

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

Otávio Saraiva Pinto da Silva

**COBRIMENTO DE ARMADURAS EM ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE
O VALOR ESPECIFICADO EM PROJETO E O EM
EXECUÇÃO EM OBRAS NA CIDADE DE PORTO ALEGRE**

Porto Alegre
dezembro 2012

OTÁVIO SARAIVA PINTO DA SILVA

**COBRIMENTO DE ARMADURAS EM ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE
O VALOR ESPECIFICADO EM PROJETO E O EM
EXECUÇÃO EM OBRAS NA CIDADE DE PORTO ALEGRE**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientadora: Ana Paula Kirchheim
Coorientadora: Denise Carpena Coitinho Dal Molin

Porto Alegre
dezembro 2012

OTÁVIO SARAIVA PINTO DA SILVA

**COBRIMENTO DE ARMADURAS EM ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE
O VALOR ESPECIFICADO EM PROJETO E O EM
EXECUÇÃO EM OBRAS NA CIDADE DE PORTO ALEGRE**

Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelas Professoras Orientadoras e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 19 de dezembro de 2012

Profa. Ana Paula Kirchheim
Dra. pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul
Orientadora

Profa. Denise Carpena Coitinho Dal Molin
Dra. pela Universidade de São Paulo
Coorientadora

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Ana Paula Kirchheim (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Denise Carpena Coitinho Dal Molin (UFRGS)
Dra. pela Universidade de São Paulo

Prof. Fábio Costa Magalhães (FURG)
MSc. pela Universidade Federal do Rio Grande

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

Dedico este trabalho à minha mãe, Sílvia (*in memoriam*),
por todo o amor, incentivo e educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Professora Ana Paula Kirchheim, pelo conhecimento transmitido, disponibilidade e paciência durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à Professora Denise Dal Molin, pela sugestão do tema e pela boa vontade de ensinar sempre apresentada, mesmo em meio a tantos compromissos.

Agradeço à Professora Carin Schmitt pela atenção e pela incansável dedicação no auxílio à elaboração deste trabalho.

Agradeço ao Professor João Ricardo Masuero, pelo auxílio, solucionando minhas dúvidas e fornecendo informações imprescindíveis.

Agradeço às empresas e engenheiros, pela boa vontade em abrir as portas a mim.

Agradeço a todos os meus amigos e amigas, pela amizade e companheirismo nos momentos bons e ruins.

Agradeço a minha namorada, Juliana, pela paciência e apoio durante toda a realização deste trabalho.

Por fim, agradeço ao meu pai Hélio Pinto da Silva Filho, pelo apoio incondicional, amor e incentivo constante.

Os obstáculos são colocados a nossa frente,
não para tropeçarmos,
mas para aprendermos a saltar.

Provérbio chinês

RESUMO

O atual estado de aquecimento da economia brasileira favorece cada vez mais o setor da Construção Civil, destacando-se a presença de estruturas de concreto armado, que vem sendo a bastante tempo utilizadas e muito difundidas em todo o País. A execução de tais estruturas é uma importante etapa de construção no contexto global da obra, envolvendo diversos materiais, fornecedores, frentes de trabalho e profissionais. A utilização correta dos materiais, aliado a uma execução eficaz e o cumprimento do projeto estrutural viabiliza uma obra de qualidade, evitando problemas como: atrasos no cronograma, repetição de tarefas, custos adicionais, além de manifestações patológicas das estruturas. Uma das principais funções do concreto nessas estruturas é proteger as armaduras contra choques físicos, passivação da armadura para evitar a corrosão e servir de barreira à entrada de agentes agressivos. Tal proteção é dependente essencialmente da espessura do cobrimento e da sua qualidade de execução, garantindo requisitos mínimos de segurança e durabilidade durante a vida útil da edificação. Para se obter os valores exigidos de cobrimento de armaduras pela norma brasileira (NBR 6118), é necessário utilizar espaçadores dispersos ao longo da peça estrutural. Condições de limpeza e níveis de controle também são requisitos favoráveis para se ter um bom cobrimento. Diversos trabalhos e Normas de execução do concreto armado destacam a importância de se conseguir um cobrimento nominal, garantindo requisitos mínimos de segurança, durabilidade e qualidade durante a vida útil da edificação. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo coletar e analisar valores de cobrimentos em diferentes obras com estruturas de concreto armado em Porto Alegre, para verificar qual a correlação da variabilidade do cobrimento em execução comparado com os valores especificados em projeto. Paralelamente foi analisada também a existência destas correlações em função: do porte da empresa, da qualidade do controle de execução, do tipo de elemento estrutural (lajes, pilares e vigas) e do tipo de espaçador utilizado. Os resultados, apesar da amostragem reduzida, mostram que em 46% das medições houve ocorrência de valores de cobrimento abaixo dos respectivos valores de projeto. Os cobrimentos executados em lajes apresentam os piores resultados, em relação aos outros elementos estruturais. E, em relação às diferenças entre níveis de controle das obras, apesar de algumas apresentarem ISO 9001, não se teve a garantia de execução do cobrimento nominal.

Palavra-chave: Cobrimento. Variabilidade. Durabilidade. Espaçador. Nível de controle.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas da pesquisa	20
Figura 2 – Vida útil das estruturas de concreto	26
Figura 3 – Consideração das incertezas probabilísticas na vida útil das estruturas de concreto armado	26
Figura 4 – Condições para a ocorrência de corrosão	29
Figura 5 – Identificação do cobrimento na seção de uma viga	32
Figura 6 – Espaçador circular	37
Figura 7 – Espaçador tipo centopéia	37
Figura 8 – Espaçador tipo cavalete ou garra	37
Figura 9 – Espaçador tipo cadeirinha	37
Figura 10 – Paquímetro de precisão	40
Figura 11 – Lados medidos nas vigas	41
Figura 12 – Histograma geral da obra A	46
Figura 13 – Histograma geral da obra B1	47
Figura 14 – Histograma geral da obra B2	48
Figura 15 – Histograma geral da obra B3	50
Figura 16 – Histograma geral da obra C	51
Figura 17 – Histograma geral da obra D	52
Figura 18 – Histograma geral da obra E	54
Figura 19 – Histograma geral da obra F	55
Figura 20 – Histograma geral da obra G	56
Figura 21 – Histograma geral de todas as obras	57
Figura 22 – Histograma geral de lajes	58
Figura 23 – Histograma geral de lajes (próximo aos espaçadores)	58
Figura 24 – Histograma geral de lajes (meio dos vãos)	59
Figura 25 – Histograma geral de vigas	60
Figura 26 – Histograma geral de pilares	61
Figura 27 – Canteiro da obra A	62
Figura 28 – Canteiro das obras B1 e B2	63
Figura 29 – Canteiro da obra B3	63
Figura 30 – Canteiro da obra C	64
Figura 31 – Canteiro da obra D	64
Figura 32 – Canteiro da obra E	65

Figura 33 – Canteiro da obra F	65
Figura 34 – Canteiro da obra G	66
Figura 35 – Falta de limpeza no fundo de viga	66
Figura 36 – Histograma geral das obras de classificação excelente	69
Figura 37 – Histograma geral das obras de classificação bom	69
Figura 38 – Histograma geral das obras de classificação ruim	70
Figura 39 – Histograma geral para empresas de médio porte	71
Figura 40 – Histograma geral para empresas de pequeno porte	71
Figura 41 – Histograma geral das obras que utilizaram espaçador tipo centopéia	72
Figura 42 – Histograma geral das obras que utilizaram espaçador tipo cadeirinha	73
Figura 43 – Histograma geral das obras que utilizaram espaçador tipo garra	73
Figura 44 – Espaçadores utilizados nas vigas das obras visitadas	74
Figura 45 – Espaçadores utilizados nos pilares das obras visitadas	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Gastos em países desenvolvidos com manutenção	24
Quadro 2 – Classe de agressividade ambiental	35
Quadro 3 – Característica qualitativa associada aos níveis de controle da execução dos elementos de concreto armado	36
Quadro 4 – Síntese do histórico das empresas e e obras analisadas	44
Quadro 5 – Resumos dos resultados referentes ao nível de controle das obras	67
Quadro 6 – Critérios de classificação dos níveis de controle	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm	34
Tabela 2 – Empresas, número de obras e porte	43
Tabela 3 – Resumo das medições da obra A	45
Tabela 4 – Resumo das medições da obra B1	47
Tabela 5 – Resumo das medições da obra B2	48
Tabela 6 – Resumo das medições da obra B3	49
Tabela 7 – Resumo das medições da obra C	50
Tabela 8 – Resumo das medições da obra D	52
Tabela 9 – Resumo das medições da obra E	53
Tabela 10 – Resumo das medições da obra F	54
Tabela 11 – Resumo das medições da obra G	55

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma brasileira

Ibracon – Instituto brasileiro do concreto

ACI – *American Concrete Institute*

ISO – *International Organization for Standardization*

LISTA DE SÍMBOLOS

c – cobrimento (mm)

c_{\min} – cobrimento mínimo (mm)

c_{nom} – cobrimento nominal (mm)

Δc – tolerância de execução (mm)

ϕ – diâmetro (mm)

a/c – relação água cimento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	18
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	18
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	18
2.2.1 Objetivo principal	18
2.2.2 Objetivos secundários	18
2.3 DELIMITAÇÕES	19
2.4 LIMITAÇÕES	19
2.5 DELINEAMENTO	19
2.5.1 Pesquisa bibliográfica	20
2.5.2 Elaboração de planilha de levantamento de dados em campo	20
2.5.3 Coleta de dados nas obras	21
2.5.4 Análise de comparação dos dados	21
2.5.5 Considerações finais	21
3 DURABILIDADE DO CONCRETO	22
3.1 GENERALIDADES	23
3.2 PREVISÃO DE VIDA ÚTIL	25
3.3 MODELAGEM DA VIDA ÚTIL DE ESTRUTURAS	27
3.3.1 Abordagem determinística	27
3.3.2 Abordagem probabilística	27
3.4 CORROSÃO DE ARMADURAS	28
4 COBRIMENTO DE ARMADURAS	31
4.1 GENERALIDADES	31
4.2 ABORDAGEM NORMATIVA BRASILEIRA	33
4.3 ESPAÇADORES	35
5 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	38
5.1 ELABORAÇÃO DA PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS EM CAMPO	38
5.1.1 Dados da obra	39
5.1.2 Nível de controle	39
5.1.3 Valores do cobrimento nos projetos estruturais	39
5.1.4 Valores do cobrimento medidos em obra	40
5.1.4.1 Medição de lajes	40

5.1.4.2 Medição de vigas	40
5.1.4.3 Medição de pilares	41
5.1.5 Tipos de espaçadores	41
5.1.6 Informações complementares	42
5.2 DETERMINAÇÃO DA AMOSTRA	42
5.3 APLICAÇÃO DA PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS EM CAMPO	43
6. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES	45
6.1 RESULTADOS E ANÁLISES DE CADA EMPRESA	45
6.1.1 Empresa A	45
6.1.2 Empresa B	46
6.1.3 Empresa C	50
6.1.4 Empresa D	51
6.1.5 Empresa E	53
6.1.6 Empresa F	54
6.1.7 Empresa G	55
6.2 RESULTADO GERAL DE TODAS AS OBRAS E ANÁLISES	56
6.3 RESULTADOS E ANÁLISES EM FUNÇÃO DE CADA ELEMENTO ESTRUTURAL	57
6.3.1 Lajes	57
6.3.2 Vigas	59
6.3.3 Pilares	60
6.4 RESULTADOS E ANÁLISES EM FUNÇÃO DO NÍVEL DE CONTROLE DAS OBRAS	61
6.4.1 Presença do Engenheiro Civil responsável	61
6.4.2 Organização do canteiro	62
6.4.3 Condições de limpeza do pavimento medido	66
6.4.4 Utilização de EPI	67
6.4.5 Metodologia na disposição dos espaçadores	67
6.4.6 Certificação de qualidade	67
6.4.7 Análises	68
6.5 RESULTADOS E ANÁLISES EM FUNÇÃO DO PORTE DA EMPRESA	70
6.6 RESULTADOS E ANÁLISES EM FUNÇÃO DO TIPO DE ESPAÇADOR	72
6.6.1 Lajes	72
6.6.2 Vigas	73
6.6.3 Pilares	74

7 CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS	78
APÊNDICE A	80
APÊNDICE B	82

1 INTRODUÇÃO

O atual crescimento do setor da Construção Civil, impulsionado pelo aquecimento da economia brasileira, tem estimulado significativamente a realização de obras em todo o Brasil. Em Porto Alegre, não é diferente, com o setor aquecido verifica-se novas obras iniciando todos os dias, dentre as quais, quase que em sua maioria, utilizando estruturas de concreto armado moldadas no local.

O concreto armado é um material artificial, resumidamente, composto por concreto convencional e barras ou fios de aço. A sua função primária é suportar os esforços que a estrutura venha a ser submetida, permanecendo íntegro e passivo de deformações que prejudiquem a sua durabilidade, seu bom desempenho em serviço e a segurança estrutural. Ambos componentes, concreto e aço, devem ser dispostos de modo racional e econômico, consideradas as resistências de cada um deles, e devem trabalhar de forma conjunta.

O cobrimento de concreto, foco principal do trabalho, tem como objetivo criar uma barreira homogênea de proteção da armadura. Tem grande importância estrutural, visto que, ao servir de proteção física e química, é um dos parâmetros estabelecidos para a estimativa da durabilidade e vida útil de uma estrutura de concreto armado.

Nas obras, a execução do cobrimento deve seguir as espessuras relacionadas nos projetos estruturais de vigas, lajes e pilares. Porém, hoje, devido à carência de mão de obra especializada e qualificada, a quantidade de obras iniciando, aliada ainda à falta de controle da qualidade nas obras, juntamente com materiais de baixa qualidade, conduzem a fatores propícios a más execuções das mesmas, entre muitos pontos, e especificamente do cobrimento.

Portanto, após uma análise bibliográfica da durabilidade do concreto e do cobrimento de armaduras, é explicitada a elaboração de uma planilha de levantamento de dados em obra que teve como função, facilitar a coleta de dados e ajudar na comparação e análise dos mesmos. A seguir são apresentadas as empresas visitadas e as características de suas obras, demonstrando também a aplicação da planilha nas mesmas. Obtidos os resultados, é feita uma comparação das obras de concreto armado na cidade de Porto Alegre, analisando a variabilidade dos

cobrimentos que estão sendo executados e comparando-os com os valores de projeto, de modo que a variabilidade é em função do erro percentual dos cobrimentos medidos demonstrado na forma de histogramas. Além disso, é verificado se há relação dessas variabilidades com os níveis de controle das obras, o porte das empresas, os tipos de espaçadores utilizados e se há relação com os tipos de elementos estruturais (lajes, pilares e vigas).

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

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

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: em obras com estrutura de concreto armado em Porto Alegre, qual a diferença entre os valores do cobrimento que estão sendo executados e os seus respectivos valores de projeto?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é a análise da variabilidade do cobrimento de armaduras em execução em obras na cidade de Porto Alegre, comparando com os valores especificados em projeto.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são as verificações de existência de correlações entre a variabilidade do cobrimento de armaduras que está sendo executado com o de projeto, em função:

- a) qualidade do controle de execução;
- b) do tipo de elemento estrutural (lajes, pilares e vigas);
- c) porte da empresa;

d) do tipo de espaçador utilizado.

2.3 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a obras de concreto armado na cidade de Porto Alegre.

2.4 LIMITAÇÕES

As limitações do trabalho proposto:

- a) coleta de dados foi feita com um paquímetro de precisão em trinta pontos para cada elemento estrutural (laje, pilar e viga) de um pavimento qualquer para cada obra visitada;
- b) o número de obras estudadas foi limitado, mas suficiente ao âmbito do trabalho.

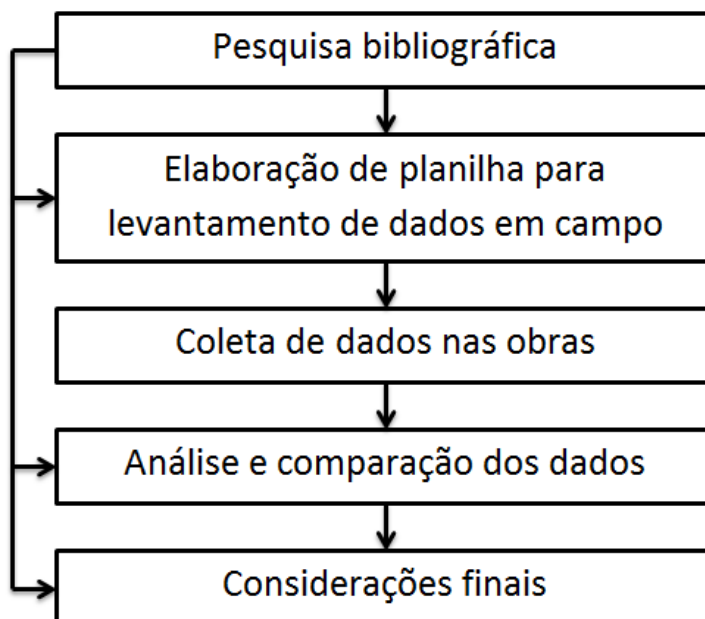
2.5 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) elaboração de planilha para levantamento de dados em campo;
- c) coleta de dados nas obras;
- d) análise e comparação dos dados;
- e) considerações finais.

Estas etapas estão representadas no diagrama da figura 1 e estão detalhadas nos próximos itens.

Figura 1 – Etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

2.5.1 Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica esteve presente em todas as etapas do trabalho, com exceção da coleta de dados nas obras. Foram utilizados livros, pesquisas acadêmicas, materiais eletrônicos e demais materiais condizentes com o tema de cobrimento de armaduras em estrutura de concreto armado. Teve como objetivo fornecer relato de experiências anteriores, conceitos e definições que são a base para auxiliar a compreensão e elaboração de todo o trabalho.

2.5.2 Elaboração de planilha de levantamento de dados em campo

Nesta etapa iniciou a elaboração de uma planilha de levantamento de dados, preenchida nas obras visitadas. A planilha foi composta, basicamente, por dados da obra, valores do cobrimento nos projetos estruturais, medições do cobrimento de concreto nos elementos estruturais (lajes, pilares e vigas), tipos de espaçadores empregados, condições de limpeza e níveis de controle (por meio de avaliação qualitativa quanto à organização das obras). O seu

desenvolvimento seguiu conceitos caracterizados previamente, de modo a facilitar a verificação e anotação dos dados.

2.5.3 Coleta de dados nas obras

A etapa seguinte teve como objetivo a aplicação da planilha de levantamento de dados anteriormente elaborada. Foram visitadas várias obras com estrutura em concreto armado de diferentes empresas, a fim de se obter resultados significativos. Sendo esta a etapa mais crítica do trabalho devido à necessidade de serem verificados o maior número possível de obras, dentro do cronograma apresentado que também contempla a análise, comparação e as considerações finais do trabalho.

2.5.4 Análise e comparação dos dados

Com base nas informações obtidas anteriormente nas obras e com o estudo bibliográfico possibilitou-se realizar a análise e comparação dos dados, buscando, primeiramente, definir a variabilidade do cobrimento de concreto nas diferentes obras, comparando com os valores especificados nos projetos estruturais das mesmas. Foi verificada também a existência ou não de correlações entre esta variabilidade com os tipos de elementos estruturais, porte das empresas, os diferentes tipos de espaçadores empregados e com os níveis de controle das obras.

2.5.5 Considerações finais

Após a coleta e análise das informações, juntamente com a revisão bibliográfica, permitiu-se expor como está sendo realizado o cobrimento de armaduras, nas obras pesquisadas, na cidade de Porto Alegre, bem como se pode avaliar a execução das obras, comparando os resultados obtidos frente ao especificado nos respectivos projetos estruturais. Foi possível ainda indicar a existência de variáveis, como o tipo de espaçador, nível de controle, porte da empresa e diferentes elementos estruturais, que poderiam estar influenciando os resultados obtidos.

3 DURABILIDADE DO CONCRETO

No passado, na época do Pós-Guerra, necessitando aumentar a produtividade e diminuir os custos, os projetistas reduziram as seções das peças estruturais, deixando-as mais esbeltas e com menores espessuras de cobrimento. Estas mudanças refletiram negativamente nas construções, causando inúmeros problemas estruturais. Tais problemas foram alvo de vários estudos, assim como a inclusão em normas de parâmetros de projeto relativos à durabilidade das estruturas de concreto armado (AMORIM, 2010, p. 24).

O concreto começou a ser utilizado em larga escala no Brasil no início do século XX, e, como afirmam Pereira et al. (2010, p. 2):

Durante muitos anos acreditou-se que a durabilidade deste material era ilimitada, prevalecendo a visão de que as estruturas praticamente não necessitavam de reparos. O concreto, entretanto, como qualquer material sofre processo de degradação e envelhecimento.

Nas décadas passadas, a durabilidade acabou se tornando um dos fatores de maior destaque na construção de uma estrutura. É cada vez mais desejada a obtenção de estruturas de concreto com vida útil maior e menos gastos relativos a manutenções e reparos das mesmas. Ainda que o concreto tenha excelente desempenho, é inevitável, com o passar do tempo, a perda das suas características e do seu desempenho estético e funcional (MENEZES, 2009, p. [2]).

À medida que ocorrem ações externas ou de ocorrência interna, há um decréscimo da durabilidade e com isso, um aumento da vulnerabilidade do concreto, possibilitando a ocorrência de manifestações patológicas no concreto armado, sendo a principal delas a corrosão de armaduras. Silva (2007, p. 2) reitera isto ao informar que “Uma das patologias mais frequentes em estruturas de concreto armado é a corrosão das armaduras, aproximadamente 30% das anomalias existentes.”.

3.1 GENERALIDADES

Sobre a durabilidade, o ACI Committee 201 (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 1991, p. 2) indica que:

A durabilidade do concreto de cimento Portland é definida como a sua habilidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração. O concreto durável irá manter a sua forma inicial, a sua qualidade e o seu estado limite de serviço quando exposto ao meio ambiente.

A fim de estabelecer elementos que influenciem na durabilidade de uma edificação, Mehta e Gerwick e Mehta¹ (1996 apud POSSAN, 2004, p.28) sugerem condições que devem ser estabelecidos para se conceber uma estrutura de concreto armado durável:

- a) projeto estrutural e detalhamento de projeto;
- b) seleção dos materiais constituintes da mistura;
- c) dosagem do concreto;
- d) lançamento, adensamento e cura.

A durabilidade é o resultado de um conjunto de variáveis que influenciam na concepção estrutural de um elemento de concreto armado. Sobre a sua exigência e necessidade, a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 15) indica que:

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto conservem suas segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil.

Seguindo a mesma linha, Andrade et al. (2011, p. 775) definem a durabilidade como sendo “[...] o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, de operação e de manutenção.”. Com isso, constata-se que a durabilidade não é uma propriedade que se estabelece antes da concepção da estrutura, composta de armadura e concreto. E sim, devido a diferentes tipos de comportamento e formas como ela é utilizada ao longo do tempo, permitindo estabelecer o seu desempenho.

¹ GERWICK, B. J.; MEHTA, P. K. Concrete in the service of the modern world. In: INTERNATIONAL CONFERENCE CONCRETE IN THE SERVICE OF MANKIND, 1996, Scotland. **Proceedings...** Local: University of Dundee, 1996. Não paginado.

O número de problemas encontrados hoje nas obras é provavelmente maior do que os encontrados há cinquenta anos, conforme Neville² (1987 apud SILVA, 2007, p. 37). Silva ainda afirma que: “Essa colocação não visa condenar o concreto, mas questionar o que foi feito e o que tem sido feito erroneamente.”.

Retratando e justificando a afirmativa anterior, Silva (2007, p. 37) destaca dois assuntos relevantes:

- a) o uso de critérios inadequados de aceitação do concreto, que privilegiam a resistência em detrimento à durabilidade;
- b) a gradativa alteração das propriedades dos cimentos (maior teor de silicato tricálcico (C₃S), menor teor de silicato dicálcico (C₂S), conseqüentemente conferindo maior velocidade de hidratação e desenvolvimento de tensão mais rápido);

Mehta e Monteiro (1994, p. 120) analisam que na Construção Civil de hoje em dia, ao se projetar uma estrutura, as características da durabilidade dos materiais usados precisam ser mensuradas, da mesma forma como são as propriedades físicas e o custo inicial. Isto porque aumentam progressivamente os custos de manutenção e reparo de estruturas, que ocasionam em um inchaço ainda maior no orçamento total das obras. No quadro 1, é apresentada uma comparação, entre países desenvolvidos da Europa, em relação aos gastos com manutenção e reparo, que têm sido observados.

Quadro 1 – Gastos em países desenvolvidos com manutenção³

país	gastos com construções novas	gastos com manutenção e reparo	gastos totais com construção
França	85,6 Bilhões de Euros (52%)	79,6 Bilhões de Euros (48%)	165,2 Bilhões de Euros (100%)
Alemanhã	99,7 Bilhões de Euros (50%)	99,0 Bilhões de Euros (50%)	198,7 Bilhões de Euros (100%)
Itália	58,6 Bilhões de Euros (43%)	76,8 Bilhões de Euros (57%)	135,4 Bilhões de Euros (100%)
Reino Unido	60,7 Bilhões de Pounds (50%)	61,2 Bilhões de libras (50%)	121,9 Bilhões de Pounds (100%)

(fonte: ANDRADE et al., 2011, p. 775)

² NEVILLE, A. M. Why we have concrete durability problems. In: CONCRETE DURABILITY, 1987, Detroit. **Proceedings...** Detroit: American Concrete Institute, 1987. p. 21-30.

³ Todos os dados se referem ao ano de 2004, exceto no caso da Itália que se refere ao ano de 2002.

É possível perceber que os gastos totais com construção, nestes países desenvolvidos, praticamente dobram de valor em relação ao seu custo inicial, indicando o significativo montante gasto com manutenção e reparo. Podendo assim, demonstrar a importância do estudo da durabilidade das estruturas que está sempre relacionado com a previsão de vida útil.

3.2 PREVISÃO DE VIDA ÚTIL

Conforme o item 6.2.1 da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 15), entende-se como vida útil:

[...] o período de tempo durante o qual se mantém as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, [...], bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

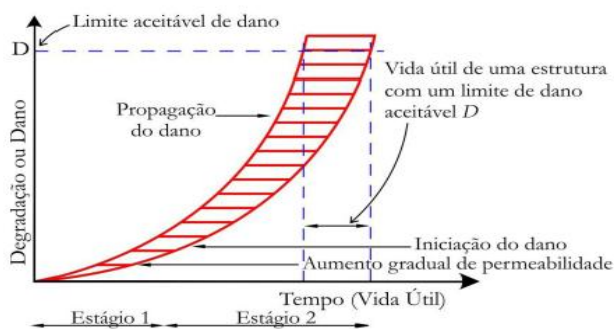
A Norma também enfatiza que esse conceito se aplica à estrutura como um todo ou às suas partes. Ou seja, algumas partes das estruturas podem ter o valor de vida útil diferente de outras. Ainda sobre a definição de vida útil, em uma abordagem da ISO 13823⁴ (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION 2008 apud POSSAN, 2010, p. 32), é afirmado que se trata de um período em que a estrutura e as suas partes atendem requisitos de desempenho do projeto, excluindo qualquer tipo de intervenções de manutenção ou reparo. Conclui-se que a abordagem da NBR 6118 agrega os principais fatores de influência nas estruturas, além de ser mais abrangente. Já a abordagem da ISO 13823, insere na conceituação da vida útil o conceito de desempenho, sendo mais completa e atualizada.

Sobre a forma que deve ser evidenciada a questão da vida útil, Andrade et al. (2011, p. 780) indicam que “[...] deve ser enfocada de forma holística, sistêmica e abrangente, envolvendo equipes multidisciplinares.”. Sobre as etapas construtivas que incluem desde a concepção, planejamento e projeto até a execução da estrutura, todas elas devem ser levadas em consideração quando se trata da vida útil.

⁴ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13823**: general principles on the design of structures for durability. Geneva: ISO/TC, 2008.

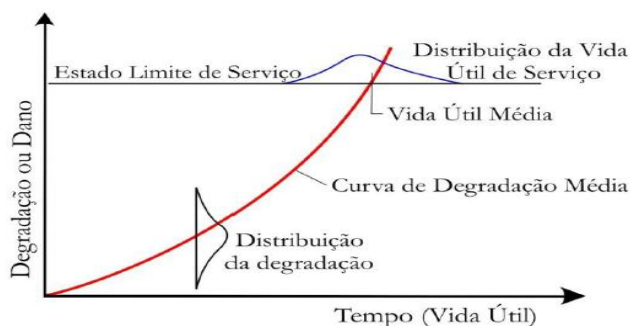
A fim de associar a curva de comportamento da estrutura, Mehta⁵ (1994 apud POSSAN, 2010, p. 35) relaciona a degradação e a vida útil, conforme a figura 2. Pode-se compreender que tal comportamento não segue um padrão linear, devido à iteração das condições do ambiente e o carregamento com a estrutura não serem constantes. Percebe-se nessa figura que há um aumento do processo de degradação com o passar do tempo, ou seja, quanto maior for o tempo de operação da estrutura maior a chance de ocorrer em ações de valor elevado. Na figura 3, também exibida pelo autor, é apresentada a relação entre degradação e vida útil em termos probabilísticos.

Figura 2 – Vida útil das estruturas de concreto



(fonte: MEHTA⁶ 1994 apud POSSAN 2010, p. 35)

Figura 3 – Consideração das incertezas probabilísticas na vida útil das estruturas de concreto armado



(fonte: MEHTA⁷, 1994 apud POSSAN, 2010, p. 36)

⁵ MEHTA, P. K. Concrete technology at the crossroads: problems and opportunities. In: CONCRETE TECHNOLOGY: past, present and future, 1994. **Proceedings...** São Paulo: ACI-144, 1994, p. 1-30.

⁶ op. cit.

⁷ op. cit.

3.3 MODELAGEM DA VIDA ÚTIL DE ESTRUTURAS

Prever a vida útil de estruturas é algo muito complexo, visto que cada parte da estrutura pode vir a se deteriorar em taxas diferentes, havendo sempre incertezas quanto às propriedades dos materiais, ao tipo de resposta da estrutura, disposição de uso e operação, entre outros. Sobre a modelagem para a previsão de vida útil de estruturas de concreto, as duas abordagens mais usuais são: determinística e probabilística.

3.3.1 Abordagem determinística

De acordo com Possan (2010, p. 46), tal abordagem determina que a qualidade do concreto influencia no ingresso de agentes agressivos, levando a deterioração da estrutura. Perante esta situação, baseia-se nos mecanismos de transportes de gases, massa e íons através dos vazios do concreto, que podem ser descritos pela Lei de Faraday, equação de Darcy, Leis de Fick, entre outras. Tais modelos fundamentados levam em consideração algumas variáveis como sendo constantes no tempo, de forma a simplificar algumas deduções. Andrade (2001, p. 59) afirma que tal procedimento pode trazer algum nível de incerteza, podendo prejudicar a representatividade dos resultados obtidos.

3.3.2 Abordagem probabilística

Muitos problemas de Engenharia envolvem processos e fenômenos inerentemente aleatórios e certos parâmetros não podem ser considerados constantes no tempo. Desta forma, muitas decisões tomadas nas atividades de planejamento e projeto de empreendimentos são invariavelmente tomadas sob condições de incerteza (ANDRADE, 2001, p. 59).

De acordo com Andrade (2001, p. 59), os efeitos dessas incertezas são significativos, se fazendo necessária a quantificação das aleatoridades, bem como a verificação de seus resultados como um todo. De tal forma que, a aplicação de métodos e teorias de probabilidade, se mostram bastante promissores para solucionar problemas de avaliação de vida útil.

Muitos pesquisadores estão empregando técnicas de confiabilidade para prever com uma boa margem de segurança o comportamento de uma determinada estrutura, a fim de se prever a sua vida útil. Conforme afirma Possan (2010, p. 47), “[...] as predições baseadas em métodos probabilistas conseguem inserir nos modelos de comportamento as variabilidades do processo de degradação das estruturas, fornecendo estimativas mais próximas à realidade.”.

3.4 CORROSÃO DE ARMADURAS

A fim de se ter uma estrutura durável, é necessário que ela seja resistente aos agentes agressivos externos que podem ingressar do meio ambiente para o interior do concreto através dos poros da camada de cobrimento, podendo atingir a armadura, dando início ao processo de corrosão. A corrosão das armaduras que ocorre nas estruturas de concreto armado é um processo que implica na perda progressiva de seção das barras de aço. Vale ressaltar que a corrosão é um processo evolutivo e que tende a se agravar com o passar do tempo, podendo comprometer a segurança estrutural da edificação e/ou resultar em colapso da mesma.

A deterioração de um material, geralmente metálico, é a descrição de corrosão. Alterações prejudiciais e indesejadas, a partir de ações químicas ou eletroquímicas do meio ambiente aliadas ou não a esforços mecânicos, podem tornar o material inadequado ao uso (GENTIL, 1996).

A tendência natural do aço, quando exposto ao meio ambiente, é ser suscetível à corrosão. Entretanto ao ser incorporado ao concreto, aumentam as suas condições de segurança. Conforme Figueiredo e Meira (2011, p. 903-904), o concreto oferece uma proteção física e química, impedindo que o aço seja exposto diretamente ao meio externo e formando uma camada passivadora devido ao seu elevado pH (alta alcalinidade). Entretanto essa proteção proveniente do concreto pode ser perdida.

Silveira (2004, p. 13) afirma que “[...] a armadura é revestida com uma camada de passivação, que protege o aço da corrosão.”. Perdrix⁸ (1992 apud SILVEIRA, 2004) resalta que tal camada é compacta e contínua, como uma capa de óxidos transparentes, com função de proteger o aço da estrutura por tempo indeterminado, ainda que se tenha contato com

⁸ PERDRIX, C. A. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo: Pini. 1992.

umidades elevadas no concreto. Apenas após o rompimento desta camada, caracterizado pela despassivação, é que se tem o início da corrosão.

Sobre os fatores que levam a corrosão do aço no concreto, Vieira (2003, p. 9) afirma que:

O mecanismo de corrosão do aço está fundamentado nos princípios da corrosão eletroquímica, que só ocorre quando existe um eletrólito, uma diferença de potencial e a presença de oxigênio, podendo ser acelerada por agentes agressivos contidos ou absorvidos pelo concreto [...].

Na figura 4, são representados graficamente os fatores citados acima. Introduzindo também o conceito de que o processo de corrosão ocorre pela ação de agentes agressivos, sendo que os dois principais são a ação de íons cloreto e a carbonatação.

Figura 4 – Condições para ocorrência da corrosão



(fonte: BOHNI⁹, 2005 apud TORRES, 2011, p. 15)

Na carbonataço, a possibilidade de despassivaço do aço ocorre devido à reduço do pH para valores menores que 9. E essa diminuiço sø acontece quando hà o ingresso de moléculas de diøxido de carbono no concreto (TUUTTI¹⁰, 1982 apud Figueiredo e Meira, 2011, p. 910). Na presença de umidade existente nos poros do concreto, o diøxido de carbono transforma o hidrøxido de càlcio do concreto, de pH em torno de 12 a 13, em carbonato de càlcio que tem

⁹ BOHNI, H. **Corrosion in reinforced concrete structures**. Cambridge: Woodhead, 2005.

¹⁰ TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete**. Stockholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982.

um pH baixo, em torno de 9. Para prevenir a carbonatação, deve-se reduzir a relação a/c, diminuindo a porosidade do concreto e impedindo a entrada do CO₂ (AMORIM, 2010, p. 51).

Na ação de cloretos, a possibilidade de despassivação do aço ocorre de forma localizada (pite) devido ao ingresso de água, oxigênio e, principalmente, íons cloreto. A ruptura da película protetora do aço acontece após sucessivas trocas de despassivação e repassivação (FIGUEIREDO; MEIRA, 2011, p. 912).

4 COBRIMENTO DE ARMADURAS

Neste capítulo é apresentada uma visão geral sobre o cobrimento de armaduras, expondo os seus conceitos e evidenciando suas funções básicas. Na continuidade do capítulo é exposta a abordagem da norma brasileira sobre o cobrimento e as suas variações. Por último é tratado a importância dos espaçadores e os seus tipos.

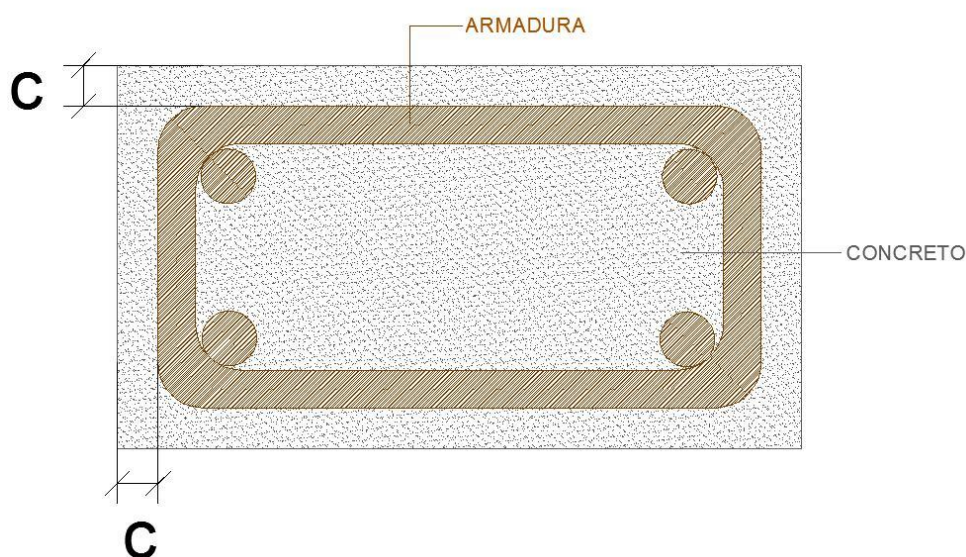
4.1 GENERALIDADES

No atual cenário da Construção Civil, no qual a preocupação e o cuidado não são só com a resistência mecânica, mas também com a durabilidade das estruturas, deve ser dada uma maior atenção à camada de cobrimento do concreto. Sobretudo durante a sua execução, visto que a sua verificação é normalmente passada despercebida em comparação com a verificação da armadura.

Takata (2009, p. 38) afirma que “Cobrimento é uma proteção para a armadura que depende tanto da qualidade do concreto (que oferece uma proteção baseada no impedimento da formação de células eletroquímicas, através de proteção física e proteção química), quanto de uma camada com espessura adequada.”. O autor ainda afirma que o cobrimento deve proporcionar proteção a todas as barras da armadura, sendo medido da face externa da estrutura até a barra mais próxima, devendo ser incluído também barras de estribos e armaduras secundárias.

Na figura 5 é identificado o cobrimento na seção de um pilar, em que o concreto envolve toda a armadura da peça.

Figura 5 – Identificação do cobrimento (c) na seção de um pilar



(fonte: elaborado pelo autor)

Quanto à necessidade da qualidade e homogeneidade do concreto do cobrimento, Dal Molin (1988, p. 56) afirma que “É essencial evitar ‘ninhos’ e segregações. Uma compactação insuficiente pode aumentar a permeabilidade até um ponto em que a proteção das armaduras deixa de existir.”. Cuidados com a cura da superfície das estruturas e com a uniformidade da camada do cobrimento também são essenciais para a diminuição da possibilidade de ataques externos.

As características que influenciam no desempenho do cobrimento de armadura, tais como tamanho dos poros e hidratação, são diferentes das características obtidas nos corpos de prova moldados para testes de resistência à compressão. A microestrutura desta camada de proteção é modificada ocasionalmente nas condições de cura e na relação área de fôrma/volume de concreto (SILVEIRA, 2004, p. 26-27).

Conforme Takata (2009, p. 38-39), a forma com que é lançado o concreto influencia no resultado final do cobrimento. O ataque de agentes agressivos externos, geralmente via águas residuais ou pela própria atmosfera, nas estruturas pode ser muito mais acentuado se não forem tomados certos cuidados anteriormente previstos na execução do concreto, como a homogeneidade e apropriação do teor de argamassa. O fato de ser a camada mais externa do elemento estrutural e servir como uma película protetora da armadura, leva o cobrimento a

proteger também contra choques mecânicos que a estrutura possa sofrer. Tais proteções são caracterizadas abaixo pelo autor:

- a) proteção física: um bom cobrimento, com concreto em boas condições (sem **bicheiras**, homogêneo e teor de argamassa adequado), já garante proteção à barra de aço por impermeabilidade;
- b) proteção química: proporciona uma película protetora da armadura (formada em ambiente alcalino para proteção das barras de aço).

O concreto é um material poroso, composto por agregados e pela pasta de cimento. Pelo fato dos agregados serem normalmente inertes, características físicas e químicas dependem da pasta e da sua interação com os agregados. O grau de porosidade é uma destas características, e tem como função regular a entrada e saída de fluídos. Conforme Menezes (2009), para se diminuir o ingresso de substâncias no interior da estrutura, a fim de se aumentar a resistência e a durabilidade, deve-se diminuir a relação a/c.

A penetração de fluídos, sejam líquidos ou gases, no interior do concreto pode prejudicar o material. Esse ingresso acontece quando há a existência de capilaridades no interior do concreto, que são interconexões entre os poros (SILVEIRA, 2004, p. 8). Vale ressaltar também que há uma diferença de porosidade da camada de cobrimento, de modo que quanto mais próxima da face externa, maior a propensão ao ingresso de agentes agressivos (SILVA, 2007, p. 39).

4.2 ABORDAGEM NORMATIVA BRASILEIRA

Conforme prescreve a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 18-19), para garantir o cobrimento mínimo da armadura (c_{\min}), que é a menor distância livre entre a face externa e a camada de barras mais próxima dessa face, o projeto estrutural e a execução devem considerar também o cobrimento nominal (c_{nom}), que é o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução (Δc). Embora o valor da tolerância de execução seja descrito em 10 mm, no item 7.4.7.4 é indicado que: “Quando houver um adequado controle de qualidade e rígidos limites de tolerância da variabilidade das medidas durante a execução pode ser adotado o valor $\Delta c = 5$ mm, porém a exigência de controle rigoroso deve ser explicitada nos desenhos do projeto.”. A Norma prevê que seja permitida

uma redução dos cobrimentos nominais, conforme a tabela 1, em 5 mm. São indicadas também as classes de agressividade ambiental em função dos cobrimentos nominais e do tipo de estrutura.

Tabela 1 – 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
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto Armado	Laje ¹⁾	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50

¹⁾ 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 tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por $c_{nom} \geq \phi$ barra, respeitando um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 19)

Sobre a agressividade do ambiente, o item 6.4.1, da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 16) descreve que:

A agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto.

Conforme a classificação de agressividade do quadro 2, a estrutura e as suas partes devem ser condicionadas quanto aos seus possíveis desgastes perante o meio em contato. Sendo a característica do ambiente o parâmetro de escolha do nível de agressividade que possa ser condicionada a estrutura, sempre buscando a sua segurança.

Acerca da agressividade ambiental e a sua condição frente à segurança e o uso das estruturas, Lima (2011, p. 735-736) descreve que muitos são os parâmetros que afetam a estabilidade das estruturas de concreto armado, alguns exemplos deles são:

- a) temperatura;
- b) umidade relativa;
- c) vento;

- d) poluição;
- e) agressividade da água.

Quadro 2 – Classes 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 ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 16)

Segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007), é pertinente para o concreto armado, que o cobrimento nominal para uma determinada barra deva ser sempre superior ao seu diâmetro ($c_{nom} \geq \phi$ barra) e, no caso de feixes, maior que o diâmetro equivalente ($c_{nom} \geq \phi$ feixe = $\phi_n = \phi \cdot \sqrt{n}$). O item 7.4.7.6 da mesma Norma indica ainda que “A dimensão máxima característica do agregado graúdo utilizado no concreto não pode superar em 20% a espessura nominal do cobrimento [...]”.

4.3 ESPAÇADORES

A fim de garantir a camada de cobertura de concreto e, conseqüentemente, a proteção das armaduras, é essencial a utilização de espaçadores. Segundo o item 8.1.5.5 da NBR 14931 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 13), para que se atinja o cobrimento especificado para a armadura se faz necessário a utilização de dispositivos

adequados ou espaçadores, se referindo sempre à armadura mais próxima da face externa da estrutura.

Segundo Takata (2009, p. 40), o distanciamento proveniente dos espaçadores pode variar dependendo da peça utilizada. O autor ainda afirma que: “Esses espaçadores servem para manter a armadura na posição durante a montagem, o lançamento e o adensamento do concreto a fim de garantir o cobrimento mínimo prescrito no projeto.”.

Sobre os níveis de controle, eles podem ser utilizados quando se tem uma situação em que há algum risco estrutural. De acordo com a quadro 3, Andrade (2001, p. 152-153) afirma que podem ser associados níveis de controle à obra conforme o emprego dos espaçadores a sua utilização em um plano de distribuição.

Quadro 3 – Característica qualitativa associada aos níveis de controle da execução dos elementos de concreto armado

Nível de controle	Característica qualitativa
Baixo	– Inexistência de um plano de distribuição dos espaçadores em relação à área e/ou volume dos elementos estruturais;
	– Emprego de espaçadores inadequados (espessura variável, traço diferente do traço do concreto da estrutura).
Alto	– Existência de um plano adequado de distribuição dos espaçadores;
	– Emprego de espaçadores adequados.

(fonte: adaptado de ANDRADE, 2001, p. 153)

Referente aos tipos de espaçadores, Menezes (2009, p. [9]) afirma que os feitos de argamassa e plástico são os mais utilizados. Entre os espaçadores de plástico há vários tipos de modelos disponíveis hoje no mercado. Modelos estes que variam de forma conforme o elemento estrutural que é empregado (viga, laje, pilar, entre outros). Na descrição de cada um deles, é apresentado o cobrimento atendido e, quando necessário, a bitola das barras.

Abaixo são listados e ilustrados os principais modelos de espaçadores plásticos:

- a) **circular**: utilizado em pilares, no seu encaixe há um sistema de mola e contra-mola que permite um alojamento estável das barras;

- b) multi apoio **tipo centopéia**: utilizado em ferragens pesadas (fundo de vigas, lajes e outros);
- c) **tipo cavalete ou garra**: utilizado em armaduras positivas, fixando a barra de ferro na sua extremidade;
- d) pino **tipo cadeirinha**: indicado para lajes nas quais há muito tráfego sobre as ferragens, serve de apoio para a barra de ferro restringindo o seu movimento.

Figura 6 – Espaçador circular



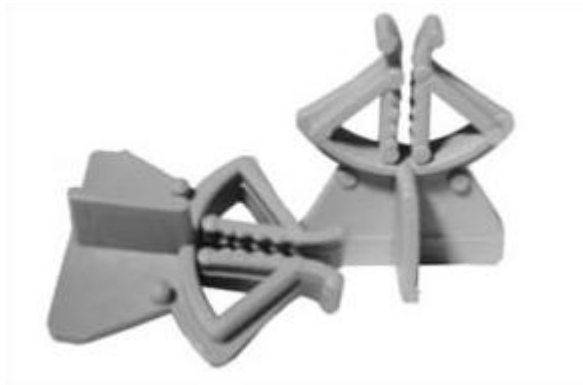
(fonte: CONEKPLAS, 2012)

Figura 7 – Espaçador tipo centopéia



(fonte: CONEKPLAS, 2012)

Figura 8 – Espaçador tipo cavalete ou garra



(fonte: CONEKPLAS, 2012)

Figura 9 – Espaçador tipo cadeirinha



(fonte: CONEKPLAS, 2012)

5 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Neste capítulo é detalhado o planejamento do programa de coleta de dados, definido em linha com a estratégia de pesquisa adotada para o presente trabalho, descrita no capítulo 2. O capítulo descreve, ainda, como foi elaborada a planilha de levantamento de dados em campo, bem como apresenta a determinação da amostra e como foram coletados os dados nas obras visitadas.

5.1 ELABORAÇÃO DA PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS EM CAMPO

A planilha, presente no apêndice A, foi produzida com base nas informações obtidas nas referências bibliográficas consultadas e com o conhecimento e auxílio de professores da área. A sua função foi, basicamente, colaborar na organização dos dados levantados e características das obras visitadas.

Na planilha constam diversos itens a serem preenchidos, estes estão explicitados nos elementos abaixo:

- a) dados da obra;
- b) nível de controle;
- c) valores do cobrimento nos projetos estruturais;
- d) valores do cobrimento medidos em obra;
- e) tipos de espaçadores;
- f) observações complementares.

A descrição e detalhamento de cada um dos itens são demonstrados a seguir.

5.1.1 Dados da obra

Acerca dos dados da obra, tinham como objetivos identificar a obra e classificá-la segundo o seu porte. Foi catalogado o nome da empresa e do empreendimento, o seu porte, endereço e pavimento medido no instante da coleta dos dados.

5.1.2 Nível de controle

A determinação do nível de controle da obra foi estipulado subjetivamente. Foram considerados diversos aspectos da obra como relevantes para tal determinação, tais como:

- a) presença do Engenheiro Civil responsável;
- b) organização do canteiro de obra;
- c) condições de limpeza;
- d) utilização de EPI pelos funcionários;
- e) metodologia na disposição dos espaçadores;
- f) certificação de qualidade da empresa.

Com o conjunto de aspectos levantados, foi possível concluir e classificar o nível de controle da obra, como sendo: excelente, bom e ruim. Ficou estabelecido também que para conquistar um resultado excelente, obrigatoriamente a empresa deveria ter um certificado de qualidade demonstrando o seu empenho na busca por melhores produtos e execuções.

5.1.3 Valores do cobrimento nos projetos estruturais

A obtenção dos valores do cobrimento dos pilares, lajes e vigas foi realizado através da consulta dos projetos estruturais da obra. Valores estes que usualmente não estão explícitos no projeto, havendo a necessidade de se analisar nos detalhes dos elementos estruturais.

5.1.4 Valores do cobrimento medidos em obra

Os valores consultados neste item são fundamentais para o desenvolvimento do projeto. Foi realizada, preliminarmente a concretagem, a medição em trinta pontos de cobrimento na obra para cada elemento estrutural (laje, viga e pilar). Para tal, foi utilizado um paquímetro de precisão, metálico e da marca Worker, conforme a figura 10.

Figura 10 – Paquímetro de precisão



(fonte: foto do autor)

5.1.4.1 Medição de lajes

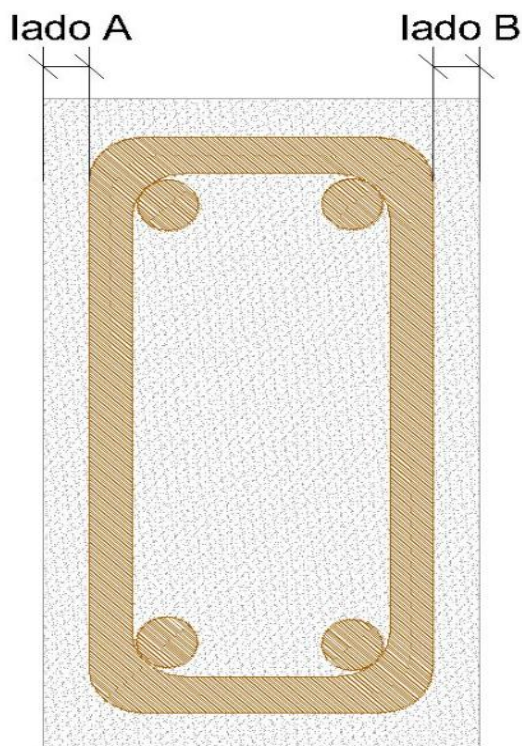
A medição abrangeu o espaço entre a fôrma da laje até a parte inferior da armadura positiva, sempre na sua menor distância. Houve dois tipos de medições de laje, uma medição nas proximidades dos espaçadores e outra no meio dos vãos, dividindo-se quinze pontos para cada tipo de medição.

5.1.4.2 Medição de vigas

A quantidade de pontos medidos ao longo das vigas foi aleatória, porém sempre maior que um, a fim de se possibilitar a compreensão de eventuais problemas nos valores do cobrimento. Ainda sobre os pontos medidos, foi indicada a coleta dos dados nos dois lados da viga, lado A e lado B, conforme a figura 11. A parte inferior da viga, devido à presença das armaduras,

sendo assim um lugar de difícil acesso, não foi levado em conta para a planilha visto a impossibilidade de medições.

Figura 11 – Lados medidos nas vigas



(fonte: elaborado pelo autor)

5.1.4.3 Medição de pilares

Para esta medição foram medidos todos os lados dos pilares e, ainda, havendo a necessidade de se destacar quais eram os lados opostos entre si. Em função do fechamento das fôrmas e da impossibilidade de acesso aos pilares, a coleta de dados se baseou apenas nas partes superiores, sendo as partes inferiores descartadas do presente trabalho.

5.1.5 Tipos de espaçadores

Durante o levantamento das espessuras do cobrimento, foram observados os tipos de espaçadores utilizados nos elementos estruturais e, se necessário para entendimento, desenhá-los na planilha.

5.1.6 Observações complementares

Entende-se por observações complementares, toda e qualquer informação e curiosidade que venha a ser constatada na obra. Erros e problemas diagnosticados também devem ser incorporados neste item.

5.2 DETERMINAÇÃO DA AMOSTRA

O público alvo da pesquisa foi o segmento de construtoras de Porto Alegre, mais especificamente, as que utilizam concreto armado. Esta determinação da amostra e também a escolha dos aspectos mais significativos para a pesquisa são essenciais para a obtenção dos propósitos do trabalho.

Para a obtenção das informações relevantes sobre o objeto de estudo, é necessário haver certa variedade de casos, portanto, se optou por realizar as medições em construtoras e incorporadoras de Porto Alegre, almejando:

- a) selecionar obras diversas que possam fornecer uma ideia dos limites dentro das quais as variáveis do cobrimento possam oscilar;
- b) explorar valores do cobrimento que permitam ser a melhor representação da sua respectiva obra.

A escolha das obras do estudo baseiou-se nos seguintes critérios: disponibilidade dos engenheiros responsáveis em colaborar com a pesquisa, localização, necessidade de serem em concreto armado e diversidade de porte (pequena e média). Com isso, tabela 2 apresenta as empresas, quantidade de obras analisadas e o seu porte, respectivamente.

Tabela 2 – Empresas, número de obras e porte

EMPRESA	NÚMERO DE OBRAS	PORTE
Empresa A	1	Médio
Empresa B	3	Médio
Empresa C	1	Médio
Empresa D	1	Pequeno
Empresa E	1	Pequeno
Empresa F	1	Pequeno
Empresa G	1	Pequeno
TOTAL DE OBRAS	9	

(fonte: elaborado pelo autor)

5.3 APLICAÇÃO DA PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS EM CAMPO

Foi fundamental que as empresas colaboradoras da pesquisa entendessem os objetivos e o propósito do trabalho, bem como concordassem em participar do que fosse averiguado no trabalho, o qual possui apenas intuito acadêmico quanto à divulgação dos dados levantados. Para tanto, foi enviada uma carta, na qual era requisitada a participação das mesmas, explicando que os dados adquiridos fariam parte de um trabalho de conclusão do curso de engenharia civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tal carta pode ser visualizada no apêndice B.

Ao longo dos meses de setembro, outubro e novembro de 2012, a planilha de levantamento de dados elaborada previamente, foi aplicada nas nove obras de empresas da cidade de Porto Alegre. A caracterização de cada empresa e obra é exposta de forma resumida no quadro 4.

Quadro 4 – Síntese do histórico das empresas e obras analisadas

Empresa	Idade da empresa (anos)	Porte	Obra	Tipo da obra	Etapa da obra (pavimento analisado)	Certificado de qualidade	Mão de obra da estrutura
A	15 anos	Médio porte	A	Comercial	Térreo	ISO 9001 e PBQP-H nível A	Terceirizada
B	50 anos	Médio porte	B1	Residencial	2º Pavimento	ISO 9001 e PBQP-H nível A	Terceirizada
			B2		15º Pavimento		
			B3		8º Pavimento		
C	35 anos	Médio porte	C	Residencial	17º Pavimento	ISO 9001 e PBQP-H nível A	Terceirizada
D	20 anos	Pequeno porte	D	Residencial	17º Pavimento	Nenhum	Terceirizada
E	10 anos	Pequeno porte	E	Residencial	13º Pavimento	Nenhum	Terceirizada
F	15 anos	Pequeno porte	F	Residencial	3º Pavimento	ISO 9001 e PBQP-H nível A	Terceirizada
G	25 anos	Pequeno porte	G	Comercial	2º Pavimento	ISO 9001 e PBQP-H nível A	Própria

(fonte: elaborado pelo autor)

6 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES

A apresentação dos resultados obtidos nesta pesquisa é feita através de histogramas indicando as variações dos erros percentuais dos cobrimentos medidos em relações aos seus respectivos valores de projeto. Primeiramente, é apresentado o resumo das medições, o histograma de cada uma das obras e suas análises. A seguir é exposta a distribuição geral das frequências dos erros percentuais de todos os empreendimentos, assim como os histogramas em função: do porte das empresas, tipos dos elementos estruturais (lajes, vigas e pilares), níveis de controle e tipos de espaçadores.

6.1 RESULTADOS E ANÁLISES DE CADA EMPRESA

6.1.1 Empresa A

A representação dos dados, através da tabela 3, do resumo das medições da obra A, indicou que somente no meio dos vãos a média dos valores do cobrimento das lajes ficou abaixo em relação ao seu projeto, com quase um quarto de redução do valor determinado.

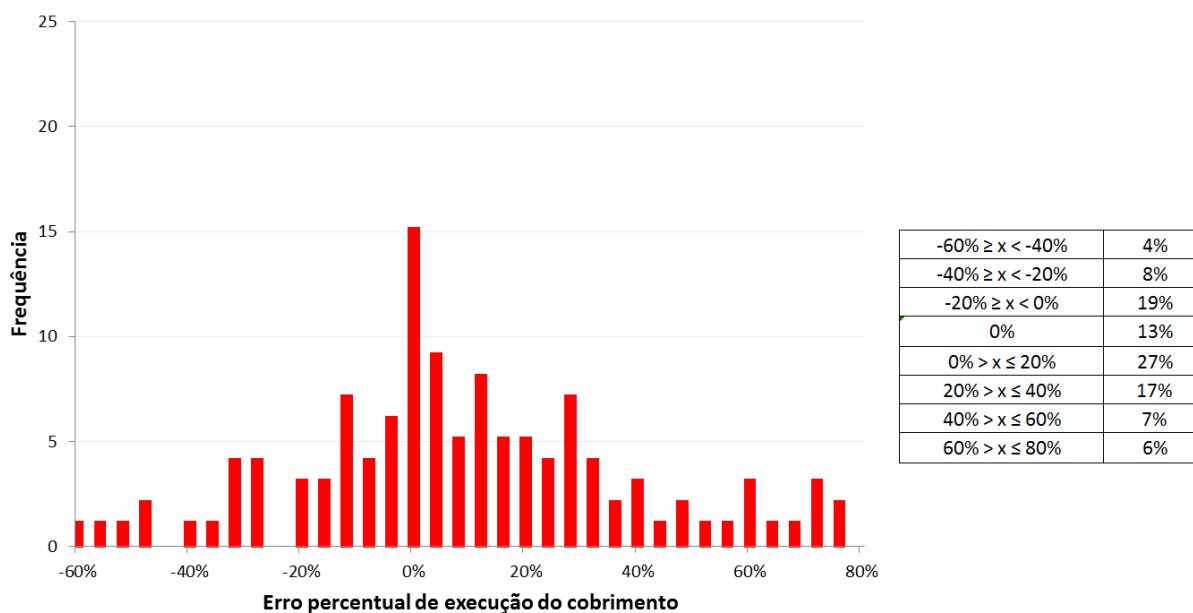
Tabela 3 – Resumo das medições da obra A

ITEM	LAJES		VIGAS		PILARES
	Próximo aos espaçadores	Meio dos vãos	Lado A	Lado B	Lados ABCD
Cobrimento de projeto (cm)	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Média dos cobrimento medidos (cm)	2,59	1,91	3,04	2,90	2,70
Desvio Padrão	0,4955036	0,5147353	0,7170822	0,8668148	0,4246567
Erro percentual	3,47%	-23,73%	21,60%	15,87%	8,13%

(fonte: elaborado pelo autor)

A seguir, no gráfico da figura 12, é apresentado a distribuição da frequência dos erros percentuais de execução dos cobrimentos medidos e os respectivos valores para cada faixa de percentagem. Verificou-se que apenas 32% das medições ficaram abaixo dos valores estabelecidos em projeto, sendo a obra com melhor desempenho geral.

Figura 12 - Histograma geral da obra A



(fonte: elaborado pelo autor)

6.1.2 Empresa B

Com os dados medidos na obra B1, conforme apresentado na tabela 4, é interessante destacar o valor de 0% de erro percentual para os valores de cobrimento de lajes próximo aos espaçadores. Entretanto para os erros percentuais das vigas e para as lajes no meio dos vãos encontraram-se valores negativos, caracterizando médias abaixo dos valores propostos em projeto.

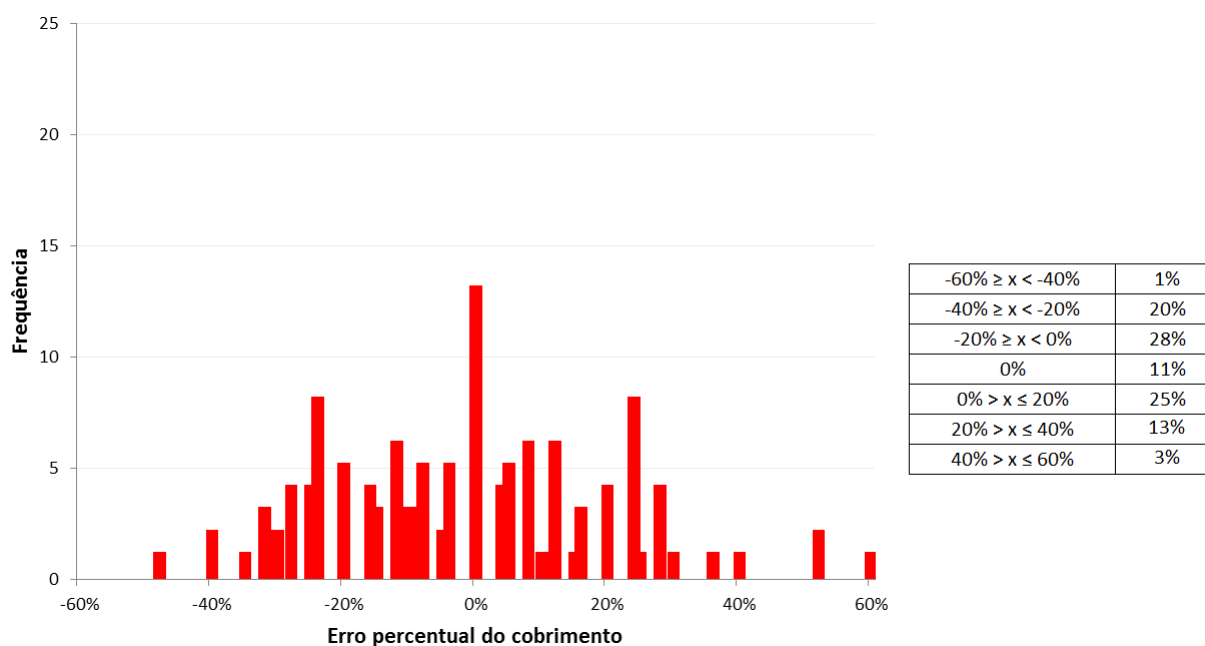
Tabela 4 – Resumo das medições da obra B1

ITEM	LAJES		VIGAS		PILARES
	Próximo aos espaçadores	Meio dos vãos	Lado A	Lado B	Lados ABCD
Cobrimento de projeto (cm)	2,00	2,00	2,50	2,50	2,50
Média dos cobrimento medidos (cm)	2,00	1,79	2,31	2,40	2,75
Desvio Padrão	0,3741657	0,4008325	0,5424932	0,3899455	0,5575398
Erro percentual	0,00%	-10,33%	-7,47%	-3,87%	10,13%

(fonte: elaborado pelo autor)

No histograma da obra (figura 13), se constatou que 48% dos valores medidos ficaram abaixo dos respectivos valores de projeto. Tal quadro negativo se deve muito em função dos baixos valores encontrados nas medições das vigas e no meio dos vãos das lajes.

Figura 13 – Histograma geral da obra B1



(fonte: elaborado pelo autor)

A outra obra da empresa B, a obra B2, segundo a tabela 5, apresentou erros percentuais negativos em quatro das cinco diferentes medições executadas, no meio dos vãos das lajes, nos dois lados das vigas e em pilares. Pode-se destacar também uma redução muito

significativa de cerca de 20% a menos do cobrimento médio no meio dos vãos das lajes, assim como no lado A das vigas.

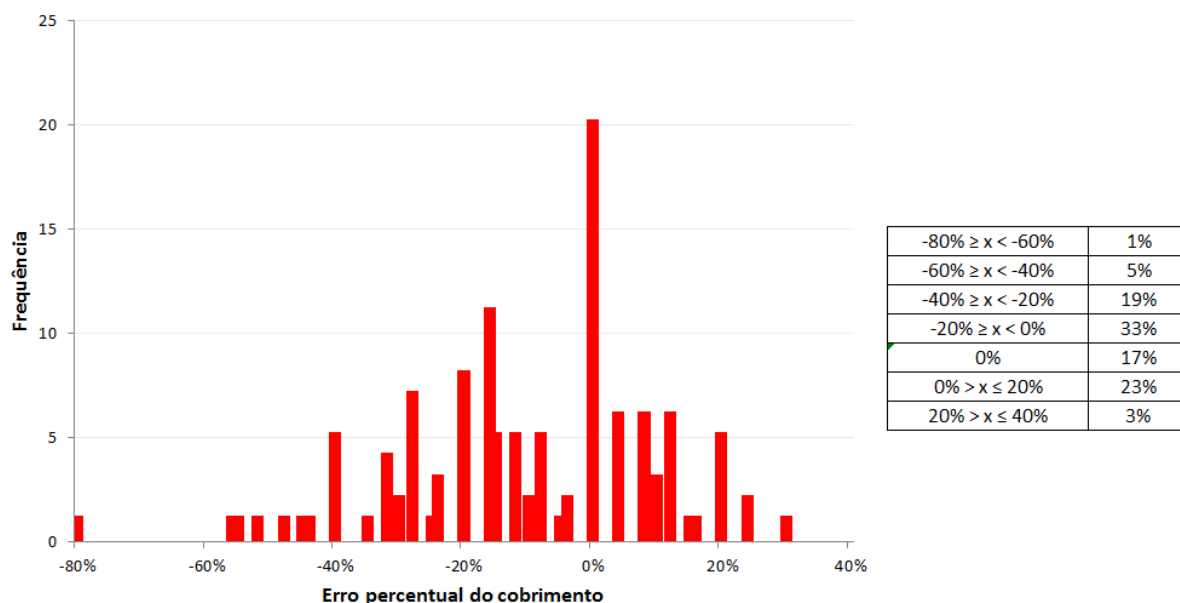
Tabela 5 – Resumo das medições da obra B2

ITEM	LAJES		VIGAS		PILARES
	Próximo aos espaçadores	Meio dos vãos	Lado A	Lado B	Lados ABCD
Cobrimento de projeto (cm)	2,00	2,00	2,50	2,50	2,50
Média dos cobrimento medidos (cm)	2,03	1,59	1,93	2,27	2,49
Desvio Padrão	0,2870218	0,3907268	0,5205666	0,3966671	0,3666562
Erro percentual	1,67%	-20,67%	-22,93%	-9,20%	-0,27%

(fonte: elaborado pelo autor)

Acerca do histograma da obra B2 (figura 14), grande parte dos dados coletados apresentou uma variação do erro percentual do cobrimento abaixo dos valores de projeto. As frequências se mostraram bem variáveis, obtendo-se um pico no valor de projeto, repetido em vinte ocasiões.

Figura 14 – Histograma geral da obra B2



(fonte: elaborado pelo autor)

Conforme a tabela 6, a terceira obra visitada da empresa B, a obra B3, apresentou erros percentuais negativos nos dois tipos de medição de lajes. Sendo que no meio dos vãos obteve-se uma média de cobrimento de 10 milímetros, metade do valor indicado pelo projeto estrutural.

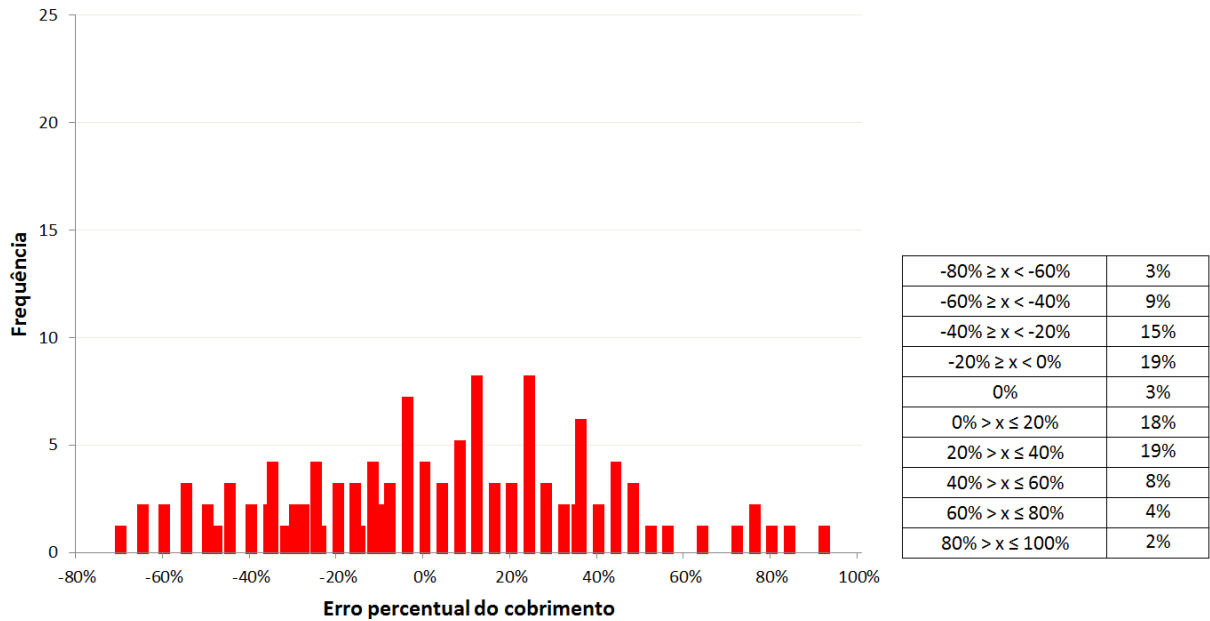
Tabela 6 – Resumo de medições da obra B3

ITEM	LAJES		VIGAS		PILARES
	Próximo aos espaçadores	Meio dos vãos	Lado A	Lado B	Lados ABCD
Cobrimento de projeto (cm)	2,00	2,00	2,50	2,50	2,50
Média dos cobrimento medidos (cm)	1,62	1,01	3,28	2,75	2,63
Desvio Padrão	0,4828497	0,3502380	0,6881676	0,9073455	0,3694668
Erro percentual	-19,00%	-49,33%	31,07%	10,00%	5,07%

(fonte: elaborado pelo autor)

Pelo histograma da obra B3, figura 15, percebe-se uma grande distribuição dos valores do erro percentual do cobrimento, havendo uma diferença de quase 200% entre os dois resultados limites. Sobre as frequências, não atingiram valores muito altos, em comparação com as outras obras da empresa, demonstrando um histograma mais largo e uniforme.

Figura 15 – Histograma geral da obra B3



(fonte: elaborado pelo autor)

6.1.3 Empresa C

Pela representação dos dados da tabela 7, referentes à obra C, ficou explícito um erro percentual de quase 25% na execução média do cobrimento dos pilares. Para as lajes, próximo aos espaçadores, obteve-se valores médios acima do recomendado em projeto, ao contrário das medições no meio dos vãos em que foi apresentada uma redução de cerca de 5%. Já nas vigas não ocorreu nenhum déficit nos valores médios do cobrimento.

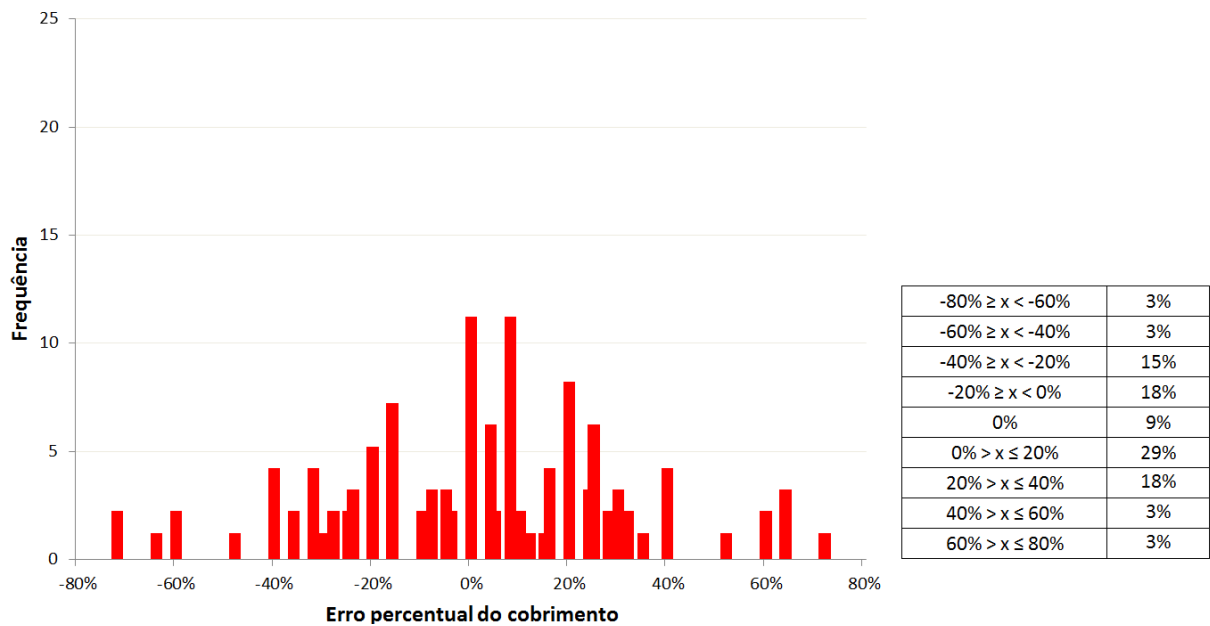
Tabela 7 – Resumo de medições da obra C

ITEM	LAJES		VIGAS		PILARES
	Próximo aos espaçadores	Meio dos vãos	Lado A	Lado B	Lados ABCD
Cobrimento de projeto (cm)	2,00	2,00	2,50	2,50	2,50
Média dos cobrimento medidos (cm)	2,41	1,91	2,59	2,98	1,91
Desvio Padrão	0,2325838	0,3852025	0,4968406	0,7861224	0,6084085
Erro percentual	20,67%	-4,33%	3,73%	19,33%	-23,47%

(fonte: elaborado pelo autor)

No histograma da obra (figura 16), observa-se um acúmulo de frequências nos intervalos centrais da distribuição. Além disso, há uma grande amplitude entre os intervalos limites, chegando-se a valores de 80% de erro percentual do cobrimento.

Figura 16 – Histograma geral da obra C



(fonte: elaborado pelo autor)

6.1.4 Empresa D

Segundo a tabela 8, relativa à obra D, quase todas as medições tiveram valores de cobrimento médio abaixo dos valores estipulados nos projetos, sendo a medição dos pilares a única com valores superiores. Deve-se se ressaltar os valores medidos nas lajes, bem abaixo do valor de projeto, o mínimo atribuído nas Normas Brasileiras.

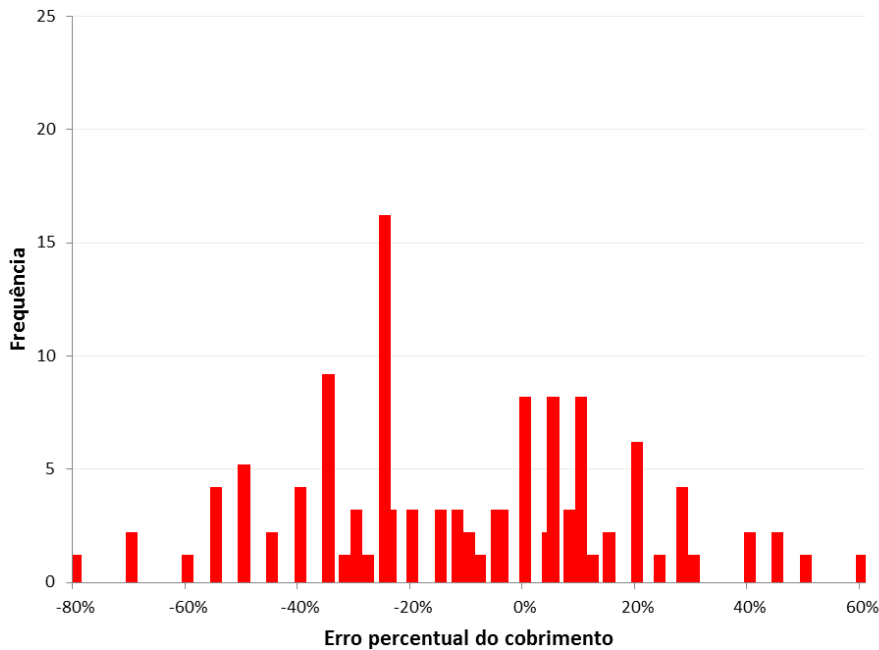
Tabela 8 – Resumo de medições da obra D

ITEM	LAJES		VIGAS		PILARES
	Próximo aos espaçadores	Meio dos vãos	Lado A	Lado B	Lados ABCD
Cobrimento de projeto (cm)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,50
Média dos cobrimento medidos (cm)	1,54	1,30	1,94	1,67	2,58
Desvio Padrão	0,2797958	0,2035401	0,6266954	0,6348138	0,4613947
Erro percentual	-23,00%	-35,00%	-3,17%	-16,67%	3,07%

(fonte: elaborado pelo autor)

A seguir, no histograma da figura 17, se percebe que quase metade dos valores medidos ficaram abaixo do estabelecido nos projetos. Não obstante, notam-se altas frequências no intervalo entre -40% e -20%, evidenciando ainda mais os erros negativos apresentados.

Figura 17 – Histograma geral da obra D



(fonte: elaborado pelo autor)

6.1.5 Empresa E

A obra E, conforme a tabela 9, apresentou erros percentuais positivos nas medições de vigas, entretanto o seu desvio padrão foi alto, evidenciando uma falta de uniformidade nos valores coletados. Para os pilares também se percebe um desvio padrão alto, porém a média dos valores coletados ficou quase 30% abaixo do descrito nos projetos.

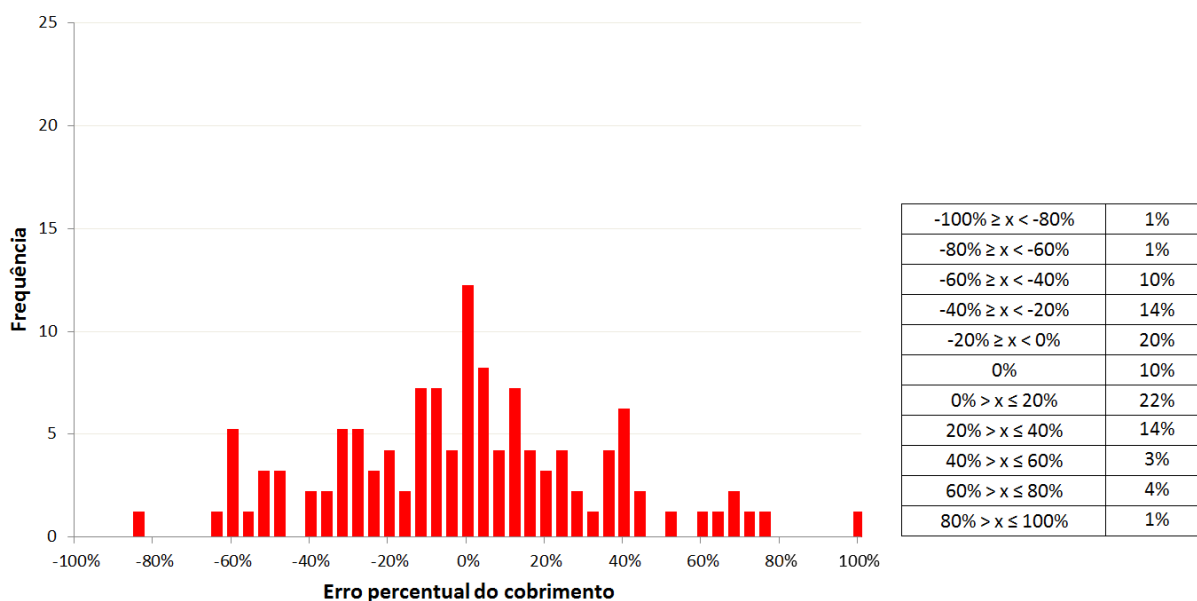
Tabela 9 – Resumos de medições da obra E

ITEM	LAJES		VIGAS		PILARES
	Próximo aos espaçadores	Meio dos vãos	Lado A	Lado B	Lados ABCD
Cobrimento de projeto (cm)	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
Média dos cobrimento medidos (cm)	2,63	2,12	2,97	2,79	1,77
Desvio Padrão	0,2520393	0,2730777	0,8522384	0,8098247	0,7210784
Erro percentual	5,07%	-15,20%	18,80%	11,73%	-29,07%

(fonte: elaborado pelo autor)

Pela distribuição das variações do cobrimento médio, segundo a figura 18, fica evidente a grande amplitude do erro percentual que quase atinge 200% em relação aos dois extremos. Entretanto, a maioria dos valores se encontra na faixa central, sendo medições iguais aos valores de projeto, relativo ao 0%, o de maior frequência.

Figura 18 – Histograma geral da obra E



(fonte: elaborado pelo autor)

6.1.6 Empresa F

Pela representação dos dados da obra F, segundo a tabela 10, foram demonstrados erros percentuais negativos do cobrimento médio em lajes. Para os demais elementos estruturais, vigas e pilares, os valores encontrados foram satisfatórios em relação ao estipulado em projeto.

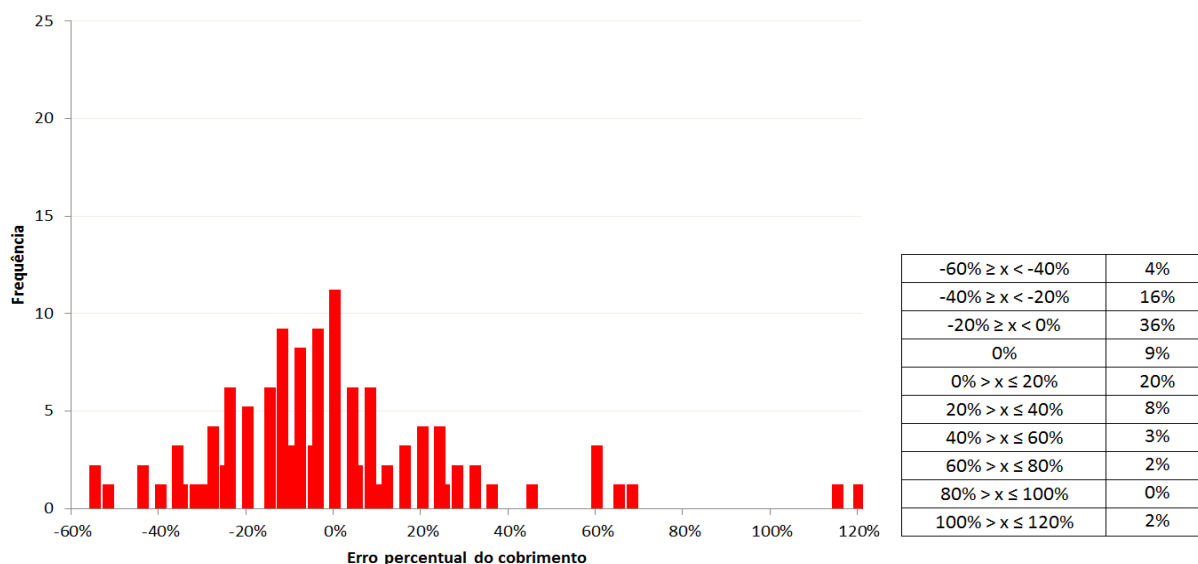
Tabela 10 – Resumo de medições da obra F

ITEM	LAJES		VIGAS		PILARES
	Próximo aos espaçadores	Meio dos vãos	Lado A	Lado B	Lados ABCD
Cobrimento de projeto (cm)	2,50	2,50	2,50	2,50	2,00
Média dos cobrimento medidos (cm)	2,28	2,03	2,71	2,52	2,01
Desvio Padrão	0,2908117	0,3958114	0,6741193	0,4270185	0,8452436
Erro percentual	-8,80%	-18,67%	8,27%	0,80%	0,33%

(fonte: elaborado pelo autor)

No histograma da obra (figura 19), apesar de terem sido encontrados valores de cobrimento com quase 120% acima dos valores de projeto, predominaram as frequências abaixo de 0%.

Figura 19 – Histograma geral da obra F



(fonte: elaborado pelo autor)

6.1.7 Empresa G

A obra da empresa G, conforme a tabela 11, apresentou médias inferiores ao estabelecido nos projetos apenas nas medições de lajes no meio dos vãos. Sendo que as medições restantes mostraram resultados satisfatórios em relação ao erro percentual do cobrimento médio.

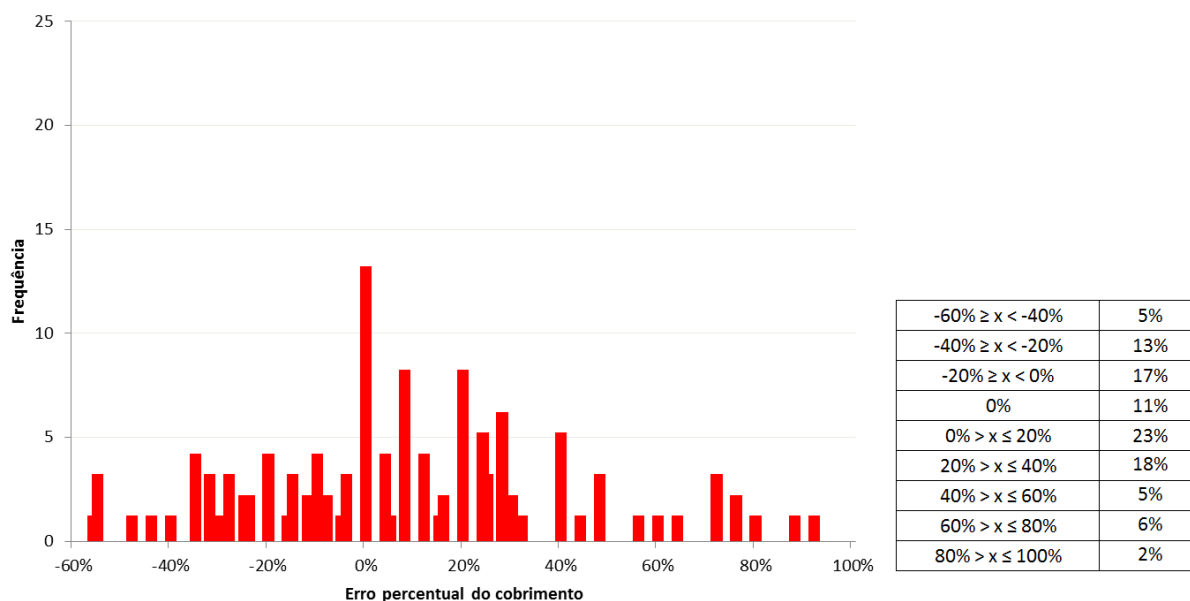
Tabela 11 – Resumo de medições da obra G

ITEM	LAJES		VIGAS		PILARES
	Próximo aos espaçadores	Meio dos vãos	Lado A	Lado B	Lados ABCD
Cobrimento de projeto (cm)	2,00	2,00	2,50	2,50	2,50
Média dos cobrimento medidos (cm)	2,18	1,39	2,91	2,97	2,68
Desvio Padrão	0,4161044	0,3411465	0,8591696	0,6767824	0,7906348
Erro percentual	9,00%	-30,33%	16,40%	18,80%	7,20%

(fonte: elaborado pelo autor)

No histograma geral da obra G, conforme a figura 20, 35% das medições ficaram abaixo do estabelecido nos projetos. Verificou-se também uma predominância de frequências iguais a 0%.

Figura 20 – Histograma geral da obra G

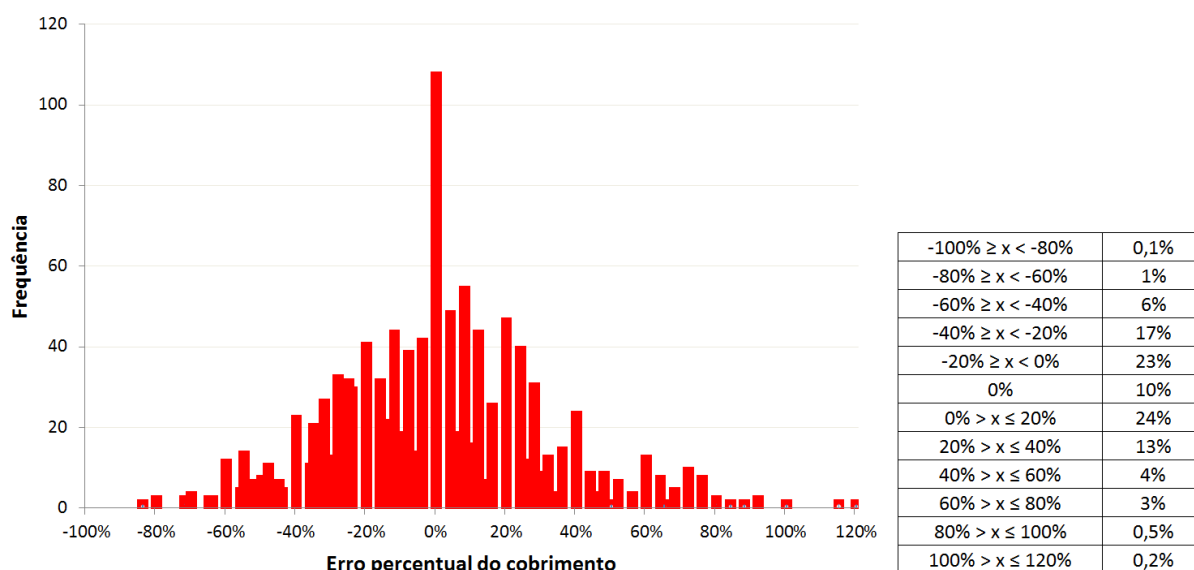


(fonte: elaborado pelo autor)

6.2 RESULTADO GERAL DE TODAS AS OBRAS E ANÁLISES

Na figura 21, se obteve o histograma geral de todas as obras visitadas, com dados de todos os elementos estruturais medidos. Observou-se que apenas 10% das medições foram iguais aos valores de projetos. E ainda, apesar da maioria das medições ficarem acima do exigido, 46% do total ficou abaixo do estabelecido nos projetos estruturais. Além disso, se destacou as variações de até 120% do cobrimento.

Figura 21 – Histograma geral de todas as obras analisadas



(fonte: elaborado pelo autor)

6.3 RESULTADOS E ANÁLISES EM FUNÇÃO DE CADA ELEMENTO ESTRUTURAL

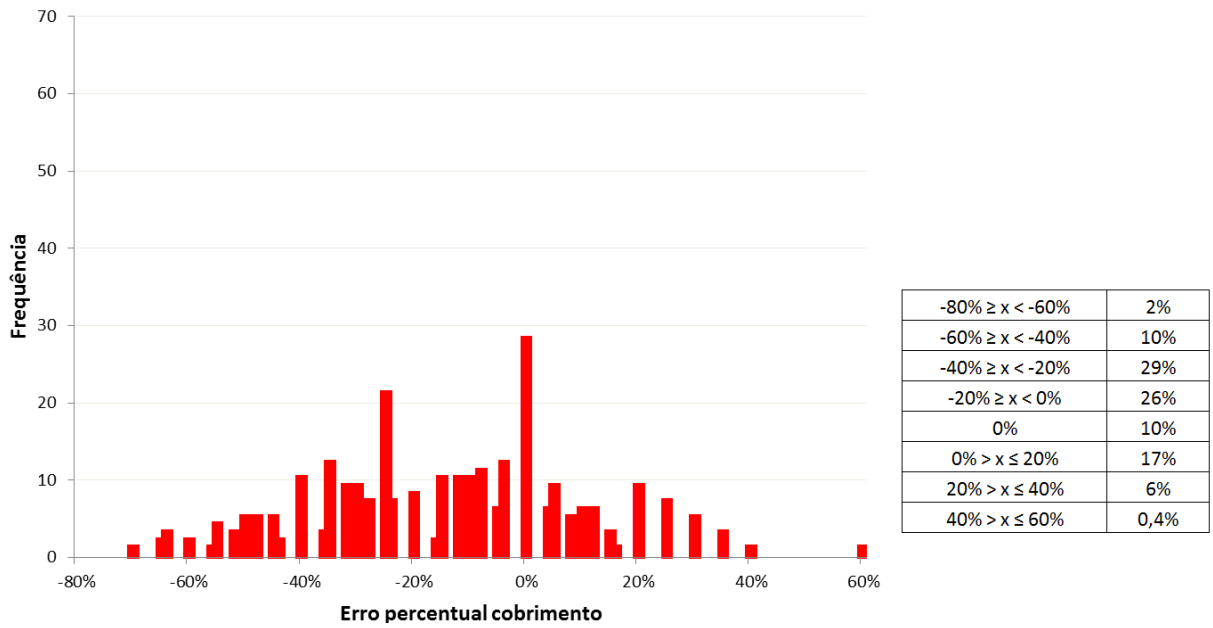
A seguir são comparados os valores medidos em função de cada elemento estrutural.

6.3.1 Lajes

O histograma geral das lajes (figura 22) mostrou uma abrangência menor do erro percentual, obtendo uma menor variação do cobrimento em relação às vigas e pilares. Entretanto, a percentagem de valores medidos abaixo do estabelecido nos projetos foi maior que os demais, atingindo 67% do total.

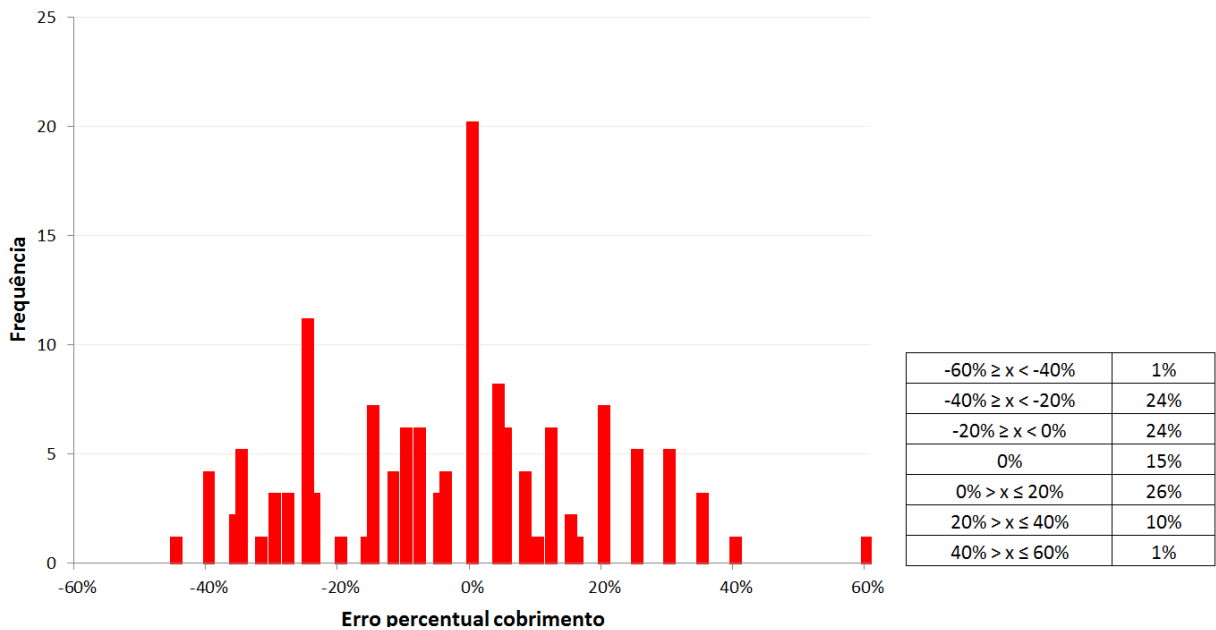
Nos histogramas posteriores (figura 23 e 24), se apresentou as variações do cobrimento em relação às análises em dois diferentes pontos nas lajes, próximos aos espaçadores e no meio dos vãos. Observou-se que mesmo próximo aos espaçadores houveram variações significativas no cobrimento, em torno de 40%. Já para as medições no meio dos vãos, 84% dos valores ficaram abaixo do especificado nos projetos, ocorrendo ainda incidências de medições com quase 80% de variação do cobrimento.

Figura 22 – Histograma geral de lajes



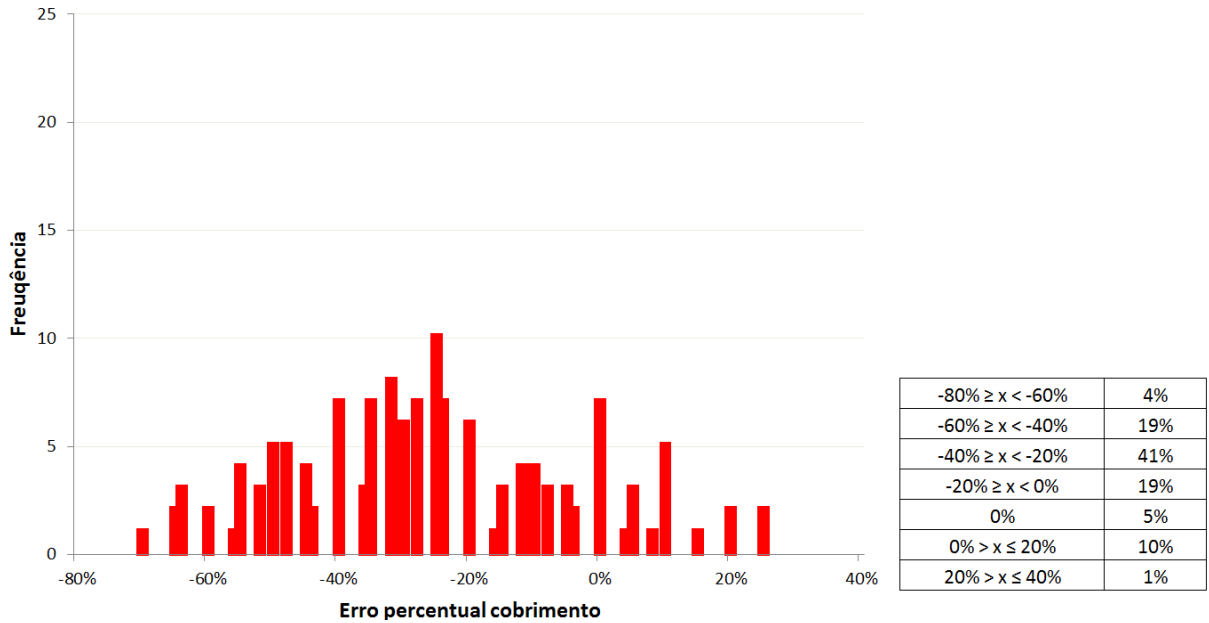
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 23 – Histograma geral de lajes (próximo aos espaçadores)



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 24 – Histograma geral de lajes (meio dos vãos)

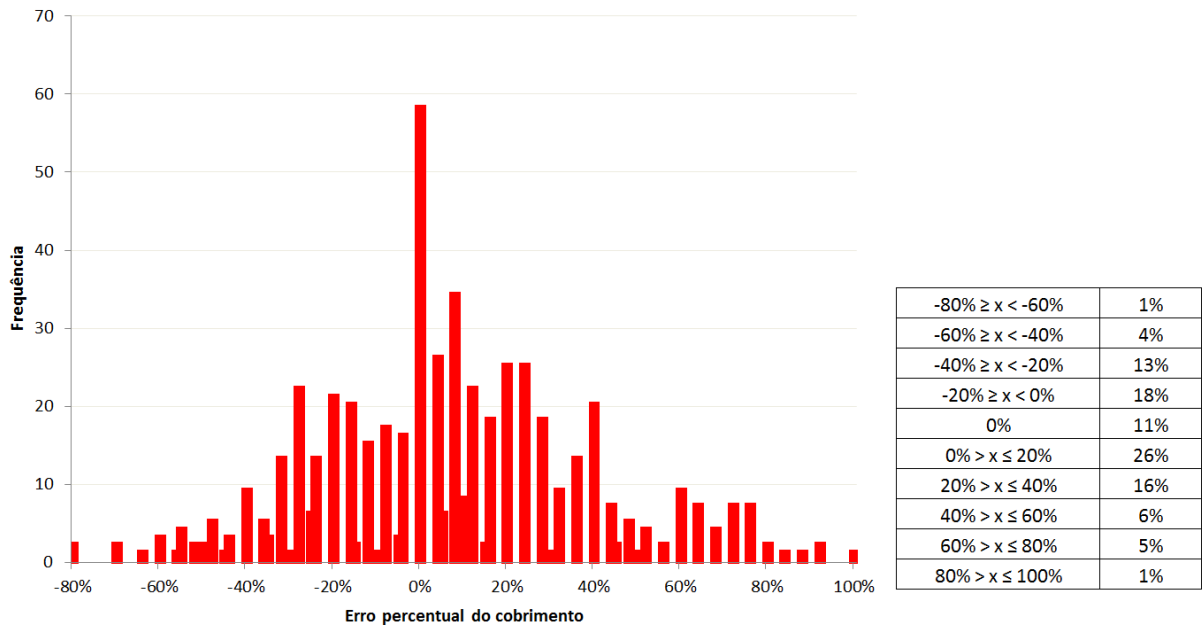


(fonte: elaborado pelo autor)

6.3.2 Vigas

Em comparação com os demais elementos estruturais, a análise do cobrimento de vigas foi o que obteve o melhor desempenho, isso porque 36% das medições obtiveram valores abaixo dos estipulados nos projetos.

Figura 25 – Histograma geral de vigas

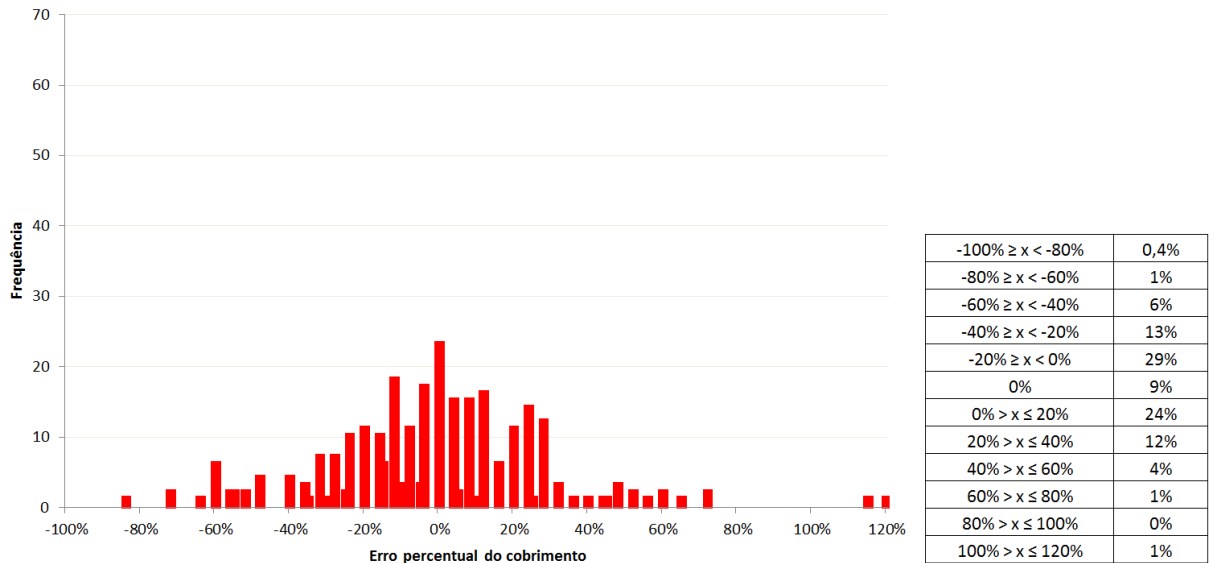


(fonte: elaborado pelo autor)

6.3.3 Pilares

Pelo histograma geral dos pilares, conforme a figura 26, nota-se um aglutinamento de valores nos intervalos centrais da distribuição, ainda que se tenham limites superiores e inferiores maiores que os demais elementos estruturais analisados. Sobre os valores medidos nas obras, metade ficou abaixo dos respectivos valores de projeto.

Figura 26 – Histograma geral de pilares



(fonte: elaborado pelo autor)

6.4 RESULTADOS E ANÁLISES EM FUNÇÃO DO NÍVEL DE CONTROLE DAS OBRAS

De acordo com a pesquisa, cada empresa tem a sua metodologia e cultura no que diz respeito à qualidade e controle de execução das tarefas. Dessa forma foram estipulados itens que permitiram classificar o nível de controle de cada obra: presença do Engenheiro Civil responsável, organização do canteiro, condições de limpeza do pavimento medido, exigência na utilização de EPI, metodologia na disposição dos espaçadores e certificação de qualidade na empresa. Esta classificação é mostrada a seguir.

6.4.1 Presença do Engenheiro Civil responsável

Quanto à presença do Engenheiro Civil responsável na obra nos dias das medições, foi constatado o seu não comparecimento nas obras D, E, F e G.

6.4.2 Organização do canteiro

A obra A apresentou um canteiro extremamente organizado, existia um cuidado com as proteções de periferia e os materiais destinados às fôrmas estavam todos alocados no mesmo lugar e sinalizados, conforme figura 27. Havia também dois acessos de veículos na obra, o que não atrapalhava a entrega de materiais nos dias de concretagem.

Figura 27 – Canteiro da obra A



(fonte: foto do autor)

O canteiro das obras B1 e B2, em relação à área, foi o maior visitado. Apesar de ser composto por cinco torres, o canteiro se mostrou bastante organizado, com placas de sinalização das baias de ferragens e alvenaria de cada torre. A entrada principal pode ser vista pela figura 28.

Figura 28 – Canteiro das obras B1 e B2



(fonte: foto do autor)

A obra B3 exibiu um canteiro mais enxuto, sendo a área destinada à armazenagem de materiais localizada no pavimento térreo. Apesar de grande parte dos materiais estarem agrupados, a locomoção era muito dificultada, conforme a figura 29.

Figura 29 – Canteiro da obra B3



(fonte: foto do autor)

Na obra C, o canteiro se apresentou limpo e de fácil acesso, conforme a figura 30. O local de montagem e armazenamento da barra de aço era junto a entrada, facilitando o descarregamento dos materiais, assim como o silo de argamassa.

Figura 30 – Canteiro da obra C



(fonte: foto do autor)

A obra D (figura 31), por não apresentar um almoxarifado fixo, possuía muitos equipamentos espalhados ao longo do canteiro. O armazenamento de materiais era feito através de baias, para areia e brita, sendo os demais agrupados e dispostos ao longo do pavimento térreo.

Figura 31 – Canteiro da obra D



(fonte: foto do autor)

O canteiro da obra E se mostrou bastante sinalizado e limpo, havendo um corredor de passagem para os colaboradores, facilitando o acesso aos pavimentos. A obra se apresentou organizada no que diz respeito ao armazenamento dos materiais.

Figura 32 – Canteiro da obra E



(fonte: foto do autor)

A obra F, conforme a figura 33, apresentou um canteiro bastante desorganizado, logo na entrada havia uma carga de areia e de blocos cerâmicos, dificultando o acesso. No pavimento térreo, eram armazenados os materiais, entretanto aparentavam estar dispostos conforme eram entregues na obra de forma aleatória, impossibilitando um controle de estoques.

Figura 33 – Canteiro da obra F



(fonte: foto do autor)

A obra G apresentou um canteiro de área bem reduzida, sendo que a entrada, no dia da concretagem, teve seu acesso dificultado. Apesar disso, se mostrou muito limpo e organizado.

Figura 34 – Canteiro da obra G



(fonte: foto do autor)

6.4.3 Condições de limpeza do pavimento medido

Todas as obras mantiveram um padrão bom de limpeza dos pavimentos. Observaram-se apenas alguns casos isolados, nas quais haviam sobras de arames, fitas plásticas das mangueiras hidráulicas e/ou pregos no fundo das vigas, conforme figura 35.

Figura 35 – Falta de limpeza no fundo de viga



(fonte: foto do autor)

6.4.4 Utilização de EPI

Quanto a utilização de equipamentos de proteção individual (capacete, cinto de segurança com talabarte duplo e botina) nos pavimentos em execução, as obras D, E e F não apresentaram nenhum tipo de controle ou cobrança em relação aos seus funcionários.

6.4.5 Metodologia na disposição dos espaçadores

Em todas as obras não foi demonstrado nenhum tipo de metodologia na disposição dos espaçadores de lajes, vigas e pilares. As suas distribuições eram bastante variadas e totalmente aleatórias.

6.4.6 Certificação de qualidade

Conforme já mencionado no item 5.3, as obras A, B1, B2, B3, C, F e G apresentam certificados de qualidade ISO 9001 e PBQP-H nível A.

O quadro 5 foi criada com o intuito de compilar os resultados nos itens referentes ao nível de controle das obras.

Quadro 5 – Resumos dos resultados referentes ao nível de controle das obras

Obra	Presença do Engenheiro Civil responsável	Organização do canteiro	Condições de limpeza do pavimento medido	Utilização de EPI	Metodologia na disposição dos espaçadores	Certificação de qualidade	Total de itens constatados
A	sim	sim	sim	sim	não	sim	5
B1	sim	sim	sim	sim	não	sim	5
B2	sim	sim	sim	sim	não	sim	5
B3	sim	não	sim	sim	não	sim	4
C	não	sim	sim	sim	não	sim	4
D	não	não	sim	não	não	não	1
E	não	sim	sim	não	não	não	2
F	não	não	sim	não	não	sim	2
G	sim	sim	sim	sim	não	sim	5

(fonte: elaborado pelo autor)

Considerando os resultados obtidos no quadro 5, a avaliação do nível de controle de cada obra obedeceria três opções: ruim, bom e excelente, indicado o item 5.1.2 do trabalho. Para tal, foi estipulado o critério para cada classificação, conforme o quadro 6.

Quadro 6 – Critérios de classificação dos níveis de controle

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

(fonte: elaborado pelo autor)

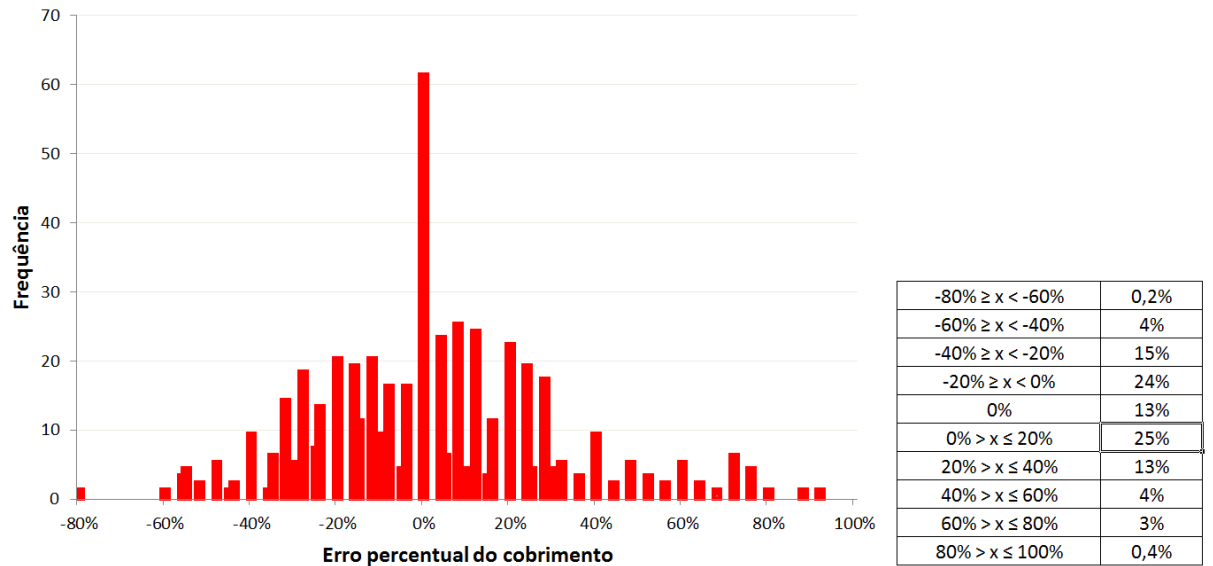
Com base na classificação do quadro 6, as obras A, B1, B2 e G receberam o parâmetro máximo, as obras B3 e C foram classificadas como intermediárias e, por fim, as obras D, E e F foram indicadas com o mais baixo nível de controle estipulado.

6.4.7 Análise

A fim de se comparar a execução do cobrimento em função da classificação do nível de controle de cada obra, foram feitos histogramas para os três parâmetros (ruim, bom, excelente) englobando todas as obras que fazem parte deles.

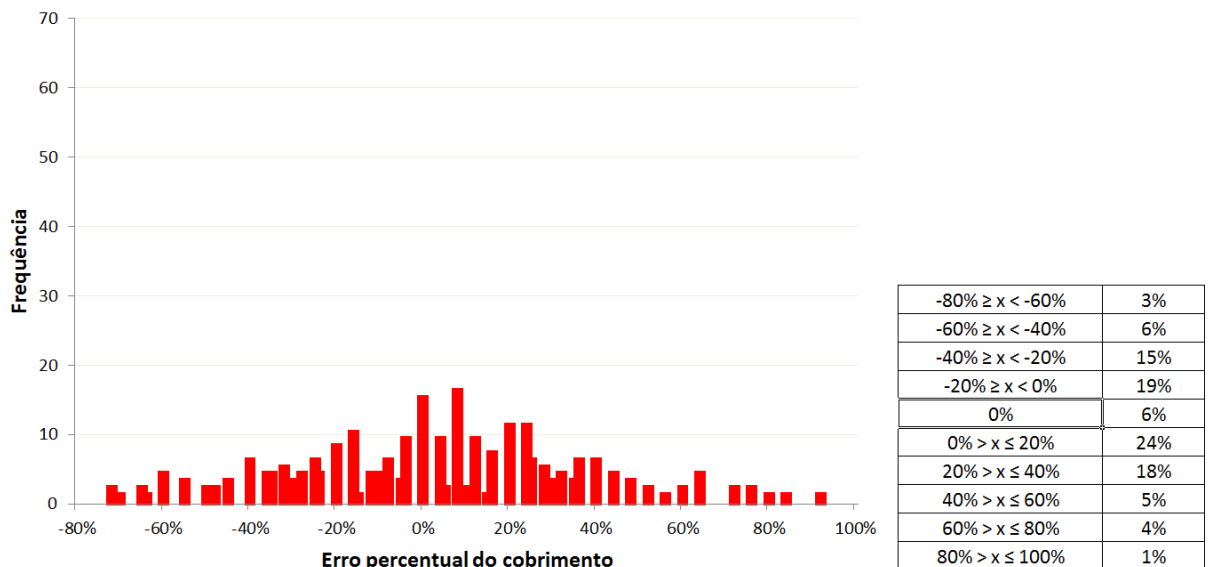
Comparando os resultados obtidos nas figuras 36 a 38, é possível identificar no histograma das obras de nível de controle excelente uma maior frequência de valores executados iguais aos de projeto. Entretanto, nas três classificações, as variações do cobrimento chegaram a valores parecidos, em torno de 80% para mais ou para menos.

Figura 36 – Histograma geral das obras de classificação excelente



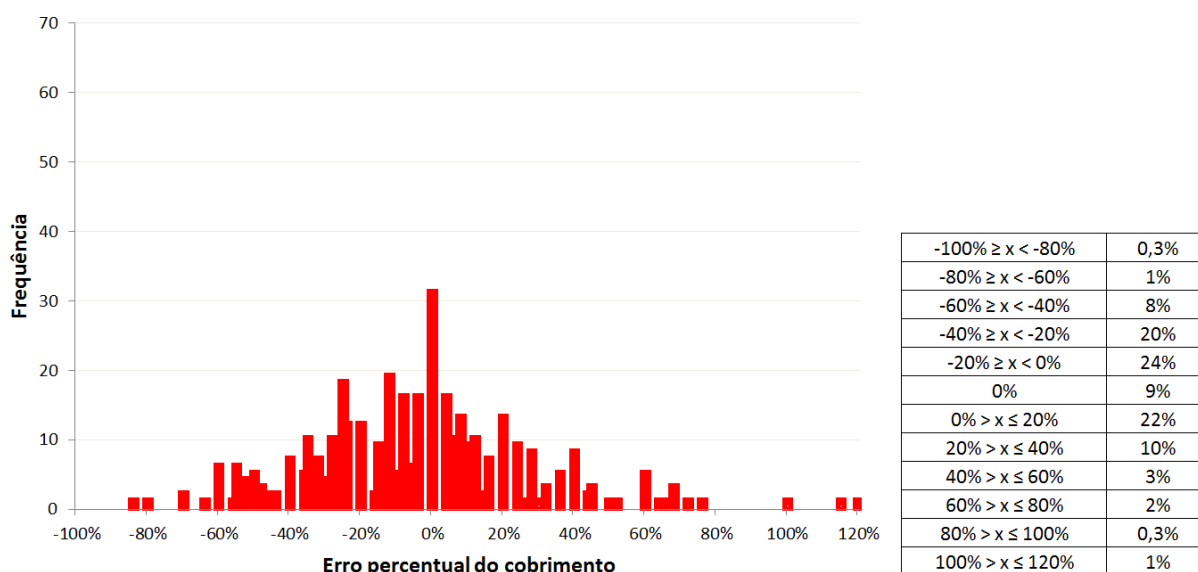
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 37 – Histograma geral das obras de classificação boa



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 38 – Histograma geral das obras de classificação ruim

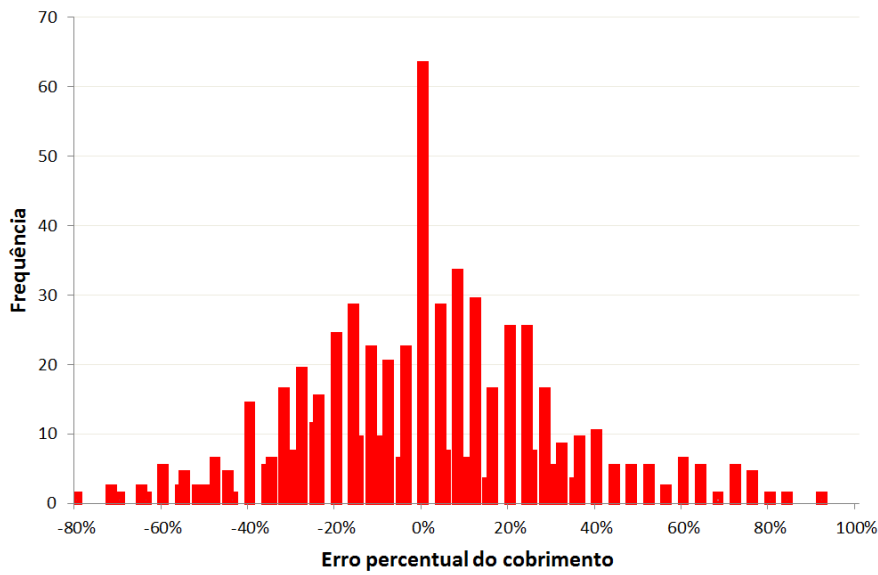


(fonte: elaborado pelo autor)

6.5 RESULTADOS E ANÁLISES EM FUNÇÃO DO PORTE DA EMPRESA

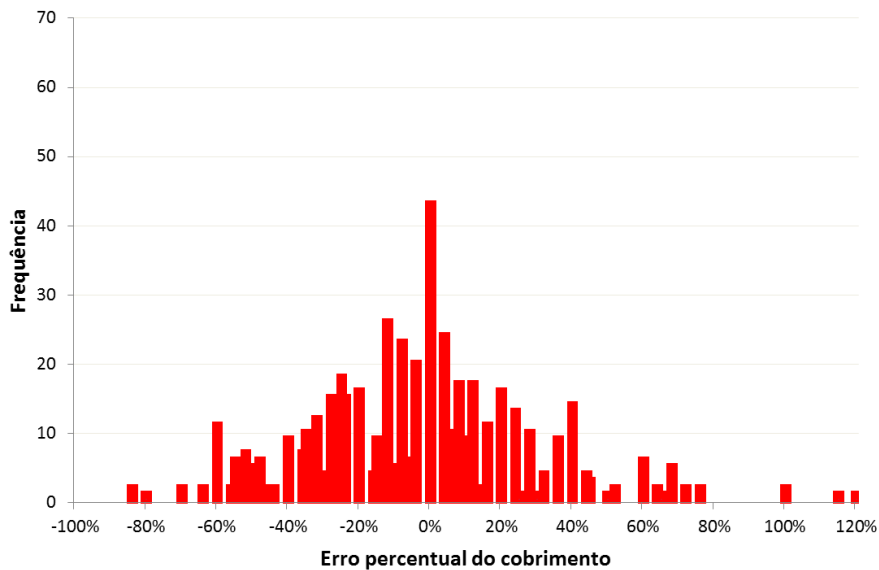
Pelos resultados obtidos na comparação entre portes (figuras 39 e 40), nas empresas de pequeno porte, a quantidade de medições abaixo das estipuladas em projeto foram superior à apresentadas nas de médio porte. Porém, em ambos os portes, houve semelhança na variação do cobrimento.

Figura 39 – Histograma geral para empresas de médio porte



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 40 – Histograma geral para empresas de pequeno porte



(fonte: elaborado pelo autor)

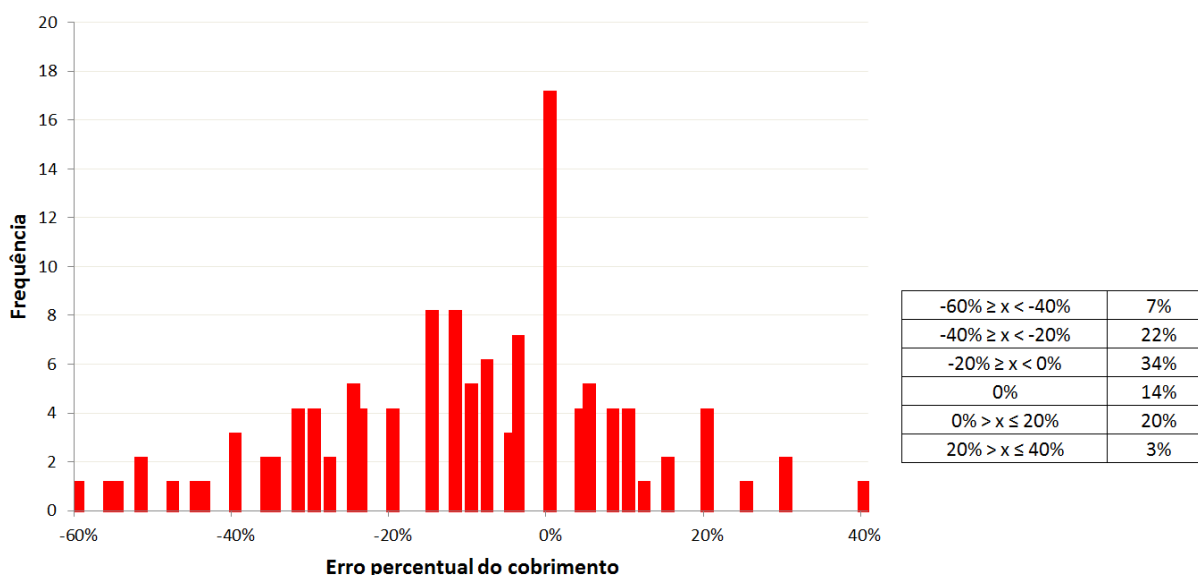
6.6 RESULTADOS E ANÁLISES EM FUNÇÃO DO TIPO DE ESPAÇADOR

Em todas as obras analisadas foram utilizados apenas espaçadores de plástico, listados previamente no item 4.3 deste documento. Os resultados e conclusões são listados em função do elemento estruturais.

6.6.1 Lajes

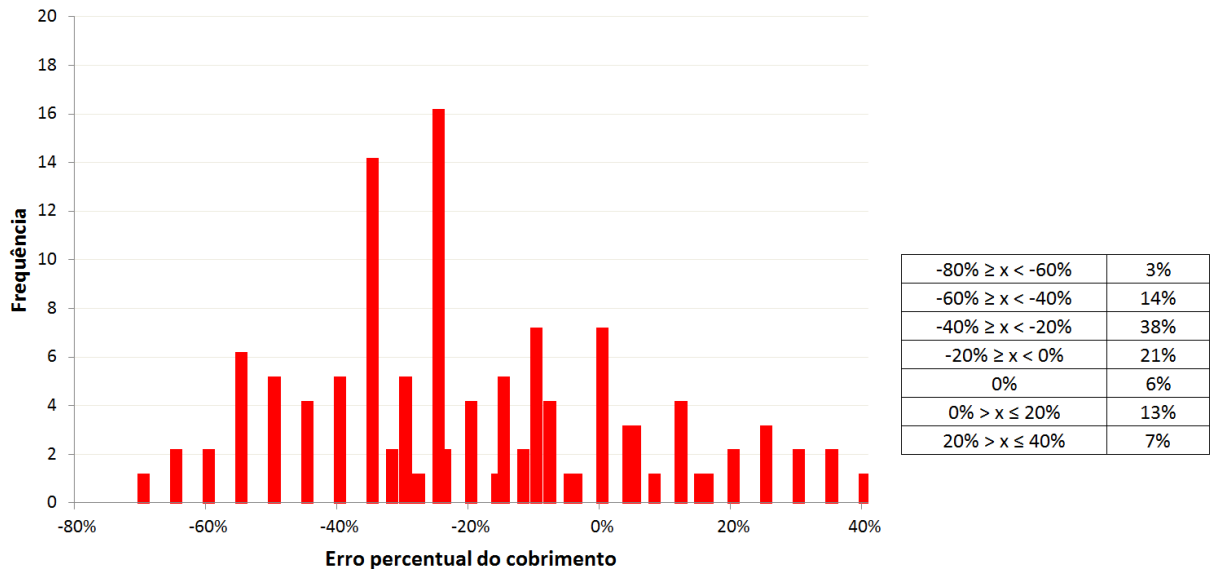
Para todas as lajes, tiveram ocorrência três tipos de espaçadores: centopéia (nas obras A, B1, B2 e F), cadeirinha (obras B3, D, E e G) e garra (obra C). Analisando os histogramas (figura 41 e 42), para todos os casos a variação do erro percentual não ultrapassou o limite positivo de 40%, entretanto para o limite negativo, o espaçador tipo cadeirinha obteve o maior limite negativo e como consequência, 75% dos valores medidos ficaram inferiores em relação aos de projeto. Sobre a análise do espaçador tipo garra, segundo a figura 43, os resultados não são representativos no aspecto estatístico porque apenas uma obra o utilizou.

Figura 41 – Histograma geral das obras que utilizaram espaçador tipo centopéia



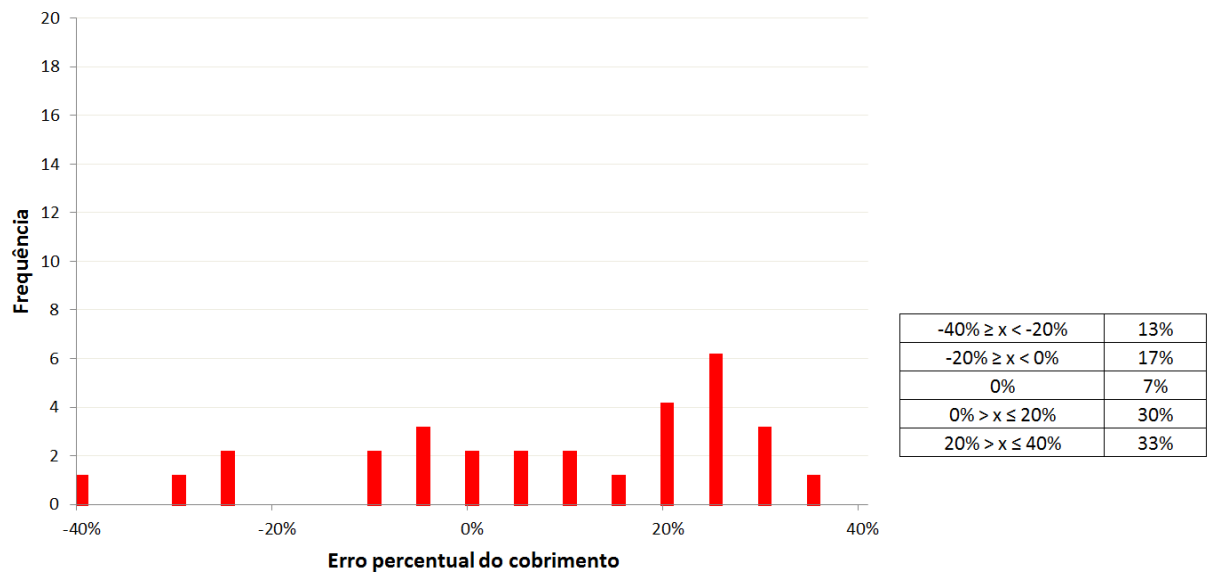
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 42 – Histograma geral das obras que utilizaram espaçador tipo cadeirinha



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 43 – Histograma geral das obras que utilizaram espaçador tipo garra



(fonte: elaborado pelo autor)

6.6.2 Vigas

Acerca dos espaçadores de vigas, para todas as obras visitadas foram utilizados os mesmos espaçadores, impossibilitando uma comparação entre os eventuais tipos. Nas laterais das vigas

foram empregados o espaçador tipo circular e no fundo das vigas, o centopéia, conforme figura 44.

Figura 44 – Espaçadores utilizados nas vigas das obras visitadas



(fonte: foto do autor)

6.6.3 Pilares

Para os pilares analisados foi utilizado apenas o espaçador circular, conforme figura 45. Com isso, se impossibilitou uma análise de outros possíveis tipos.

Figura 45 – Espaçador utilizado nos pilares das obras visitadas



(fonte: foto do autor)

7. CONCLUSÕES

As conclusões apresentadas a seguir, apesar de estarem em consonância com a maior parte da bibliografia existente, não devem ser tomadas de forma absoluta, pois referem somente aos dados obtidos durante as medições de cobrimento de algumas estruturas de concreto armado em execução em obras de Porto Alegre. Sua representatividade deve ser firmada através da execução de novas pesquisas que apresentem resultados que possam complementar e confirmar os obtidos neste estudo.

Neste trabalho, o objetivo principal foi comparar os valores de cobrimento em execução em obras de Porto Alegre em relação aos especificados em projeto. Isso, por sua vez, permitiu o desenvolvimento dos objetivos secundários, proporcionando estabelecer possíveis relações entre a variabilidade dos resultados em função do tipo de elemento estrutural (laje, pilar e viga), do nível de controle apresentado, do porte das empresas e dos tipos de espaçadores.

Para o objetivo principal do trabalho, pôde-se concluir, através da análise dos histogramas geral de todas as obras, baseado na coleta de dados apresentada em cada uma delas, que os valores do cobrimento de armadura em 46% das medições não atende o valor estabelecido no projeto estrutural, mesmo se considerando uma tolerância de execução (Δc), prescrita na NBR 6118. E ainda, obteve-se uma variabilidade de até 120% do cobrimento. Com isso, tal constatação é bastante preocupante, visto que o cobrimento é um dos parâmetros utilizados para a determinação da durabilidade e previsão de vida útil das estruturas.

Para as lajes estudadas, apresentou-se que em todos os casos medidos no meio dos vãos, os valores do cobrimento ficaram inferiores aos de projeto. Com isso, conclui-se que a falta de uma metodologia na distribuição dos espaçadores nas lajes é o fator determinante para tal quadro. Tal metodologia poderia ser indicada com uma tabela com o diâmetro das barras da laje em relação ao espaçamento entre os espaçadores, facilitando e auxiliando nas execuções das lajes.

Para as medições próximas aos espaçadores, em um terço das obras o cobrimento mostrou-se abaixo do estabelecido. Conclui-se que, nestes casos, a colocação dos espaçadores pode ter sido realizada de forma irregular, não atendendo as instruções básicas de aplicação.

Nas vigas, notou-se que menos da metade das obras apresentou um cobrimento abaixo dos valores de projeto. Com isso, pode-se concluir que para os pontos medidos nos quais os dois lados coletados tinham, na média, valor equivalente ao de projeto, a viga deslocou-se lateralmente, ocasionado pela falta de espaçadores. Para os demais pontos, além da falta de espaçadores, a montagem incorreta das armaduras e fôrmas pode ter influenciado nos resultados, visto a possibilidade de diminuição na largura para o cobrimento.

Para os pilares, apenas as obras C e E apresentaram um cobrimento com redução significativa em relação ao prescrito nos projetos. Identifica-se que tal ocorrência pode ser determinada pela inexistência ou má colocação dos espaçadores circulares, percebido ainda que em muitos casos a sua presença existisse apenas nos lados de maior comprimento nos pilares.

Na comparação entre os níveis de controle, subjetivamente estabelecidos e classificados, percebeu-se que não houve muita diferença de resultados entre eles, ocorrendo semelhança nas variações mesmo com a presença de ISO 9001 em algumas obras. Com isso, conclui-se que mesmo empresas consideradas de qualidade alta, as variações no cobrimento chegam a quase 80%, não sendo garantido o cobrimento nominal.

Sobre o porte das empresas, após a comparação dos histogramas, percebeu-se semelhança nos resultados. Indicando que tal classificação não interfere no resultado final do cobrimento.

Quanto às comparações entre os espaçadores apresentados nas obras, para vigas e pilares foram utilizados os mesmos tipos, impossibilitando assim as comparações propostas previamente. Para as lajes, foram analisados três tipos de espaçadores (centopéia, cadeirinha e garra), nos quais, o melhor resultado encontrado foi o do tipo garra, apesar de não ser estatisticamente representativo, já que apenas uma obra o utilizou. Os outros dois modelos apresentaram um desempenho muito inferior, com cerca de 60%-75% dos dados medidos abaixo dos valores de projeto. Conclui-se então que os espaçadores tipo centopéia e cadeirinha apresentam a necessidade de posicionamento mais adequado, sendo que em muitas vezes eram colocados de forma errada, geralmente ao contrário sobre as fôrmas.

Por fim, conclui-se que em todas as obras pesquisadas, há diversos casos em que o cobrimento de armadura não atende os valores de projeto. Além disso, nos casos onde há um aumento excessivo do espaçamento do cobrimento, podem ocorrer problemas de resistência e diminuição no funcionamento estrutural. Com isso, podem vir a ocasionar diversos problemas

estruturais e de manutenção relacionados à diminuição da durabilidade e vida útil da estrutura dos empreendimentos.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 201**: guide to durable concrete. Detroit, 1991.
- AMORIM, A. A. de. **Durabilidade das estruturas de concreto armado aparentes**. 2010. 74 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- ANDRADE, J. J. O. **Contribuição à previsão de vida útil de estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão da armadura**. 2001. 256 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P.; MEDEIROS, M. H. F. de. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. In: INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO (Org.). **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo, 2011. p. 773-808.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2007.
- _____. **NBR 14931**: execução de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- CONEKPLAS. Espaçadores para construção civil. Não paginado. Disponível em: <<http://www.conekplas.com.br/espacadores.php>>. Acesso em: 12 nov. 2012.
- 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.
- FIGUEIREDO, E. J. P.; MEIRA, G. R. Corrosão das armaduras das estruturas de concreto. In: INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO (Org.). **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo, 2011. p. 887-902.
- GENTIL, V. **Corrosão**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.
- LIMA, M. G. de. Ações do meio ambiente sobre as estruturas de concreto. In: INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO (Org.). **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo, 2011. p. 733-772.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.
- MENEZES, L. F. **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: 31 abr. 2012.
- PEREIRA, E.; MENEGHETTI, L. C.; RESENDE, A.; FABRO, G. Avaliação do grau de corrosão das armaduras para diferentes espessuras de cobrimento. In: CONGRESSO

BRASILEIRO DO CONCRETO, 52., 2010, Fortaleza. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2010. p. 1-16. 1 CD-ROM.

POSSAN, E. **Contribuição ao estudo da carbonatação do concreto com adição de sílica ativa em ambiente natural e acelerado.** 2004. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

_____. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil em 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.

SILVA, V. M. **Ação da carbonatação em vigas de concreto armado em serviço, construídas em escala natural e reduzida.** 2007. 281 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SILVEIRA, R. G. **Estudo da microestrutura da camada de cobrimento de concreto com altos teores de cinza volante.** 2004. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

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.

TORRES, A. S. **Corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado: uma meta-análise.** 2011. 170 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

VIEIRA, F. M. P. **Contribuição ao estudo da corrosão de armaduras em concretos com adição de sílica ativa.** 2003. 223 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

APÊNDICE A – Planilha de levantamento de dados em campo

Planilha de levantamento de dados em campo

Dados da obra			Valores do cobrimento medidos em obra										Tipos de espaçadores		
Empresa:	Empreendimento:		LAJES		VIGAS			PILARES	LAJES	VIGAS	PILARES				
Porte:	Endereço:			LA	LB	FUNDO									
Pavimento:	Data das medições:		#												
Presença do Engenheiro Civil responsável	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO		1												
Organização do canteiro	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO		2												
Condições de limpeza do pavimento medido	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO		3												
Utilização de EPI	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO		4												
Metodologia na disposição dos espaçadores	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO		5												
Certificação de qualidade	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO		6												
Valores do cobrimento nos projetos estruturais			7												
LAJES:	(mm)		8												
VIGAS:	(mm)		9												
PILARES:	(mm)		10												
Observações complementares			11												
			12												
			13												
			14												
			15												
			16												
			17												
			18												
			19												
			20												
			21												
			22												
			23												
			24												
			25												
			26												
			27												
			28												
			29												
			30												

APÊNDICE B – Carta solicitando participação à pesquisa

CARTA SOLICITANDO PARTICIPAÇÃO À PESQUISA.

Porto Alegre, XX de XXXXXX de 2012.

Ilmo. Sr. (a) XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Prezado Sr. (a),

Através do presente instrumento, solicito de V. S.^a, a verificação da possibilidade da autorização para a realização da pesquisa integrante do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do aluno Otávio Saraiva Pinto da Silva, da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a fim de tratar de assunto referente à variabilidade do cobrimento de armadura em execução em obras de concreto armado na cidade de Porto Alegre, comparando com os valores de projeto.

O referido estudo, coordenado pelas Prof.^{as} Ana Paula Kirchheim e Prof.^a Denise Carpena Coitinho Dal Molin, requer uma coleta de dados em obras, com o auxílio de um paquímetro de precisão, nos dias das concretagens de pilares e lajes/vigas. Além disso, será necessário consultar os valores de cobrimento explicitados nos projetos estruturais, os tipos de espaçadores empregados, assim como algumas fotos da obra visitada.

Desta forma, solicito a colaboração de V. S.^a no sentido de autorizar a realização da pesquisa em questão. É assegurada a confidencialidade dos dados e fotos a serem obtidos, com o compromisso de utilizá-los unicamente dentro dos objetivos propostos no referido estudo. Ao término da pesquisa, os resultados estarão disponíveis para a sua apreciação e consulta.

Atenciosamente,

Otávio Saraiva Pinto da Silva.