conforme Figura 35, Figura 36, Figura 37, Figura 38 e Figura 39, e mais 10 modelos de fornecedores não identificados (X) segundo Figura 40. Todos estes espaçadores foram obtidos nas obras onde se realizaram os levantamentos do cobrimento e consistem em 10 modelos de espaçadores no formato cadeirinha, 13 circulares e 5 multiapoio.

Seguindo critérios do Comitê Euro-Internacional do Concreto (CEB, 1990), um mínimo de 10 unidades de cada modelo específico foi testado de acordo com a avaliação proposta e no mínimo 90% das unidades devem satisfazer os requisitos propostos.

Sempre que uma amostra (de no mínimo 10 unidades do produto) não conseguir atender aos requisitos especificados anteriormente, todo o lote de espaçadores é rejeitado e considerado insatisfatório. A avaliação foi realizada com o auxílio da tabela do Apêndice B.

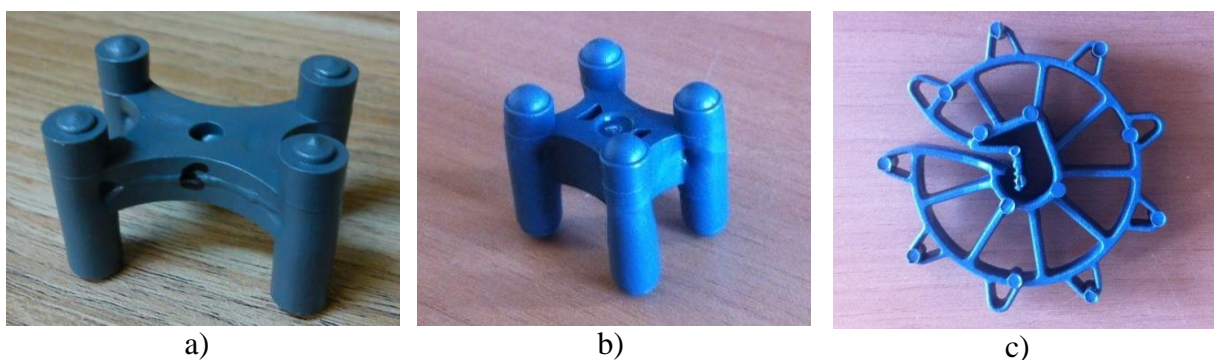


Figura 35 - Fabricante A: a) modelo A1; b) modelo A2; c) modelo A3.

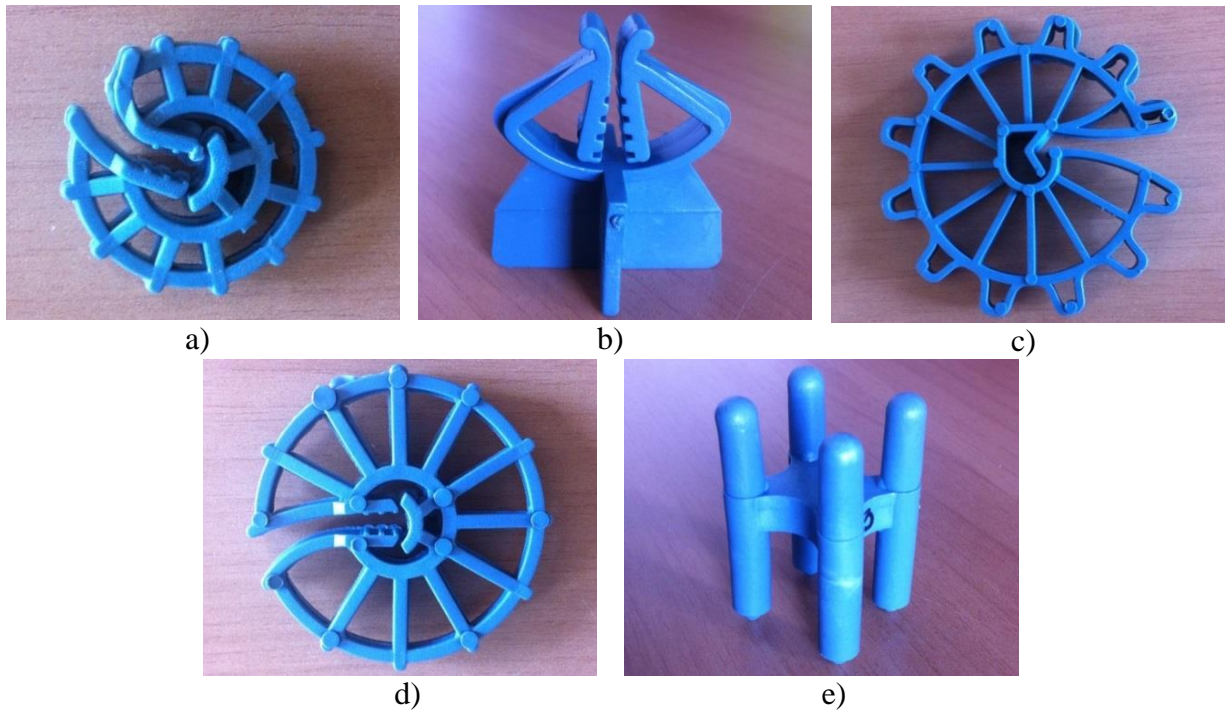


Figura 36 - Fabricante B: a) modelo B1; b) modelo B2; c) modelo B3; d) modelo B4; e) modelo B5.

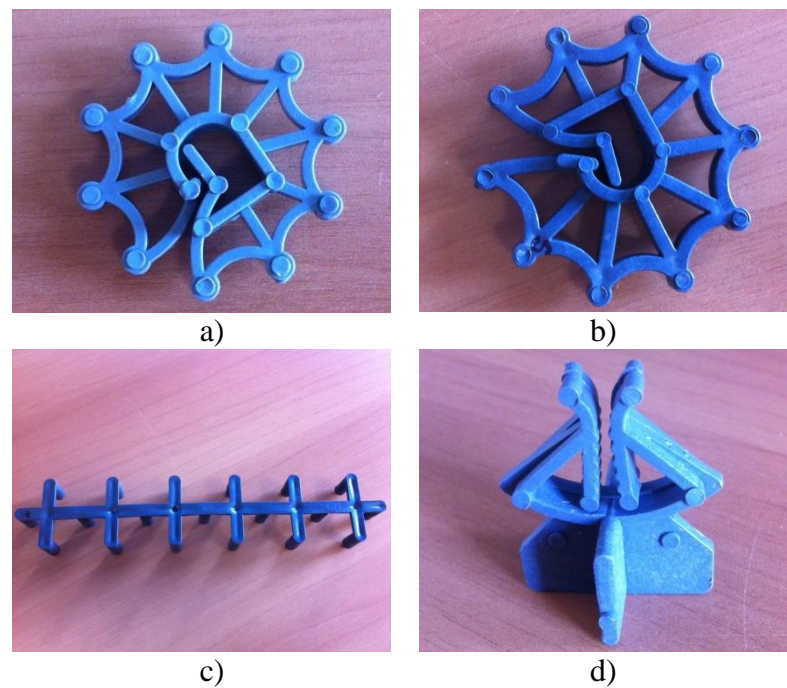


Figura 37 - Fabricante C: a) modelo C1; b) modelo C2; c) modelo C3; d) modelo C4.

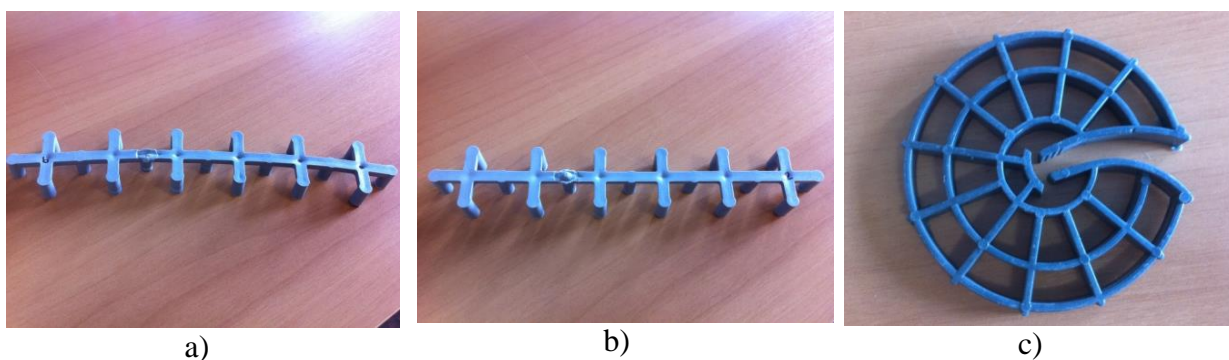


Figura 38 - Fabricante D: a) modelo D1; b) modelo D2; c) modelo D3.

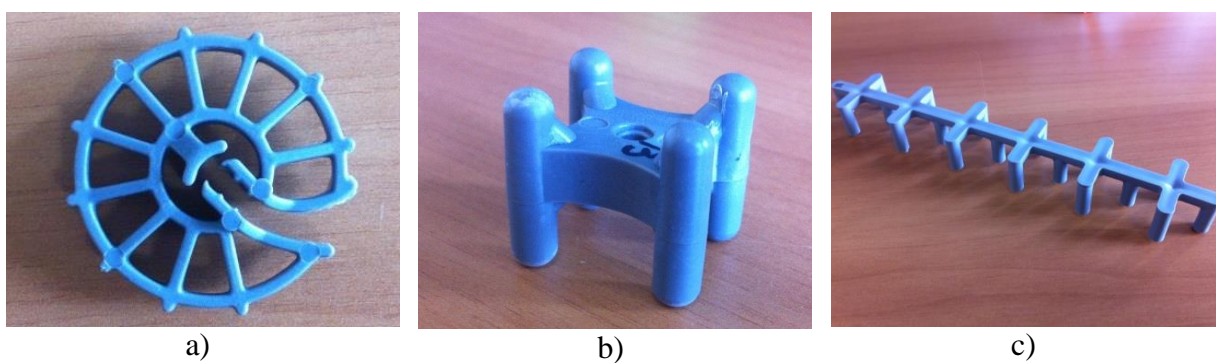


Figura 39 - Fabricante E: a) modelo E1; b) modelo E2; c) modelo E3.

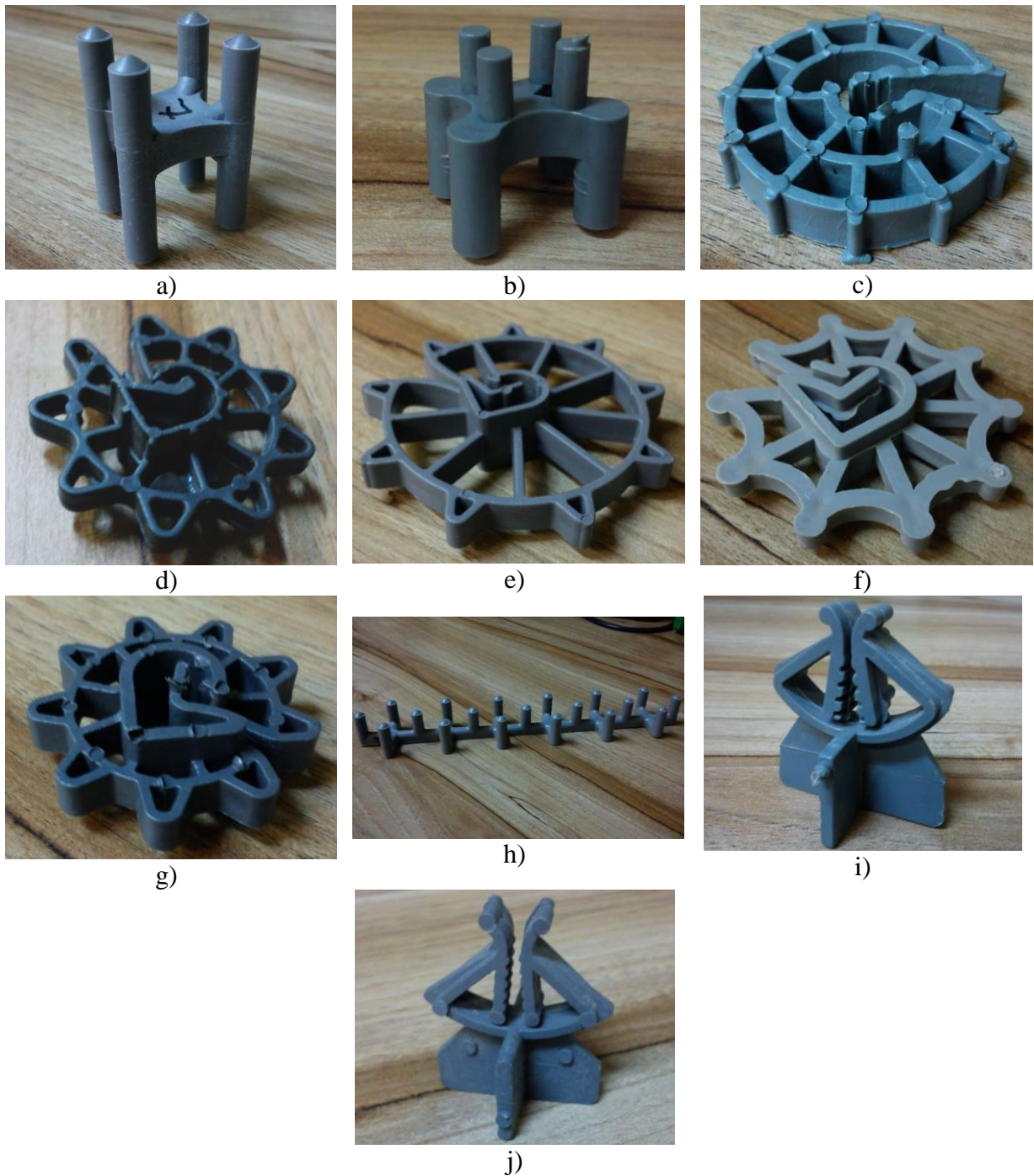


Figura 40 - Fabricantes desconhecidos: a) modelo X1; b) modelo X2; c) modelo X3; d) modelo X4; e) modelo X5; f) modelo X6; g) modelo X7; h) modelo X8; i) modelo X9; j) modelo X10.

7 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

A seguir, estão apresentados e discutidos os resultados obtidos separados por requisitos, tipos de espaçadores e fabricantes.

7.1 POR REQUISITOS

7.1.1 Dimensionais

Na Tabela 18 e na Tabela 19 se encontram as avaliações de desempenho dos espaçadores do formato cadeirinha, através das quais fica evidente que os modelos A1, A2, B5, E2 e X1 não satisfizeram o primeiro requisito dimensional. Entretanto, todas as cadeirinhas foram aprovadas na avaliação dos segundo e terceiro requisito dimensional.

Tabela 18 - Resultados da avaliação do requisito dimensional dos espaçadores de formato cadeirinha dos Fabricantes A, B e C.











Fabricante:	A				B			C
	A1		A2		B2	B5		C4
Modelo:								
Formato:	Cadeirinha		Cadeirinha		Cadeirinha	Cadeirinha		Cadeirinha
Cobrimento especificado:	15	20	15	20	20	25	30	20
Dimensionais	a) Proporciona um único cobrimento ou no máximo dois claramente identificados?		Não		Sim	Não		Sim
	b) Garante o cobrimento mínimo nominal?		Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Quantidade de unidades reprovadas:		0/15	0/15	0/15	0/15	0/15	0/15
	c) Possui as dimensões mínimas?		Sim		Sim	Sim		Sim
	Quantidade de unidades reprovadas:		0/15		0/15	0/15		0/15

Tabela 19 - Resultados da avaliação do requisito dimensional dos espaçadores de formato cadeirinha do Fabricante E e dos Fabricantes desconhecidos.

Fabricante:	E		X					
	E2		X1		X2	X9	X10	
Modelo:								
Formato:	Cadeirainha		Cadeirainha		Cadeirainha	Cadeirainha	Cadeirainha	
Cobrimento especificado:	15	20	25	30	20	20	20	
Dimensionais	a) Proporciona um único cobrimento ou no máximo dois claramente identificados?	Não		Não		Sim	Sim	Sim
	b) Garante o cobrimento mínimo nominal?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Quantidade de unidades reprovadas:	0/15	0/15	0/15	0/15	0/15	0/11	0/15
	c) Possui as dimensões mínimas?	Sim		Sim		Sim	Sim	Sim
	Quantidade de unidades reprovadas:	0/15		0/15		0/15	0/11	0/15

Para os espaçadores circulares, os resultados da avaliação de desempenho do requisito dimensional encontram-se na Tabela 20 e na Tabela 21. Nota-se que todos os modelos foram aprovados no primeiro requisito dimensional. Já no segundo requisito, apenas os modelos A3, B3, B4, D3 e E1 se mostraram satisfatórios. No último requisito dimensional, somente os modelos B3, B4, C2, D3 e X3 foram reprovados.

A avaliação de desempenho dos espaçadores do formato multiapoio está na Tabela 22, na qual fica demonstrado que, para o primeiro e terceiro requisito dimensional, todos os modelos mostraram-se satisfatórios. Entretanto, na avaliação do segundo requisito dimensional, apenas o modelo D1 e D2 foram reprovados, e assim considerados insatisfatórios.

Desta forma, dos 28 modelos de espaçadores avaliados, 10 foram aprovados em todos os requisitos dimensionais (B2, C4, X2, X9, X10, A3, E1, C3, E3 e X8) de forma que 18 foram considerados insatisfatórios em pelo menos uma alguma avaliação deste requisito.

Tabela 20 - Resultados da avaliação do requisito dimensional dos espaçadores de formato circular dos Fabricantes A, B e C.

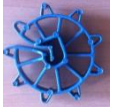





Geral	Fabricante:	A	B				C	
		A3	B1	B3	B4	C1	C2	
	Modelo:							
Formato:	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular		
Cobrimento especificado:	25	15	35	25	20	25		
Dimensionais	a) Proporciona um único cobrimento ou no máximo dois claramente identificados?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	
	b) Garante o cobrimento mínimo nominal?	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Não	
	Quantidade de unidades reprovadas:	0/15	8/15	0/15	0/15	15/15	15/15	
	c) Possui as dimensões mínimas?	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não	
	Quantidade de unidades reprovadas:	0/15	0/15	15/15	15/15	0/15	15/15	

Tabela 21 - Resultados da avaliação do requisito dimensional dos espaçadores de formato circular dos Fabricantes D, E e Fabricantes desconhecidos.

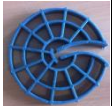

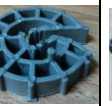
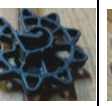
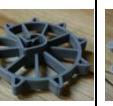







Geral	Fabricante:	D	E	X				
		D3	E1	X3	X4	X5	X6	X7
	Modelo:							
Formato:	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	
Cobrimento especificado:	40	20	20	20	30	20	15	
Dimensionais	a) Proporciona um único cobrimento ou no máximo dois claramente identificados?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	b) Garante o cobrimento mínimo nominal?	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
	Quantidade de unidades reprovadas:	0/15	0/15	2/10	13/14	14/14	15/15	3/15
	c) Possui as dimensões mínimas?	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
	Quantidade de unidades reprovadas:	15/15	0/15	10/10	0/14	0/14	0/15	0/15

Tabela 22 - Resultados da avaliação do requisito dimensional dos espaçadores de formato multiapoio dos Fabricantes C, D, E e Fabricantes desconhecidos.

Geral	Fabricante:	C	D		E	X
		C3	D1	D2	E3	X8
	Modelo:					
Formato:	Multiapoio	Multiapoio	Multiapoio	Multiapoio	Multiapoio	
Cobrimento especificado:	25	15	20	25	25	
Dimensionais	a) Proporciona um único cobrimento ou no máximo dois claramente identificados?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	b) Garante o cobrimento mínimo nominal?	Sim	Não	Não	Sim	Sim
	Quantidade de unidades reprovadas:	0/12	15/15	15/15	0/15	0/15
	c) Possui as dimensões mínimas?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Quantidade de unidades reprovadas:	0/12	0/15	0/15	0/15	0/15

7.1.2 Identificação

Na avaliação do requisito identificação, nenhum modelo de espaçador avaliado apresentou o cobrimento nominal e fabricante indicado no produto em si.

Quanto à diferenciação de cores de um mesmo modelo, porém com cobrimentos diferentes, nenhum fabricante identificado (Fabricantes A, B, C, D e E) possui esta distinção entre seus modelos. O mesmo não pode ser afirmado para os fabricantes não identificados (fabricantes desconhecidos), pois o desconhecimento do produtor impediu o rastreamento dos produtos de mesmo modelo.

Embora nenhum modelo avaliado tenha satisfeito este requisito, existem espaçadores que seriam aprovados na avaliação, como os mostrados na Figura 41. No entanto, estes não foram avaliados, pois não se dispunha de uma amostra suficiente para avaliação.



Figura 41 - Espaçadores que satisfazem o requisito identificação.

7.1.3 Fixação

Como não existia, para todos os modelos avaliados, especificação do fabricante em relação ao diâmetro mínimo de armadura para o qual os espaçadores são adequados, adotou-se o menor diâmetro permitido para estribos, 5 mm, segundo a ABNT NBR 6118 (2014).

Na Tabela 23 e na Tabela 24 se encontram as avaliações do requisito fixação do modelo cadeirinha. Apesar dos modelos B2, C4, X9 e X10 terem apresentado item de fixação, este não foi capaz de impedir o deslizamento da barra de aço, logo nenhum modelo atendeu satisfatoriamente aos requisitos e critérios estabelecidos, sendo todos reprovados segundo o método de avaliação proposto.

Tabela 23 - Resultados da avaliação do requisito fixação dos espaçadores de formato cadeirinha dos Fabricantes A, B e C.




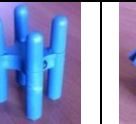






Geral	Fabricante:	A				B		C	
	Modelo:	A1		A2		B2	B5	C4	
									
	Formato:	Cadeirinha		Cadeirinha		Cadeirinha	Cadeirinha	Cadeirinha	
	Cobrimento especificado:	15	20	15	20	20	25	30	
Fixação	Possui item de fixação integrado?	Não		Não		Sim	Não		Sim
	→ Se SIM, este impede o deslizamento da barra?	N/A		N/A		Não	N/A		Não
	Quantidade de unidades reprovadas:	15/15		15/15		3/15	15/15		4/15

Tabela 24 - Resultados da avaliação do requisito fixação dos espaçadores de formato cadeirinha do Fabricante E e dos Fabricantes desconhecidos.

Geral	Fabricante:	E		X			
	Modelo:	E2		X1	X2	X9	X10
							
	Formato:	Cadeirinha		Cadeirinha	Cadeirinha	Cadeirinha	Cadeirinha
	Cobrimento especificado:	15	20	25	30	20	20
Fixação	Possui item de fixação integrado?	Não		Não	Não	Sim	Sim
	→ Se SIM, este impede o deslizamento da barra?	N/A		N/A	N/A	Não	Não
	Quantidade de unidades reprovadas:	15/15		15/15	15/15	4/11	6/15

Já para os modelos circulares, o resultado da avaliação está na Tabela 25 e na Tabela 26. Devido aos modelos circulares apresentarem item de fixação, todos foram testados e a maioria aprovados. Entretanto, os modelos D3 e X3 foram reprovados, pois não resistiram ao deslocamento da barra de aço.

Tabela 25 - Resultados da avaliação do requisito fixação dos espaçadores de formato circular dos Fabricantes A, B e C.









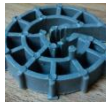

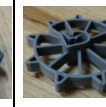

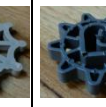





Geral	Fabricante:	A	B			C	
	Modelo:	A3	B1	B3	B4	C1	C2
							
	Formato:	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular
	Cobrimento especificado:	25	15	35	25	20	25
Fixação	Possui item de fixação integrado?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	→ Se SIM, este impede o deslizamento da barra?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Quantidade de unidades reprovadas:	0/15	0/15	0/15	0/15	0/15	0/15

Tabela 26 - Resultados da avaliação do requisito fixação dos espaçadores de formato circular dos Fabricantes D, E e Fabricantes desconhecidos.

Geral	Fabricante:	D	E	X				
		D3	E1	X3	X4	X5	X6	X7
	Modelo:							
Formato:	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	
Cobrimento especificado:	40	20	20	20	30	20	15	
Fixação	Possui item de fixação integrado?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	→ Se SIM, este impede o deslizamento da barra?	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
	Quantidade de unidades reprovadas:	15/15	0/15	10/10	0/14	0/14	0/15	1/15

Assim como os espaçadores cadeirinha, todos os modelos de formato multiapoio tiveram o seu desempenho reprovado. O desempenho insatisfatório se deu de forma automática por não possuírem item de fixação, conforme Tabela 27.

Tabela 27 - Resultados da avaliação do requisito fixação dos espaçadores de formato multiapoio dos Fabricantes C, D, E e Fabricantes desconhecidos.

Geral	Fabricante:	C	D		E	X
		C3	D1	D2	E3	X8
	Modelo:					
Formato:	Multiapoio	Multiapoio	Multiapoio	Multiapoio	Multiapoio	
Cobrimento especificado:	25	15	20	25	25	
Fixação	Possui item de fixação integrado?	Não	Não	Não	Não	Não
	→ Se SIM, este impede o deslizamento da barra?	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Quantidade de unidades reprovadas:	15/15	15/15	15/15	15/15	15/15

De uma forma geral, dos 28 modelos de espaçadores avaliados no requisito fixação, somente 17 modelos apresentaram item de fixação, dos quais apenas 11 (A3, B1, B3, B4, C1, C2, E1, X4, X5, X6 e X7) foram aprovados.

7.1.4 Estabilidade

Para o requisito estabilidade, os resultados das avaliações dos espaçadores de formato cadeirinha estão expostos na Tabela 28 e na Tabela 29. Conforme informado, nenhum modelo foi aprovado segundo o método de avaliação proposto.

Tabela 28 - Resultados da avaliação do requisito estabilidade dos espaçadores de formato cadeirinha dos Fabricantes A, B e C.











Geral	Fabricante:	A				B			C
	Modelo:	A1		A2		B2	B5		C4
									
	Formato:	Cadeirainha		Cadeirainha		Cadeirainha	Cadeirainha		Cadeirainha
Cobrimento especificado:	15	20	15	20	20	25	30	20	
Estabilidade	Possui estabilidade?	Não		Não		Não	Não		Não
	Quantidade de unidades reprovadas:	15/15		15/15		15/15	15/15		15/15

Tabela 29 - Resultados da avaliação do requisito estabilidade dos espaçadores de formato cadeirinha do Fabricante E e dos Fabricantes desconhecidos.

Geral	Fabricante:	E		X			
	Modelo:	E2		X1	X2	X9	X10
							
	Formato:	Cadeirainha		Cadeirainha	Cadeirainha	Cadeirainha	Cadeirainha
Cobrimento especificado:	15	20	25	30	20	20	20
Estabilidade	Possui estabilidade?	Não		Não	Não	Não	Não
	Quantidade de unidades reprovadas:	15/15		15/15	15/15	15/15	10/11

Para o formato circular, embora todos possuam item de fixação, item essencial para proporcionar estabilidade, apenas os modelos A3, B1, C1, E1, X4, X5, X6 e X7 foram

aprovados no método de avaliação proposto. Os demais modelos de formato circular apresentaram desempenho insatisfatório, segundo Tabela 30 e Tabela 31.

Tabela 30 - Resultados da avaliação do requisito estabilidade dos espaçadores de formato circular dos Fabricantes A, B e C.









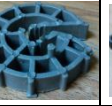
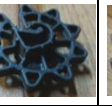
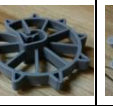







Geral	Fabricante:	A		B		C	
	Modelo:	A3	B1	B3	B4	C1	C2
		     	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular
Formato:	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	
Cobrimento especificado:	25	15	35	25	20	25	
Estabilidade	Possui estabilidade?	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não
	Quantidade de unidades reprovadas:	0/15	15/15	15/15	14/15	0/15	15/15

Tabela 31 - Resultados da avaliação do requisito estabilidade dos espaçadores de formato circular dos Fabricantes D, E e Fabricantes desconhecidos.

Geral	Fabricante:	D	E	X				
	Modelo:	D3	E1	X3	X4	X5	X6	X7
		      	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular
Formato:	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	
Cobrimento especificado:	40	20	20	20	30	20	15	
Estabilidade	Possui estabilidade?	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
	Quantidade de unidades reprovadas:	15/15	0/15	10/10	0/14	0/14	0/15	0/15

Por não apresentarem item de fixação, os modelos de formato multiapoio nem foram avaliados, sendo automaticamente considerados insatisfatórios, conforme Tabela 32.

Tabela 32 - Resultados da avaliação do requisito estabilidade dos espaçadores de formato multiapoio dos Fabricantes C, D, E e Fabricantes desconhecidos.

Geral	Fabricante:	C		D		E	X
		C3		D1	D2	E3	X8
	Modelo:						
Formato:	Multiapoio		Multiapoio	Multiapoio	Multiapoio	Multiapoio	
Cobrimento especificado:	25		15	20	25	25	
Estabilidade	Possui estabilidade?	Não		Não	Não	Não	Não
	Quantidade de unidades reprovadas:	15/15		15/15	15/15	15/15	15/15

Resumidamente, na avaliação do requisito estabilidade se obtiveram 8 modelos aprovados e 20 modelos reprovados segundo o método de avaliação proposto.

7.1.5 Capacidade de carga

Conforme definido, a avaliação deste requisito depende de duas variáveis: capacidade de carga resistida e deformação linear máxima permanente. Para os modelos de formato cadeirinha, os resultados se encontram na Tabela 33 e na Tabela 34.

Tabela 33 - Resultados da avaliação do requisito capacidade de carga dos espaçadores de formato cadeirinha dos Fabricantes A, B e C.





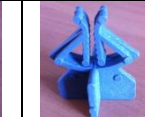





Geral	Fabricante:	A				B		C
		A1		A2		B2	B5	C4
	Modelo:							
Formato:	Cadeirinha		Cadeirinha		Cadeirinha	Cadeirinha		
Cobrimento especificado:	15	20	15	20	20	25	30	
Capacidade de Carga	Possui capacidade de carga?	Não		Não		Sim	Não	
	Quantidade de unidades reprovadas:	14/14		15/15		1/14	15/15	
	→ Se SIM, a deformação linear permanente foi menor que 1 mm?	N/A		N/A		Sim	N/A	
	Quantidade de unidades reprovadas:	14/14		15/15		1/14	15/15	

Tabela 34 - Resultados da avaliação do requisito capacidade de carga dos espaçadores de formato cadeirinha do Fabricante E e dos Fabricantes desconhecidos.

Geral	Fabricante:	E		X			
	Modelo:	E2		X1	X2	X9	X10
							
	Formato:	Cadeirinha		Cadeirinha	Cadeirinha	Cadeirinha	Cadeirinha
Cobrimento especificado:	15	20	25	30	20	20	20
Capacidade de Carga	Possui capacidade de carga?	Não		Não	Não	Sim	Não
	Quantidade de unidades reprovadas:	15/15		15/15	15/15	0/11	15/15
	→ Se SIM, a deformação linear permanente foi menor que 1 mm?	N/A		N/A	N/A	Sim	N/A
	Quantidade de unidades reprovadas:	15/15		15/15	15/15	0/11	15/15

Nota-se que, dos 10 modelos avaliados, apenas 2 (B2 e X9) comprovaram desempenho satisfatório neste requisito, enquanto o restante foi considerado insatisfatório.

Na Tabela 35 e na Tabela 36 se encontram os resultados da avaliação do requisito capacidade de carga para os formatos circulares.

Tabela 35 - Resultados da avaliação do requisito capacidade de carga dos espaçadores de formato circular dos Fabricantes A, B e C.





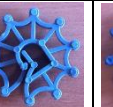




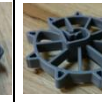


Geral	Fabricante:	A	B			C	
	Modelo:	A3	B1	B3	B4	C1	C2
							
	Formato:	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular
Cobrimento especificado:	25	15	35	25	20	25	
Capacidade de Carga	Possui capacidade de carga?	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Sim
	Quantidade de unidades reprovadas:	1/15	2/15	0/15	2/15	1/14	0/15
	→ Se SIM, a deformação linear permanente foi menor que 1 mm?	Não	N/A	Não	N/A	Sim	Não
	Quantidade de unidades reprovadas:	13/15	15/15	3/15	15/15	1/14	4/15

Tabela 36 - Resultados da avaliação do requisito capacidade de carga dos espaçadores de formato circular dos Fabricantes D, E e Fabricantes desconhecidos.






Geral	Fabricante:	D	E	X				
		D3	E1	X3	X4	X5	X6	X7
	Modelo:							
	Formato:	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular
	Cobrimento especificado:	40	20	20	20	30	20	15
Capacidade de Carga	Possui capacidade de carga?	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
	Quantidade de unidades reprovadas:	0/15	1/15	0/10	2/14	0/14	1/14	0/14
	→ Se SIM, a deformação linear permanente foi menor que 1 mm?	Não	Não	Não	N/A	Não	Sim	Não
	Quantidade de unidades reprovadas:	11/15	15/15	2/10	5/14	2/14	1/14	5/14

Embora a maioria dos modelos de espaçadores circulares terem resistido à carga mínima exigida, muitos obtiveram deformação linear permanente superior à máxima permitida. Portanto, somente os modelos C1 e X6 apresentaram deformação linear permanente inferior a 1 mm e foram aprovados, apresentando desempenho satisfatório.

Nenhum modelo de formato multiapoio foi aprovado segundo o método de avaliação proposto, conforme a Tabela 37. De todos os formatos, este foi o que mais apresentou variabilidade na carga resistida. Isso se justifica a diversidade de posições permitidas para sua aplicação. Podendo o mesmo ser posicionado perpendicular, paralelo, ou na diagonal à barra.

No geral, dos 28 modelos de espaçadores avaliados neste requisito, 4 (B2, X9, C1 e X6) apresentaram desempenho satisfatório e 24 apresentaram desempenho insatisfatório segundo método de avaliação estabelecido.

Tabela 37 - Resultados da avaliação do requisito capacidade de carga dos espaçadores de formato multiapoio dos Fabricantes C, D, E e Fabricantes desconhecidos.

Geral	Fabricante:	C	D		E	X
		C3	D1	D2	E3	X8
	Modelo:					
Formato:	Multiapoio	Multiapoio	Multiapoio	Multiapoio	Multiapoio	
Cobrimento especificado:	25	15	20	25	25	
Capacidade de Carga	Possui capacidade de carga?	Não	Não	Não	Não	Não
	Quantidade de unidades reprovadas:	12/12	15/15	15/15	15/15	15/15
	→ Se SIM, a deformação linear permanente foi menor que 1 mm?	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Quantidade de unidades reprovadas:	12/12	15/15	15/15	15/15	15/15

7.1.6 Aplicação

Diferentemente dos modelos de espaçadores de fabricantes identificados, os modelos que possuem fabricantes desconhecidos foram avaliados segundo um método alternativo, pois os mesmos não continham a informação do maior diâmetro recomendado para sua aplicação. Tal método consistiu de tentativa e erro, no qual o espaçador é aplicado desde os diâmetros menores até os maiores progressivamente, até o mesmo não conseguir ser encaixado com a força máxima requerida.

Os resultados da avaliação para os modelos de formato cadeirinha estão expostos na Tabela 38 e na Tabela 39, através das quais fica evidente que apenas os modelos B2 e C4 foram reprovados, apresentando desempenho insatisfatório.

Tabela 38 - Resultados da avaliação do requisito aplicação dos espaçadores de formato cadeirinha dos Fabricantes A, B e C.




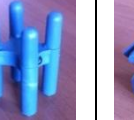



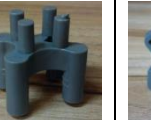


Geral	Fabricante:	A				B		C	
	Modelo:	A1		A2		B2	B5	C4	
									
Formato:	Cadeirinha		Cadeirinha		Cadeirinha	Cadeirinha		Cadeirinha	
Cobrimento especificado:	15	20	15	20	20	25	30	20	
Aplicação	Possui fácil aplicação?	Sim		Sim		Não	Sim		Não
	Quantidade de unidades reprovadas:	0/15		0/15		15/15	0/15		15/15

Tabela 39 - Resultados da avaliação do requisito aplicação dos espaçadores de formato cadeirinha do Fabricante E e dos Fabricantes desconhecidos.

Geral	Fabricante:	E				X	
	Modelo:	E2		X1	X2	X9	X10
							
Formato:	Cadeirinha		Cadeirinha	Cadeirinha	Cadeirinha	Cadeirinha	
Cobrimento especificado:	15	20	25	30	20	20	20
Aplicação	Possui fácil aplicação?	Sim		Sim	Sim, até aços $\phi 6,3$ mm.	Sim, até aços $\phi 6,3$ mm.	Sim, até aços $\phi 12,5$ mm.
	Quantidade de unidades reprovadas:	0/15		0/15	0/15	0/11	0/15

Para os formatos circulares, os modelos A3, B3, C1 e C2 foram considerados insatisfatório, pois foram reprovados na avaliação de desempenho. Enquanto que, todos os outros modelos foram aprovados neste requisito, conforme Tabela 40 e Tabela 41.

Tabela 40 - Resultados da avaliação do requisito aplicação dos espaçadores de formato circular dos Fabricantes A, B e C.









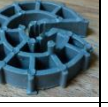
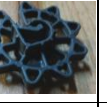
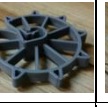
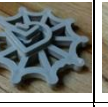






Geral	Fabricante:	A	B				C	
		A3	B1	B3	B4	C1	C2	
	Modelo:							
Formato:	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular		
Cobrimento especificado:	25	15	35	25	20	25		
Aplicação	Possui fácil aplicação?	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	
	Quantidade de unidades reprovadas:	15/15	0/15	15/15	0/15	15/15	15/15	

Tabela 41 - Resultados da avaliação do requisito aplicação dos espaçadores de formato circular dos Fabricantes D, E e Fabricantes desconhecidos.

Geral	Fabricante:	D	E	X				
		D3	E1	X3	X4	X5	X6	X7
	Modelo:							
Formato:	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular	Circular
Cobrimento especificado:	40	20	20	20	30	20	15	
Aplicação	Possui fácil aplicação?	Sim	Sim	Sim, até aços ϕ 12,5 mm.	Sim, até aços ϕ 6,3 mm.	Sim, até aços ϕ 12,5 mm.	Sim, até aços ϕ 10,0 mm.	Sim, até aços ϕ 8 mm.
	Quantidade de unidades reprovadas:	0/15	0/15	0/10	0/14	0/14	0/15	0/15

Já para os formatos multiapoio, todos os modelos avaliados foram aprovados segundo o método de avaliação proposto, segundo a Tabela 42, não apresentando nenhuma resistência para aplicação na barra de aço.

Tabela 42 - Resultados da avaliação do requisito aplicação dos espaçadores de formato multiapoio dos Fabricantes C, D, E e Fabricantes desconhecidos.

Geral	Fabricante:	C	D		E	X
	Modelo:	C3	D1	D2	E3	X8
						
	Formato:	Multiapoio	Multiapoio	Multiapoio	Multiapoio	Multiapoio
	Cobrimento especificado:	25	15	20	25	25
Aplicação	Possui fácil aplicação?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Quantidade de unidades reprovadas:	0/12	0/15	0/15	0/15	0/15

Resumidamente, apenas 6 modelos foram reprovados na avaliação deste requisito, enquanto que 22 foram aprovados, apresentando desempenho satisfatório.

7.2 POR FABRICANTES




A seguir, é apresentado um resumo dos resultados da avaliação de desempenho por fabricante. Deste modo, pode-se analisar, através de uma única tabela, o desempenho dos modelos de espaçadores de um mesmo fabricante em todos requisitos avaliados.


7.2.1 Fabricante A

Na

Tabela 43, estão expostos os resultados da avaliação dos modelos do Fabricante A. Para o requisito dimensional os modelos A1 e A2 não satisfizeram apenas o primeiro deles, permanecendo todos os outros satisfatórios.

Tabela 43 – Resultado da avaliação dos modelos de espaçadores do Fabricante A.

Geral	Fabricante:	A				
	Modelo:	A1		A2		A3
						
	Formato:	Cadeirinha		Cadeirinha		Circular
Cobrimento especificado:	15	20	15	20	25	
Dimensionais	a) Proporciona um único cobrimento ou no máximo dois claramente identificados?	Não		Não		Sim
	b) Garante o cobrimento mínimo nominal?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	c) Possui as dimensões mínimas?	Sim		Sim		Sim
Identificação	Possui cobrimento nominal e identificação do fabricante no produto?	Não		Não		Não
	Possui cores distintas entre produtos do mesmo modelo com cobrimentos diferentes?	Não		Não		Não
Fixação	Possui item de fixação integrado capaz de impedir o deslizamento da barra?	Não		Não		Sim
Estabilidade	Possui estabilidade?	Não		Não		Sim
Capacidade de Carga	Possui capacidade de carga e deformação linear permanente inferior a 1 mm?	Não		Não		Não
Aplicação	Possui fácil aplicação?	Sim		Sim		Não



Aprovado
Reprovado

No entanto, não houve modelos satisfatórios para o requisito identificação e capacidade de carga, pois todos foram reprovados segundo os métodos propostos de avaliação de desempenho.

Contudo, para o requisito fixação e estabilidade, somente o modelo A3 cumpriu com os critérios estabelecidos, porém este foi o único não aprovado no requisito aplicação, permanecendo os outros dois (A1 e A2) satisfatórios segundo método de avaliação proposto.

Desta forma, excetuando-se os requisitos de identificação e capacidade de carga, para todos os outros requisitos existiu pelo menos um modelo satisfatório. Porém, nenhum espaçador foi aprovado em todos os requisitos de desempenho propostos.

7.2.2 Fabricante B






Os resultados deste fabricante encontram-se expostos na Tabela 44, através da qual se pode afirmar que todos os modelos foram aprovados em pelo menos 2 dos 3 requisitos dimensionais.

Entretanto, o mesmo não ocorreu para o requisito identificação, visto que todos os modelos foram reprovados, sendo estes, considerados insatisfatórios.

Para o requisito de fixação e aplicação, mais da metade (60%) dos modelos avaliados foram aprovados, enquanto que, para o requisito estabilidade e capacidade de carga, apenas um modelo foi considerado satisfatório, representando 20%.

Resumidamente, para cada requisito avaliado, pelo menos um modelo mostrou-se satisfatório, excetuando-se o requisito identificação. Porém, nenhum espaçador foi aprovado em todos os requisitos de desempenho propostos.

Tabela 44 - Resultado da avaliação dos modelos de espaçadores do Fabricante B.





Geral	Fabricante:	B				
	Modelo:	B1	B2	B3	B4	B5
						
	Formato:	Circular	Cadeirinha	Circular	Circular	Cadeirinha
	Cobrimento especificado:	15	20	35	25	25 30
Dimensionais	a) Proporciona um único cobrimento ou no máximo dois claramente identificados?	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
	b) Garante o cobrimento mínimo nominal?	Não	Sim	Sim	Sim	Sim Sim
	c) Possui as dimensões mínimas?	Sim	Sim	Não	Não	Sim
Identificação	Possui cobrimento nominal e identificação do fabricante no produto?	Não	Não	Não	Não	Não
	Possui cores distintas entre produtos do mesmo modelo com cobrimentos diferentes?	Não	Não	Não	Não	Não
Fixação	Possui item de fixação integrado capaz de impedir o deslizamento da barra?	Sim	Não	Sim	Sim	Não
Estabilidade	Possui estabilidade?	Sim	Não	Não	Não	Não
Capacidade de Carga	Possui capacidade de carga e deformação linear permanente inferior a 1 mm?	Não	Sim	Não	Não	Não
Aplicação	Possui fácil aplicação?	Sim	Não	Não	Sim	Sim

Aprovado
 Reprovado

7.2.3 Fabricante C

Os resultados, apresentados na Tabela 45, deixam evidente que apenas o primeiro requisito dimensional possuiu todos os modelos satisfatórios.

Tabela 45 - Resultado da avaliação dos modelos de espaçadores do Fabricante C.

Geral	Fabricante:	C			
	Modelo:	C1	C2	C3	C4
					
Formato:	Circular	Circular	Multiapoio	Cadeirinha	
	Cobrimento especificado:	20	25	25	20
Dimensionais	a) Proporciona um único cobrimento ou no máximo dois claramente identificados?	Sim	Sim	Sim	Sim
	b) Garante o cobrimento mínimo nominal?	Não	Não	Sim	Sim
	c) Possui as dimensões mínimas?	Sim	Não	Sim	Sim
Identificação	Possui cobrimento nominal e identificação do fabricante no produto?	Não	Não	Não	Não
	Possui cores distintas entre produtos do mesmo modelo com cobrimentos diferentes?	Não	Não	Não	Não
Fixação	Possui item de fixação integrado capaz de impedir o deslizamento da barra?	Sim	Sim	Não	Não
Estabilidade	Possui estabilidade?	Sim	Não	Não	Não
Capacidade de Carga	Possui capacidade de carga e deformação linear permanente inferior a 1 mm?	Sim	Não	Não	Não
Aplicação	Possui fácil aplicação?	Não	Não	Sim	Não



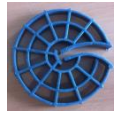
Aprovado
Reprovado

No entanto, assim como o Fabricante B, para cada requisito avaliado, pelo menos um modelo mostrou-se satisfatório, excetuando-se o requisito identificação. Porém, nenhum espaçador foi aprovado em todos os requisitos de desempenho propostos.

7.2.4 Fabricante D

A Tabela 46 deixa evidenciado que o Fabricante D, para os requisitos identificação, fixação, estabilidade e capacidade de carga, não apresentou um modelo satisfatório, pois todos foram reprovados segundo os métodos de avaliação de desempenho proposto.

Tabela 46 - Resultado da avaliação dos modelos de espaçadores do Fabricante D.




Geral	Fabricante:	D		
	Modelo:	D1	D2	D3
				
	Formato:	Multiapoio	Multiapoio	Circular
	Cobrimento especificado:	15	20	40
Dimensionais	a) Proporciona um único cobrimento ou no máximo dois claramente identificados?	Sim	Sim	Sim
	b) Garante o cobrimento mínimo nominal?	Não	Não	Sim
	c) Possui as dimensões mínimas?	Sim	Sim	Não
Identificação	Possui cobrimento nominal e identificação do fabricante no produto?	Não	Não	Não
	Possui cores distintas entre produtos do mesmo modelo com cobrimentos diferentes?	Não	Não	Não
Fixação	Possui item de fixação integrado capaz de impedir o deslizamento da barra?	Não	Não	Não
Estabilidade	Possui estabilidade?	Não	Não	Não
Capacidade de Carga	Possui capacidade de carga e deformação linear permanente inferior a 1 mm?	Não	Não	Não
Aplicação	Possui fácil aplicação?	Sim	Sim	Sim
			Aprovado	
			Reprovado	

No entanto, todos os modelos foram aprovados no primeiro requisito dimensional e no requisito aplicação. Porém, nenhum espaçador foi aprovado em todos os requisitos de desempenho propostos.

7.2.5 Fabricante E

Assim como o Fabricante A, o Fabricante E apresentou pelo menos um modelo satisfatório para cada requisito avaliado, excetuando-se os requisitos de identificação e capacidade de carga, conforme pode ser constatado na Tabela 47.

Tabela 47 - Resultado da avaliação dos modelos de espaçadores do Fabricante E.

Geral	Fabricante:	E			
	Modelo:	E1	E2		E3
					
	Formato:	Circular	Cadeirinha		Multiapoio
	Cobrimento especificado:	20	15	20	25
Dimensionais	a) Proporciona um único cobrimento ou no máximo dois claramente identificados?	Sim	Não		Sim
	b) Garante o cobrimento mínimo nominal?	Sim	Sim	Sim	Sim
	c) Possui as dimensões mínimas?	Sim	Sim		Sim
Identificação	Possui cobrimento nominal e identificação do fabricante no produto?	Não	Não		Não
	Possui cores distintas entre produtos do mesmo modelo com cobrimentos diferentes?	Não	Não		Não
Fixação	Possui item de fixação integrado capaz de impedir o deslizamento da barra?	Sim	Não		Não
Estabilidade	Possui estabilidade?	Sim	Não		Não
Capacidade de Carga	Possui capacidade de carga e deformação linear permanente inferior a 1 mm?	Não	Não		Não
Aplicação	Possui fácil aplicação?	Sim	Sim		Sim
					Aprovado
					Reprovado

Entretanto, todos os modelos foram aprovados no segundo e terceiro requisito dimensional e no requisito aplicação. Através de uma avaliação geral, o modelo E1 foi o que mais obteve aprovações na avaliação de desempenho aplicada. Porém, nenhum espaçador foi aprovado em todos os requisitos de desempenho propostos.

7.2.6 Fabricantes desconhecidos

O resumo geral dos resultados alcançados pelos modelos de fabricantes desconhecidos encontra-se na Tabela 48 e na Tabela 49.

Assim como todos os outros modelos apresentados, nenhum dos modelos de fabricantes desconhecidos foi aprovado na avaliação do requisito identificação. Excetuando-se este requisito, para todos os outros apresentados pelo menos um modelo satisfaz os critérios estabelecidos.

Tabela 48 - Resultado da avaliação dos modelos de espaçadores de fabricantes desconhecidos (parte 1).



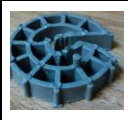







Geral	Fabricante:	X					
	Modelo:	X1		X2	X3	X4	X5
							
	Formato:	Cadeirinha		Cadeirinha	Circular	Circular	Circular
Cobrimto especificado:	25	30	20	20	20	30	
Dimensionais	a) Proporciona um único cobrimto ou no máximo dois claramente identificados?	Não		Sim	Sim	Sim	Sim
	b) Garante o cobrimto mínimo nominal?	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não
	c) Possui as dimensões mínimas?	Sim		Sim	Não	Sim	Sim
Identificação	Possui cobrimto nominal e identificação do fabricante no produto?	Não		Não	Não	Não	Não
	Possui cores distintas entre produtos do mesmo modelo com cobrimtos diferentes?	?		?	?	?	?
Fixação	Possui item de fixação integrado capaz de impedir o deslizamento da barra?	Não		Não	Não	Sim	Sim
Estabilidade	Possui estabilidade?	Não		Não	Não	Sim	Sim
Capacidade de Carga	Possui capacidade de carga e deformação linear permanente inferior a 1 mm?	Não		Não	Não	Não	Não
Aplicação	Possui fácil aplicação?	Sim		Sim, até aços $\phi 6,3$ mm.	Sim, até aços $\phi 12,5$ mm.	Sim, até aços $\phi 6,3$ mm.	Sim, até aços $\phi 12,5$ mm.
						Aprovado	
						Reprovado	

Tabela 49 - Resultado da avaliação dos modelos de espaçadores de fabricantes desconhecidos (parte 2).

Geral	Fabricante:	X				
	Modelo:	X6	X7	X8	X9	X10
						
Formato:	Circular	Circular	Multiapoio	Cadeirinha	Cadeirinha	
Cobrimento especificado:		20	15	25	20	20
Dimensionais	a) Proporciona um único cobrimento ou no máximo dois claramente identificados?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	b) Garante o cobrimento mínimo nominal?	Não	Não	Sim	Sim	Sim
	c) Possui as dimensões mínimas?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Identificação	Possui cobrimento nominal e identificação do fabricante no produto?	Não	Não	Não	Não	Não
	Possui cores distintas entre produtos do mesmo modelo com cobrimentos diferentes?	?	?	?	?	?
Fixação	Possui item de fixação integrado capaz de impedir o deslizamento da barra?	Sim	Sim	Não	Não	Não
Estabilidade	Possui estabilidade?	Sim	Sim	Não	Não	Não
Capacidade de Carga	Possui capacidade de carga e deformação linear permanente inferior a 1 mm?	Sim	Não	Não	Sim	Não
Aplicação	Possui fácil aplicação?	Sim, até aços $\phi 10,0$ mm.	Sim, até aços $\phi 8$ mm.	Sim	Sim, até aços $\phi 6,3$ mm.	Sim, até aços $\phi 12,5$ mm.
						Aprovado
						Reprovado

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme estabelecido inicialmente nesta pesquisa, foi realizado o levantamento dos cobrimentos executados em duas cidades, confirmando o problema de cobrimentos insuficiente, e identificado suas prováveis causas e consequências.

Dentre as causas, foi identificado que os espaçadores contribuem para o agravamento da não obtenção do cobrimento mínimo, logo foram estabelecidos requisitos e critérios de desempenho baseados no comportamento em uso do produto.

Dando continuidade à abordagem de desempenho, foram propostos métodos para avaliação dos espaçadores segundo requisitos e critérios estabelecidos.

A partir da metodologia proposta, foi avaliado o desempenho de alguns espaçadores plásticos existentes no mercado.

8.1 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos e as análises realizadas ao longo desta pesquisa, dizem respeito, única e exclusivamente, à amostra em questão.

Sendo assim, a partir dos levantamentos realizados *in loco* do cobrimento executado, pode-se afirmar que existem grandes deficiências na obtenção do correto cobrimento das armaduras na prática, visto que o cobrimento normatizado e suas tolerâncias permitidas não são totalmente cumpridos. Esta constatação mostrou-se independente de localização, obra e/ou empresa, visto que se obtiveram comportamentos similares nas duas cidades pesquisadas.

Dentre os elementos estruturais mais prejudicados, apontam-se as vigas, mais precisamente o fundo delas, apresentando em algumas obras a totalidade dos valores de cobrimentos medidos abaixo do mínimo especificado em norma. Em seguida, não muito distante do fundo das vigas, encontram-se as lajes, que em algumas obras, chegou a apresentar 88,8% de probabilidade de ocorrência de valores de cobrimento fora do mínimo normatizado.

Em relação às razões que contribuíram para o agravamento desta situação, destacam-se: a falta de uma metodologia na disposição dos espaçadores, redução ou exclusão da tolerância

normatizada de execução do cobrimento, falta de especificação dos controles de qualidades e dos limites de tolerância da variabilidade das medidas durante a execução, entre outros.

Os espaçadores plásticos também se mostraram um fator intensificador da não obtenção do correto cobrimento final, uma vez que este depende diretamente do desempenho daqueles, e nenhum modelo de espaçador avaliado provou-se satisfatório para todos os requisitos e critérios estabelecidos.

Entretanto, ficou claro que todo e qualquer requisito e critério estabelecido pode ser satisfeito, visto que pelo menos um modelo de espaçador foi aprovado em cada avaliação, excetuando-se o requisito de identificação que, embora não tenha tido um modelo avaliado aprovado, pode-se afirmar que existem modelos de fabricantes, que não participaram desta avaliação, que satisfazem tal requisito conforme foi exemplificado. Assim sendo, cruzando-se as características dos modelos aprovados em cada requisito, é possível obter um espaçador com desempenho adequado a sua função.

Diante da variedade e diversificação de espaçadores ofertados, assim como o diferente comportamento de cada um, fica comprovada a necessidade de uma norma regulamentadora para este produto, a fim de balizar a qualidade dos disponíveis no mercado, promovendo um aperfeiçoamento do material, bem como eliminação dos produtos insatisfatórios.

Juntamente com a norma regulamentadora, deve-se exigir certificação e fiscalização destes produtos por parte dos órgãos responsáveis.

8.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, com o avançar dos estudos nesta área de concentração, novas ideias e propostas foram surgindo, de modo que, devido às limitações de uma dissertação, não foram desenvolvidas, ficando estas como sugestões para trabalhos futuro:

- Realizar o levantamento do cobrimento executado em obras de outras cidades;
- Quantificar a redução da vida útil da estrutura a partir dos resultados apresentados do cobrimento;

- Desenvolver um espaçador que atenda a todos os requisitos apresentados;
- Comparar a avaliação do requisito capacidade de carga proposto nesta pesquisa com o normatizado pelo CEB (1990) e Norma Britânica (BS 7973-1, 2001);
- Lançar bases para normalização;
- Aprimorar os protocolos dos métodos de avaliação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, J. J. de O. **Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: iniciação por cloretos**. 2001. 227 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais: Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

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

BENEDETTI, K. **Sensibilidade da segurança de vigas e lajes de concreto armado a erros de execução**. 2013. 198 f. – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

BÉRGAMO, L. R. **Espaçadores para armadura**. In: Revista Construção Mercado, Editora Pini, edição 140, São Paulo, março, 2013.

BORGES, C. A. de M. **Projeto Norma de Desempenho**. Sinduscon. São Paulo, 2006. Disponível em: http://www.sindusconsp.com.br/downloads/estprod/tecqualidade/norma_desempenho.pdf. Acesso em: março, 2014.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). **BS 7973**: Spacers and chairs for steel reinforcement and their specification – Part 1: Product performance requirements. UK, 2001.

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

CAMPOS, D. de. **Cobrimento de armadura em estruturas de concreto armado: análise comparativa entre valores antes, durante e depois da concretagem**. 2013. 75 f. – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

CARMONA, T. G.; HELENE, P. R. do L. **Modelos de previsão da despassivação das armaduras em estruturas de concreto sujeitas à carbonatação.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2006.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto.** São Paulo: Pini, 1997.

CLARK, L. A.; SHAMMAS-TOMA, M. G. K.; SEYMOUR, D. E.; PALLETT, P. F.; MARSH, B. K. **How can we get the cover we need?** In: The Structure Engineer. Journal of the Institution of Structural Engineers. Volume 75, Nº 17. UK, 2007.

COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON (CEB) e FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE LA PRÉCONTRAÎNTE (FIP). **CEB-FIP Model Code 1990. Design Code.** Lausanne: CEB, p. 437, 1993.

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON (CEB). **Bulletin d'Information No. 201 — Spacers, chairs and tying of steel reinforcement.** Lausanne: Comité Euro-International du Béton, 1990.

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. 1988. 220 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

EL-REEDY, M. **Steel-reinforced concrete structures: assessment and repair of corrosion.** CRC Press. Taylor & Francis Group. USA, 2008.

GIBSON, E. J. Coordinator of the CIB Working Commission W060. **Working with the Performance Approach in Building.** In: CIB State of the Art Report no 64. Rotterdam, 1982.

GIRIBOLOA, M. **Espaçadores para armadura.** In: Revista Equipe de Obra, Editora PINI, edição 62, São Paulo: agosto, 2013.

HELENE, P. R. do L. **Cobrimento garantido.** In: Revista Construção Mercado, Editora Pini, Edição 140, São Paulo: março, 2013.

INSTRUCCIÓN ESPAÑOLA DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL (EHE). **EHE 08 – Capítulo XIII – Ejecución.** España, 2008.

LI, K.; CHEN, Z.; LIAN, H. **Concepts and requirements of durability design for concrete structures: an extensive review of CCES01.** In: Material and Structure. Ed. 41, page 717-731. Beijing, 2007.

MARAN, A. P. **Proposta de distribuição de espaçadores plásticos para garantir o cobrimento especificado em lajes de concreto armado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, a defender.

MARSH, B. **Specification and achievement of cover to reinforcement.** In: Advanced Concrete Technology Set. Volume 1, Pages 1 – 9, 2003.

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

MENEZES, L. F.; AZEVEDO, M. T. **Análise da influência do cobrimento das armaduras na durabilidade das estruturas de concreto armado.** Salvador: Universidade Católica de Salvador, 2009. Disponível em: <<http://info.ucsal.br/banmon/index.html>>. Acesso em: novembro 2013.

MENNA BARRETO, M. F. F.; MARAN, A. P.; DAL MOLIN, D. C. C.; MASUERO, J. R.; ALVES, R. Z. Influência do diâmetro da armadura no cobrimento final em lajes de concreto armado. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 56., 2014, Natal. **Anais...** Natal: 2014.

MERRETZ, W; SMITH, G; BORGERT, J. **Achieving durability in Construction.** In: Concrete in Australia. Concrete Durability Workshop. Austrália: junho 2009.

MERRETZ, W. **Achieving concrete cover in construction.** In: Concrete in Australia. Technical Feature: Concrete cover. Vol 36, Nº1. Austrália, 2010.

MOTA, J. M. F.; BARBOSA, F. R.; COSTA E SILVA, A. J.; FRANCO, A. P. G; CARVALHO, J.R. **Corrosão de Armadura em Estruturas de Concreto Armado devido ao Ataque de Íons Cloreto.** In: Congresso Brasileiro do Concreto, 54º, 2012, Maceió. **Anais...** Maceió: CBC, 2012.

NAKAMURA, J. **Cobrimento de armaduras.** In: Revista Equipe de Obra, Editora PINI, edição 45, São Paulo: dezembro, 2011.

PEIXOTO, B. L. F. **Inovações tecnológicas e a produtividade na construção civil, caso distanciadores plásticos no sub-setor edificações do Ceará.** Dissertação de Mestrado - Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

PEIXOTO, B. L. F.; GOMES, M. de L. B. **Ganhos em produtividade decorrentes de inovação tecnológica na construção civil: o uso dos distanciadores plásticos no sub-setor de edificações.** XXVI ENEGEP. Fortaleza, 2006.

PEIXOTO, B. L. F.; GOMES, M. de L. B. **Innovation and productivity: a study in civil construction building sub-sector.** In: International Conference on Production Research, 19º, 2007, Valparaíso. **Anais...** Chile: julho 2007.

PEREIRA, E.; RESENDE, A.; MEDEIROS M. H. F. de; MENEGHETTI, L. C. **Ensaio acelerado por cloretos: efeito da sílica ativa, relação água/aglomerante e espessura de cobrimento do concreto.** In: Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, Vol. 6, N. 4, Pag. 561-581, São Paulo: agosto, 2013.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**. 2010. 263 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

RISSI, D. **Aprenda a calcular as armaduras de uma laje simples de concreto armado**. In: Revista Equipe de obra. Editora PINI, Edição 9, São Paulo: janeiro, 2007.

ROSTAM, S. **Service life design of concrete structures – A challenge to designers as well as to owners**. In: Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing). Vol 6, No 5. 2005.

SHAW, C. B. **Durability of Reinforcement Concrete**. 2007. Disponível em: <http://www.localsurveyorsdirect.co.uk/sites/default/files/attachments/reinforced%20concrete.pdf>. Acesso em: maio 2014.

SILVA, O. S. P. da. **Cobrimento de armadura em estruturas de concreto armado: análise comparativa entre o valor especificado em projeto e o em execução em obras na cidade de Porto Alegre**. 2012. 86 f. – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SOUTH AFRICAN REINFORCED CONCRETE ENGINEERS' ASSOCIATION (SARCEA). **Correct concrete cover to reinforcement**. Bedfordview, 2014. Disponível em: <<http://www.sarcea.co.za/coverblocks.php>>. Acesso em: maio, 2014.

SPEKKINK, D. **Performance based design: Bringing Vitruvius up to date**. Performance Based Building Thematic Network. Domain 3 Report. Holanda: novembro, 2005.

TAKATA, L. T. **Aspectos executivos e a qualidade de estruturas de concreto armado: estudo de caso**. 2009. 149 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

TINOCO, H. F. F.; FIGUEIREDO, E. J. P. Avaliação do desempenho de sistemas de reparo e recuperação para estruturas de concreto com corrosão das armaduras. In: WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 2., 2001, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: ITA, 2002.

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

APÊNDICE A – Planilha de levantamento de dados em campo.

DADOS DA OBRA		VALORES DO COBRIMENTO APÓS A CONCRETAGEM												
Empresa:	Empreendimento:	#	Positivo	Lado A	Fundo	Lado B	Qestrb: Pillar	Topo	Meio	Base	Lado A	Lado B	Lado X	Lado Y
Pavimento:		1												
Data de medição:		2												
NIVEL DE CONTROLE		3												
- Presença do engenheiro civil responsável?		4												
- Organização e limpeza do canteiro/pavimento medido?		5												
- Possui metodologia na disposição dos espaçadores?		6												
- O empreendimento/empresa possui certificação de qualidade?		7												
Se sim, quais?		8												
VALORES DOS COBRIMENTOS E BITOLAS NO PROJETO ESTRUTURAL		9												
Lajes:		10												
Vigas:		11												
TIPO E DIMENSÃO DE ESPAÇADORES UTILIZADOS E FABRICANTE		12												
Lajes:		13												
Vigas:		14												
Pilares:		15												
OBSERVAÇÕES IMPORTANTES		16												
Informações sobre a empresa:		17												
Tipo de concretagem:		18												
Fck e slump do concreto:		19												
Espaçamento dos espaçadores:		20												
Problemas observados dos espaçadores:		21												
Obs:		22												
Espaçamento médio do escoramento:		23												
		24												
		25												
		26												
		27												
		28												
		29												
		30												

LAJES

VIGAS

PILARES

PILARES

PILARES

PILARES

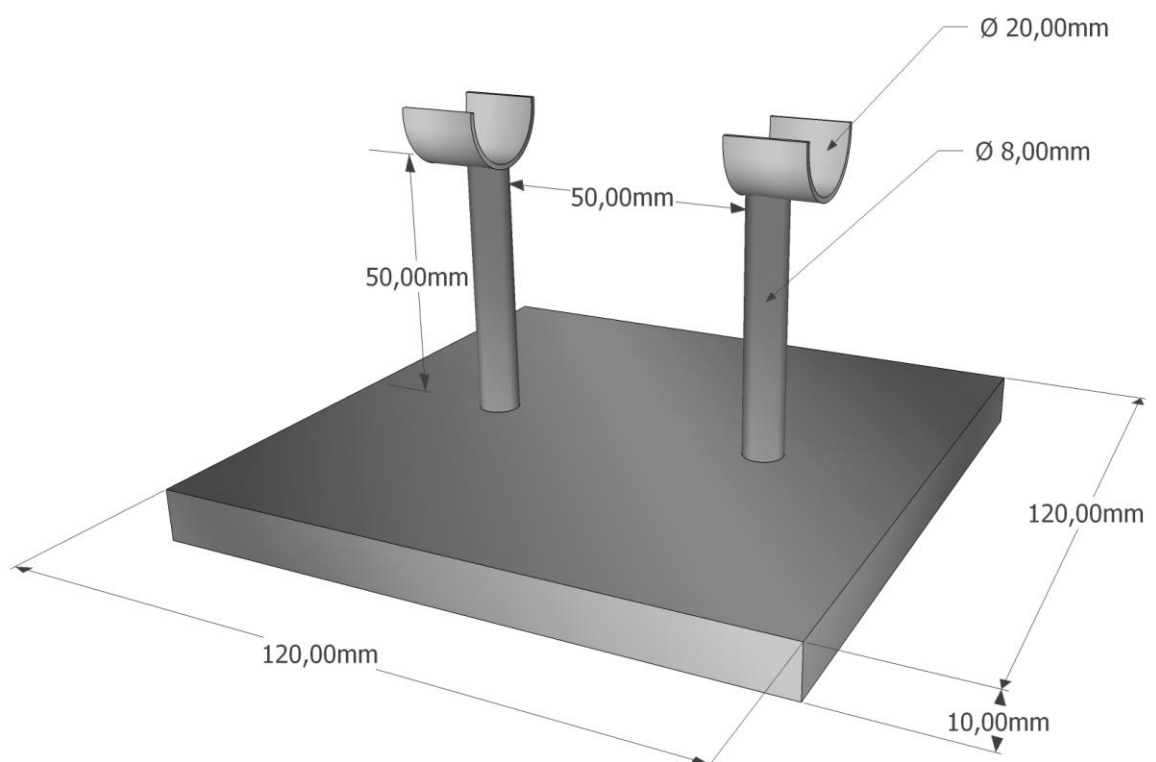
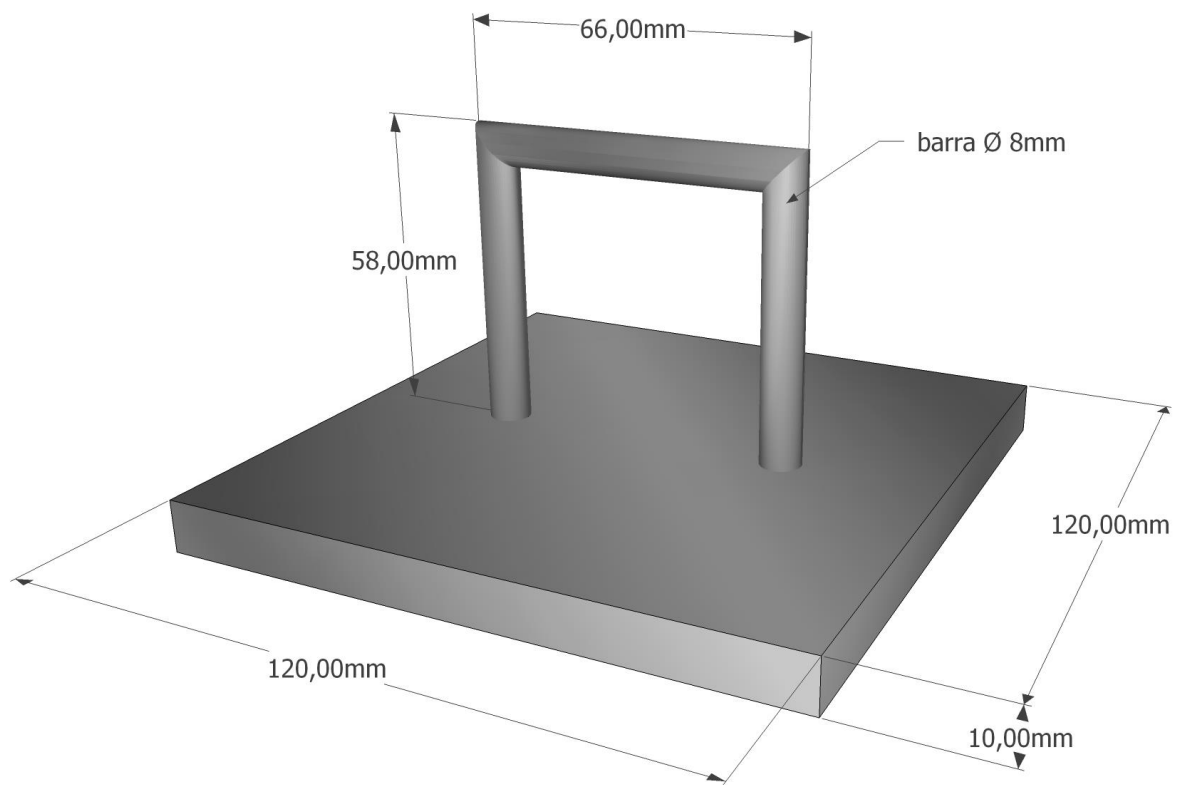
PILARES

(Fonte: Adaptado de Silva, 2012).

APÊNDICE B – Planilha de avaliação de desempenho utilizada.

DADOS TÉCNICOS DO PRODUTO															
(FOTO)	Fabricante:														
	Tipo:														
	Modelo:														
	Cor:														
	Cobrimento:														
	Certificação:														
	Dimensões:														
Obs:	Quantidade por m ² :														
	Utilização:														
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO															
1. Proporciona um único cobrimento?															
1.1 Se NÃO, proporciona no máximo dois cobrimentos claramente indetectáveis?															
() Sim, APROVADO. () Não.															
() Sim, APROVADO. () Não, REJEITADO.															
2. Garante o cobrimento mínimo nominal?															
() Sim, APROVADO. () Não, REJEITADO.															
CP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Cobrimento (mm)															
3. Possui as dimensões mínimas?															
() Sim, APROVADO. () Não, REJEITADO.															
CP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Dimensão paralela															
Dimensão perpendicular															
Circular															
4. Possui o cobrimento nominal e a identificação do fabricante no produto?															
() Sim, APROVADO. () Não, REJEITADO.															
5. Possui cores distintas entre produtos do mesmo modelo com cobrimentos diferentes?															
() Sim, APROVADO. () Não, REJEITADO.															
6. Possui item de fixação integrado?															
6.1 Se SIM, este impede o deslizamento da barra?															
() Sim. () Não, REJEITADO.															
() Sim, APROVADO. () Não, REJEITADO.															
7. Possui estabilidade?															
() Sim, APROVADO. () Não, REJEITADO.															
CP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Possui estabilidade?															
8. Possui capacidade de carga?															
() Sim, APROVADO. () Não, REJEITADO.															
CP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Força Máx. (Kgf)															
Deformação perm. (mm)															
9. Possui fácil aplicação?															
Força de aplicação requerida:															
() Sim, APROVADO. () Não, REJEITADO.															

APÊNDICE C – Dispositivos desenvolvidos para avaliação de desempenho do requisito capacidade de carga e fixação.



APÊNDICE D – Resumo dos Requisitos, Critérios e Métodos de avaliação.

	Requisito	Critério	Método de avaliação
Dimensionais	a) Proporcionar um único cobrimento ou no máximo dois cobrimentos claramente identificáveis.	As dimensões proporcionadas devem estar claramente identificáveis no produto.	Verificar, através de uma inspeção visual e análise de projeto do produto, a quantidade de diferentes cobrimentos proporcionados.
	b) Garantir o cobrimento nominal indicado.	Possuir a medida do cobrimento especificado pelo fabricante com uma tolerância de ± 1 mm para cobrimentos até 75 mm e ± 2 mm para cobrimentos maiores.	Aplicar uma barra de aço ao espaçador e medir, com o auxílio de um paquímetro digital, o cobrimento proporcionado.
	c) Possuir dimensões mínimas.	Para cadeirinhas e multiapoio: sua base deve possuir no mínimo 20 mm e no máximo 350 mm medidos na direção paralela à barra de aço e no mínimo 0,75 do cobrimento medidos perpendicularmente à barra; Para circulares: o centro de apoio deve possuir espessura superior a 0,5 do cobrimento.	Medir, com o auxílio de um paquímetro digital, as dimensões do espaçador.
Identificação	Possuir fácil identificação, mesmo quando misturados.	A dimensão do cobrimento nominal e o fabricante devem estar contidos no produto. Espaçadores de mesmo modelo e de cobrimentos diferentes devem possuir cores distintas.	Conferir a existência do cobrimento nominal e do fabricante no produto em si e verificar se existe diferenciação de cores entre um mesmo modelo.
Fixação	Possuir capacidade de fixar-se e não se deslocar na armadura.	Possuir item de fixação capaz de resistir ao deslocamento proposto por uma carga de $0,5 \pm 0,01$ kg aplicado à barra de menor diâmetro informado pelo fabricante.	Aplicar ao espaçador uma barra de aço de menor diâmetro informado pelo fornecedor com um peso total de 5 N e verificar se há o deslocamento da barra.
Estabilidade	Possuir estabilidade.	Para cadeirinhas e multiapoio: assegurar um raio de rotação de pelo menos o cobrimento mais 5 mm; Para circulares: o centro de apoio deve possuir espessura superior a 0,5 do cobrimento.	Para cadeirinhas e multiapoio: com um paquímetro digital, medir o raio mínimo de rotação paralelo e perpendicular à aplicação da barra de aço. Para circulares: com um paquímetro digital, medir a espessura do centro de apoio do espaçador.
Capacidade de Carga	Permanecer íntegro, resistindo ao carregamento imposto e deformação máxima permitida.	Para cadeirinhas e multiapoio: resistir a uma carga mínima de 3,0 kN; Para circulares: resistir a uma carga mínima de 0,25 kN; Resistir ao carregamento mínimo com uma deformação linear máxima de 1 mm.	Aplicar o espaçador no dispositivo específico para o ensaio e inserir o conjunto em uma prensa. Aplicar força constante até a capacidade de carga requerida e em seguida medir a deformação linear permanente com um paquímetro digital.
Aplicação	Ser facilmente aplicável às barras de aço.	Não devem requerer mais de 0,15 kN para sua aplicação no maior diâmetro de barra informado pelo fabricante.	Apoiar o espaçador sobre o maior diâmetro recomendado pelo seu fabricante, sobre o dispositivo específico para o ensaio e inserir o conjunto em uma prensa. Aplicar força constante até o completo encaixe do espaçador à barra.