



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**COBRIMENTO DE ARMADURA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS VALORES
PROJETADOS E EXECUTADOS NAS OBRAS DO VALE DO
TAQUARI.**

Luis Fernando Lucca Weber

Lajeado, Junho de 2014

Luis Fernando Lucca weber

**COBRIMENTO DE ARMADURA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS VALORES
PROJETADOS E EXECUTADOS NAS OBRAS DO VALE DO
TAQUARI.**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão II, do Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Univates, como parte de exigência para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Ms. Rafael Mascolo

Lajeado, Novembro de 2014

Luis Fernando Lucca weber

**COBRIMENTO DE ARMADURA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO
ARMADO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS VALORES
PROJETADOS E EXECUTADOS NAS OBRAS DO VALE DO
TAQUARI.**

Este trabalho foi julgado adequado e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Centro Universitário UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Banca Examinadora:

Prof. Ms. Ivandro Carlos Rosa, UNIVATES.
Mestre pela Univates, Lajeado, Brasil.

Prof. Ms. João Batista Gravina, UNIVATES.
Mestre pela UFRGS, Porto Alegre, Brasil.

Orientador:

Prof. Ms. Rafael Mascolo, UNIVATES.
Mestre pela UFRGS, Porto Alegre, Brasil.

Coordenador do Curso de Engenharia Civil: _____

Prof. Ms. Emanuele Amanda Gauer

Lajeado, Novembro de 2014.

RESUMO

O concreto armado é um dos materiais mais utilizados para execução de estruturas na construção civil, devido a fácil obtenção dos materiais constituintes, a possibilidade da diversidade de formas geométricas aplicáveis e a elevada durabilidade do material. Quanto a durabilidade, diversos fatores são preponderantes para a garantia de sua vida útil de projeto, entre esses destaca-se o cobrimento da armadura, que é a espessura de concreto entre a barra de aço e a camada externa do elemento. Ela tem a função de proteger o aço contra agentes ambientais agressivos e contra possíveis choques físicos. O desleixo desse parâmetro construtivo tem resultado em diversas obras de recuperação estrutural, quase sempre envolvendo altos custos às construtoras e aos proprietários, e frequentemente associada a patologia de corrosão da armadura. A qualidade e eficiência dessa camada de proteção está relacionada com a garantia de espessura mínima através do uso de espaçadores, conforme determina a NBR 6118 (ABNT, 2014)¹, e com a qualidade do concreto. O objetivo do trabalho é verificar a variação em espessuras de cobrimento, antes e após a concretagem, comparadas aos valores de projeto, em algumas obras do Vale do Taquari. Foram feitas análises individuais de critérios como nível de controle da obra, tipo do elemento estrutural (pilar, viga e laje), utilização de espaçadores e tipo de contratação da mão de obra para interpretação de cenários que possibilitam variações no cobrimento. A partir dos resultados, constatou-se que após a concretagem o número de medições com espessuras abaixo do valor projetado aumentou em relação ao observado na montagem da fôrma, caracterizando o deslocamento da armadura. Ocorrência causada pela falta de planejamento no processo de concretagem e principalmente, pela falta do travamento da armadura, que seria propiciada pela correta utilização de espaçadores. Porém antes da concretagem mais de 50% das medições observadas já apresentavam espessura de cobrimento abaixo do estipulado em projeto, evidenciando a falta de controle para o cumprimento desse parâmetro construtivo.

Palavras-chave: Estruturas de concreto. Cobrimento. Armadura. Durabilidade.

¹ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento - NBR 6118. Rio de Janeiro, 2014.

ABSTRACT

Reinforced concrete is the most common construction material used in building structures in civil construction, due to the easy access to its constituent materials, as well as its unlimited possibilities of geometric shapes, and its longer durability. The durability of reinforced concrete structures is determined by a broad category of factors, which ensure the useful life of a concrete structure, among others, stands out the cover for the reinforcement, which is the thickness of concrete between the steel rod and the outer layer of the element. The function of the cover for the reinforcement is to protect the steel against environmental factors and physical effects.

The lack of concern regarding this building aspect during construction procedures, results in several structural recovering works, which often involves high maintenance costs to builders and owners, and is frequently associated to pathologies due to reinforcement corrosion. Therefore, quality and performance of the cover for the reinforced concrete is ensured by a minimum thickness with the use of spacers as determined by NBR 6118 (ABNT, 2014)², and the quality of the concrete. The purpose of this study is to verify the variations before and after concreting, compared to Project values, of some construction works situated in Vale do Taquari. Eventually, individual analysis were performed according to the following criteria, such as level of construction control, type of structural elements (pier, beam and slab), use of spacers, and workforce hiring cognizance in interpreting scenarios, that allow variations on the cover for the reinforcement. From the results observed, it was found that after concreting the number of measurements below the thickness projected increased in comparison to measurements in the formwork, characterizing the displacement of the reinforcement. This occurrence is caused by poor planning during the concreting process and mainly for the lack of reinforcement clamping, propitiated by the proper use of spacers. However, before concreting more than 50% of the amount observed already presented lower covering thickness than stipulated in the project, which suggests failure of care concerning this construction aspect.

Keywords: Concrete structures, Cover for the reinforcement, Reinforcement, Durability.

² ABNT – Brazilian Technical Standards Association Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento - NBR 6118. Rio de Janeiro, 2014.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Causas de defeitos em edificações..... | 27 |
| Figura 2 – Processo evolutivo da corrosão | 29 |
| Figura 3 – Camada de cobertura de armadura..... | 29 |
| Figura 4 – Espaçador circular..... | 34 |
| Figura 5 – Espaçador centopeia..... | 34 |
| Figura 6 – Espaçador tipo cavalete ou garra..... | 34 |
| Figura 7 – Espaçador tipo cadeirinha..... | 34 |
| Figura 8 – Espaçamento irregular e armadura negativa fora da posição | 36 |
| Figura 9 – Paquímetro..... | 41 |
| Figura 10 – Esquema demonstrando local de coleta dos espaçamentos de cobertura de armadura..... | 42 |
| Figura 11 – Esquema do local de medição do cobertura de armadura nas vigas .. | 43 |
| Figura 12 – Pacômetro digital..... | 44 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 – Classes de agressividade ambiental | 25 |
| Quadro 2 – Exigências de qualidade do concreto em função da agressividade do meio ambiente..... | 26 |
| Quadro 3 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm | 32 |
| Quadro 4 – Características qualitativas associadas aos níveis de controle da execução dos elementos de concreto armado | 36 |
| Quadro 5 – Elementos observados para cada obra | 38 |
| Quadro 6 – Parâmetros qualitativos observados em cada obra..... | 39 |
| Quadro 7 – Classificação do nível de controle | 45 |
| Quadro 8 – Resultados obtidos para os critérios que determinam o nível de controle da obra. | 74 |
| Quadro 9 – Elementos estruturais que foram utilizados espaçadores | 79 |
| Quadro 10 – Apresentação dos espaçadores utilizados | 80 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1 – Histograma geral dos cobrimentos antes da concretagem na Obra A.... | 47 |
| Gráfico 2 – Histograma geral dos cobrimentos após a concretagem na Obra A..... | 48 |
| Gráfico 3 – Histograma geral dos cobrimentos antes da concretagem na Obra B1.. | 49 |
| Gráfico 4 – Histograma geral dos cobrimentos após a concretagem na Obra B1..... | 50 |
| Gráfico 5 – Histograma geral dos cobrimentos antes da concretagem na Obra B2.. | 51 |
| Gráfico 6 – Histograma geral dos cobrimentos após a concretagem na Obra B2..... | 52 |
| Gráfico 7 – Histograma geral dos cobrimentos antes da concretagem na Obra C1.. | 53 |
| Gráfico 8 – Histograma geral dos cobrimentos após a concretagem na Obra C1..... | 54 |
| Gráfico 9 – Histograma geral dos cobrimentos antes da concretagem na Obra C2.. | 55 |
| Gráfico 10 – Histograma geral dos cobrimentos após a concretagem na Obra C2... | 56 |
| Gráfico 11 – Histograma geral dos cobrimentos antes da concretagem na Obra C3.. | 57 |
| Gráfico 12 – Histograma geral dos cobrimentos após a concretagem na Obra C3... | 58 |
| Gráfico 13 – Histograma geral dos cobrimentos antes da concretagem na Obra D.. | 59 |
| Gráfico 14 – Histograma geral dos cobrimentos após a concretagem na Obra D..... | 60 |
| Gráfico 15 – Histograma geral dos cobrimentos antes da concretagem na Obra E.. | 61 |
| Gráfico 16 – Histograma geral dos cobrimentos após a concretagem na Obra E..... | 62 |
| Gráfico 17 – Histograma geral dos cobrimentos antes da concretagem na Obra F.. | 63 |
| Gráfico 18 – Histograma geral dos cobrimentos após a concretagem na Obra F..... | 64 |
| Gráfico 19 – Histograma geral dos cobrimentos antes da concretagem na Obra G . | 65 |
| Gráfico 20 – Histograma geral dos cobrimentos após a concretagem na Obra G | 66 |
| Gráfico 21 – Histograma geral das medições antes da concretagem | 67 |
| Gráfico 22 – Histograma geral das medições após a concretagem | 67 |
| Gráfico 23 – Histograma geral das medições de pilares antes da concretagem..... | 69 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 24 – Histograma geral das medições de pilares após a concretagem..... | 69 |
| Gráfico 25 – Histograma geral das medições de vigas antes da concretagem..... | 70 |
| Gráfico 26 – Histograma geral das medições de vigas após a concretagem..... | 71 |
| Gráfico 27 – Histograma geral das medições de lajes antes da concretagem..... | 72 |
| Gráfico 28 – Histograma geral das medições de lajes após a concretagem..... | 72 |
| Gráfico 29 – Histograma geral das medições antes da concretagem de obras classificadas com nível de controle ruim | 75 |
| Gráfico 30 – Histograma geral das medições após a concretagem de obras classificadas com nível de controle ruim | 75 |
| Gráfico 31 – Histograma geral das medições antes da concretagem de obras classificadas com nível de controle bom | 77 |
| Gráfico 32 – Histograma geral das medições após a concretagem de obras classificadas com nível de controle bom | 77 |
| Gráfico 33 – Histograma geral das medições antes da concretagem para elementos estruturais com a utilização de espaçadores..... | 81 |
| Gráfico 34 – Histograma geral das medições após a concretagem para elementos estruturais com a utilização de espaçadores..... | 81 |
| Gráfico 35 – Histograma geral das medições antes da concretagem para elementos estruturais sem a utilização de espaçadores..... | 82 |
| Gráfico 36 – Histograma geral das medições após a concretagem para elementos estruturais sem a utilização de espaçadores..... | 83 |
| Gráfico 37 – Histograma geral das medições antes da concretagem em obras com mão de obra terceirizada..... | 85 |
| Gráfico 38 – Histograma geral das medições após a concretagem em obras com mão de obra terceirizada..... | 85 |
| Gráfico 39 – Histograma geral das medições antes da concretagem em obras com mão de obra própria..... | 86 |
| Gráfico 40 – Histograma geral das medições após a concretagem em obras com mão de obra própria..... | 87 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Resumo de medições antes da concretagem da Obra A | 47 |
| Tabela 2 – Resumo de medições após a concretagem da Obra A | 48 |
| Tabela 3 – Resumo de medições antes da concretagem da Obra B1 | 49 |
| Tabela 4 – Resumo de medições após a concretagem da Obra B1 | 50 |
| Tabela 5 – Resumo de medições antes da concretagem da Obra B2 | 51 |
| Tabela 6 – Resumo de medições após a concretagem da Obra B2 | 52 |
| Tabela 7 – Resumo de medições antes da concretagem da Obra C1 | 53 |
| Tabela 8 – Resumo de medições após a concretagem da Obra C1 | 54 |
| Tabela 9 – Resumo de medições antes da concretagem da Obra C2 | 55 |
| Tabela 10 – Resumo de medições após a concretagem da Obra C2 | 55 |
| Tabela 11 – Resumo de medições antes da concretagem da Obra C3 | 56 |
| Tabela 12 – Resumo de medições após a concretagem da Obra C3 | 57 |
| Tabela 13 – Resumo de medições antes da concretagem da Obra D | 58 |
| Tabela 14 – Resumo de medições após a concretagem da Obra D | 59 |
| Tabela 15 – Resumo de medições antes da concretagem da Obra E | 61 |
| Tabela 16 – Resumo de medições após a concretagem da Obra E | 61 |
| Tabela 17 – Resumo de medições antes da concretagem da Obra F | 62 |
| Tabela 18 – Resumo de medições após a concretagem da Obra F | 63 |
| Tabela 19 – Resumo de medições antes da concretagem da Obra G | 64 |
| Tabela 20 – Resumo de medições após a concretagem da Obra G | 65 |
| Tabela 21 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral..... | 68 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 22 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral de todos os pilares..... | 70 |
| Tabela 23 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral de todas as vigas | 71 |
| Tabela 24 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral de todas as lajes | 73 |
| Tabela 25 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral das obras com nível de controle ruim..... | 76 |
| Tabela 26 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral das obras com nível de controle bom..... | 78 |
| Tabela 27 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral das obras com nível de controle excelente | 78 |
| Tabela 28 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral das obras com utilização de espaçadores | 82 |
| Tabela 29 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral das obras sem utilização de espaçadores | 83 |
| Tabela 30 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral das obras com mão de obra terceirizada | 86 |
| Tabela 31 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral das obras com mão de obra própria | 87 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|---------|----------------------------------------------------------|
| INMETRO | Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia |
| CA | Concreto armado |
| cm | Centímetros |
| Fck | Resistência característica do concreto a compressão |
| mm | Milímetros |
| MPa | Mega Pascal |
| NBR | Norma Brasileira Regulamentadora |
| VUP | Vida útil de projeto |

SUMÁRIO

| | |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 16 |
| 1.1 Objetivo | 18 |
| 1.1.1 Objetivo principal..... | 18 |
| 1.1.2 Objetivo secundário..... | 18 |
| 1.2 Organização do trabalho | 18 |
| | |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 20 |
| 2.1 Estruturas de concreto armado | 20 |
| 2.1.1 Durabilidade e vida útil | 20 |
| 2.1.1.1 Fatores que contribuem para a durabilidade..... | 22 |
| 2.1.1.2 Mecanismos de envelhecimento e deterioração | 23 |
| 2.1.1.3 Classificação das ações do meio ambiente..... | 25 |
| 2.2 Manifestações patológicas..... | 26 |
| 2.2.1 Corrosão da armadura | 28 |
| 2.3 Cobrimento de armadura..... | 29 |
| 2.3.1 Função do cobrimento de armadura | 30 |
| 2.3.2 Generalidades quanto à qualidade do cobrimento | 30 |
| 2.3.3 Cobrimento mínimo..... | 31 |
| 2.4 Espaçadores | 33 |
| 2.4.1 Problemas relevantes | 34 |
| | |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS..... | 37 |
| 3.1 Escolhas das empresas..... | 38 |

| | |
|----------------------------------------------------------|----|
| 3.2 Parâmetros observados em obra para análise | 38 |
| 3.3 Metodologia | 40 |
| 3.3.1 Planilha de levantamento dos dados | 40 |
| 3.3.2 Coleta dos valores de cobertura | 40 |
| 3.3.2.1 <i>Valores de projeto</i> | 41 |
| 3.3.2.2 <i>Valores antes da concretagem</i> | 41 |
| 3.3.2.3 <i>Valores após a concretagem</i> | 43 |
| 3.3.3 Índice do nível de controle da obra | 44 |
| 3.3.4 Análise de variabilidade..... | 45 |
| | |
| 4 RESULTADOS E ANÁLISES | 46 |
| 4.1 Resultados individuais das empresas..... | 46 |
| 4.1.1 Empresa A..... | 46 |
| 4.1.2 Empresa B..... | 48 |
| 4.1.3 Empresa C..... | 52 |
| 4.1.4 Empresa D..... | 58 |
| 4.1.5 Empresa E..... | 60 |
| 4.1.6 Empresa F | 62 |
| 4.1.7 Empresa G | 64 |
| 4.2 Resultado geral das amostras | 66 |
| 4.3 Resultados para cada elemento estrutural | 68 |
| 4.4 Resultados quanto ao nível de controle na obra..... | 73 |
| 4.4.1 Nível de controle Ruim..... | 74 |
| 4.4.2 Nível de controle Bom..... | 76 |
| 4.4.3 Nível de controle Excelente | 78 |
| 4.5 Resultados quanto a utilização de espaçadores..... | 79 |
| 4.6 Resultados quanto à contratação de mão de obra | 84 |
| | |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 88 |
| | |
| REFERÊNCIAS | 92 |
| | |
| APÊNDICE A | 95 |
| APÊNDICE B | 96 |

APÊNDICE C97
APÊNDICE D97



1 INTRODUÇÃO

Entre as técnicas construtivas empregadas para sistemas estruturais de edificações o concreto armado é o mais utilizado, convencionalmente moldado *in loco*³, sendo os materiais utilizados para moldagem de fácil obtenção no mercado. Ainda, fator de relevância para difusão do seu emprego está na durabilidade do material, de modo que em ambientes não agressivos duram mais de cem anos sem manutenção (COUTO et al, 2013). A durabilidade do concreto é influenciada por diversas ações coordenadas e realizadas durante todas as etapas da sua execução, e um desses fatores comumente citado em normas técnicas, como NBR 6118 (ABNT, 2014) e NBR 14931 (ABNT, 2004), é o cobrimento das armaduras, o qual possui papel determinante para a proteção da estrutura a fim de evitar a surgimento de patologias.

Manifestado por diversos autores como determinante para a qualidade das construções, o fator da mão de obra qualificada e especializada, independente do cenário econômico que movimenta o segmento, sempre foi um gargalo na indústria da construção. Atualmente, observa-se a grande oferta de emprego nesse segmento devido ao grande número de empreendimentos que resulta na necessidade de contratação de mão de obra com pouca qualificação (COSTA, 2010). Esse cenário requer um elevado controle na execução das obras e um alto nível de detalhamento na realização dos projetos a fim de evitar falhas construtivos que resultem em futuras patologias as edificações.

³ *In loco* é uma expressão em **latim**, que significa "**no lugar**" ou "**no próprio local**".

Segundo Helene (1997), o número de estruturas com patologias aumentou nos últimos anos, principalmente relacionada a problemas de corrosão das armaduras, decorrente da falta ou perda da proteção natural oferecida pelo cobrimento de concreto, devido a camada protetora insuficiente e baixa qualidade do material.

A preocupação com o cobrimento da armadura habitualmente é ignorada em diversas obras. Essa despreocupação é resultado da confiabilidade proporcionada pelas propriedades/características do concreto armado (CA), porém o cobrimento é uma característica ligada diretamente à saúde da estrutura. Conforme Campos (2013), o desleixo desse parâmetro construtivo de muita relevância tem resultado em diversas obras de recuperação estrutural de CA, quase sempre, envolvendo altos custos as construtoras e aos proprietários.

Conforme Couto et al (2013), as estruturas de concreto armado em ambientes não agressivos duram mais de cem anos sem manutenção. Sendo a vida útil do concreto influenciada por diversos fatores, tais quais: a composição do concreto; adensamento e cura efetiva do concreto na estrutura; e cobrimento das armaduras. Dentre esses fatores a soluções para se manter o cobrimento do concreto especificado em projeto é a utilização de espaçadores entre a armadura e a fôrma da estrutura. Sendo fundamental para sua garantia, o nível de controle ou qualidade de execução empregada pela construtora.

O objetivo desta pesquisa é monitorar o cobrimento da armadura para os elementos estruturais de concreto armado, como: lajes, pilares e vigas; observando as técnicas construtivas empregadas, e o nível de controle de execução. Desta forma, o trabalho irá comparar a variabilidade das medições da espessura de cobrimento nos elementos antes e após a concretagem, em relação ao valor especificado em projeto estrutural. E, a partir dos dados levantados em campo avaliar essa correlação.

O trabalho limita-se a obras com estruturas de concreto armado convencional em andamento no Vale do Taquari, e quanto a uma determinada etapa de sua execução, não sendo acompanhada toda a construção do empreendimento. Devido ao intervalo de tempo do trabalho não foram observados todos os elementos estruturais (pilares, vigas e lajes) para todas as obras.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é analisar a variação das medidas de cobertura da armadura durante execução das fôrmas e após a concretagem, em obras no Vale do Taquari, comparando com os valores indicados em projeto.

1.1.2 Objetivo Secundário

Os objetivos secundários do trabalho são as verificações da relação entre os valores de cobertura observados antes e após a concretagem, e seus respectivos valores de projeto, em função:

- a) da qualidade do controle de execução;
- b) do tipo de elemento estrutural (laje, pilares e vigas);
- c) da utilização ou não de espaçadores;
- d) da terceirização ou não da mão de obra.

1.2 Organização do trabalho.

O trabalho está organizado em três partes principais:

- a) Pesquisa bibliográfica;
- b) Metodologia de pesquisa;
- c) Resultados e análises;

1.2.1 Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica visa descrever algumas generalidades quanto as estruturas de concreto armado, afim de melhor entender e compreender a importância do cobertura das armaduras.

Assim, nessa etapa será feita uma breve descrição do elemento concreto armado, sua durabilidade e vida útil, manifestações patológicas, e uma descrição sobre cobrimento de armadura e espaçadores utilizados.

1.2.2 Metodologia de Pesquisa.

Nessa parte será descrito quais as técnicas empregadas para as medições em obras e os parâmetros analisados. A Metodologia está baseada em trabalhos semelhantes de modo que os resultados obtidos não sejam influenciados pela maneira de obtenção dos dados, e que os mesmos sirvam à um banco de dados e que possam vir à serem comparados.

1.2.3 Resultados e Análises.

Nessa etapa serão apresentados os resultados conforme objetivos mensurados, e as devidas análises considerando as observações feitas nas obras durante a coleta dos dados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Estruturas de Concreto armado.

O concreto armado surgiu no século XIX na Europa, a fim de resolver um problema muito grave encontrado naquela época, que era a fraca resistência a tração do concreto como pedra artificial. Atualmente é o material mais utilizado na construção de estruturas de edifícios, grandes obras viárias e contenções. Seu emprego é conhecido em todo o mundo, sendo que a estrutura de concreto armado em ambientes não agressivos, dura mais de cem anos sem manutenção (COUTO et al, 2013).

O concreto armado é um material de construção resultante da união do concreto e de barras de aço, envolvidos pelo concreto, com perfeita aderência entre os dois materiais, de tal maneira que resistem ambos solidariamente aos esforços a que são submetidos. A utilização de barras de aço juntamente com o concreto, só é possível devido as seguintes razões: trabalho conjunto do concreto e do aço, assegurado pela aderência entre os materiais; o coeficiente de dilatação térmica do aço e do concreto são praticamente iguais; o concreto protege de oxidação o aço da armadura garantindo a durabilidade da estrutura. (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

2.1.1. Durabilidade e Vida útil das estruturas de concreto armado.

A durabilidade das edificações é pauta constante de estudos científicos e de extrema relevância para o desenvolvimento dos processos e materiais utilizados na construção civil.

Conforme Araújo (2010), a durabilidade das estruturas de concreto é um dos parâmetros de ampla relevância dentro dos conceitos das modernas normas de projeto, e também novas normas de desempenho. As exigências relativas à durabilidade estão se tornando cada vez mais rígidas, tanto na fase de projeto, quanto na fase de execução da estrutura. As normas são importantes para estabelecer diretrizes legais e de orientação aos projetistas, de modo a padronizar processos e garantir a qualidade do processo.

Preocupação constante de usuários e construtores, a garantia da durabilidade das estruturas proporciona segurança e benefícios econômicos, pois na execução de uma obra que apresenta desempenho satisfatório para uma vida útil de projeto, por um período suficientemente longo, apresenta menores gastos de manutenção (ARAÚJO, 2010).

A NBR 6118 (ABNT, 2014) define durabilidade como a capacidade da estrutura de resistir as influências do meio ambiente, sendo definida pelo projetista estrutural durante o desenvolvimento do projeto, juntamente com o consentimento do proprietário. Ainda, sobre sua exigência e necessidade, quando utilizadas conforme recomendado em projeto, mantém sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente a sua vida útil.

A associação entre os conceitos de durabilidade e vida útil são inevitáveis. Conhecidas as características dos materiais quanto a deterioração, entende-se como durabilidade da construção, a resposta que cada material dará em função dessa característica contra os efeitos de agressividade do ambiente, analisando assim e definindo a vida útil da mesma (SOUZA e RIPPER, 2009). Uma vida útil longa é considerada sinônimo de durabilidade.

Assim, conforme NBR 15575-1 (ABNT, 2013), a vida útil é uma medida temporal da durabilidade de um edifício ou de suas partes. A vida útil de projeto (VUP) é definida pelo empreendedor e projetista, e informada previamente. A VUP tem caráter econômico e de direito do consumidor.

Conforme Araújo (2010), para estruturas de concreto armado geralmente as normas de projeto consideram uma vida útil mínima de 50 anos, levando em conta a correta utilização da edificação, bem como manutenção periódica. Para obras de

maior importância, outros valores podem se fazer necessários estabelecendo vida útil maiores.

As estruturas de concreto armado possuem vida útil indeterminada que irá depender de diversos fatores como compactação, cura, cobrimento das armaduras e dos materiais utilizados para a sua fabricação, não podendo se esquecer do meio ambiente em que está inserido. A deterioração do concreto se origina de fatores externos e internos em razão de ações físicas, químicas e mecânicas que apresentam como sintomas as fissuras, a disgregação e a desagregação, sendo todos os sintomas visíveis e que podem ser facilmente constatados (COUTO et al, 2013).

De modo geral, conforme apontado por Helene (1997) a durabilidade da estrutura do concreto é influenciada por quatro fatores: Composição/traço do concreto, adensamento efetivo do concreto na estrutura, cura efetiva do concreto e cobrimento das armaduras.

2.1.1.1 Fatores que contribuem para durabilidade das estruturas de concreto armado

A durabilidade dos elementos de uma estrutura de concreto armado é resultado de um conjunto de variáveis que devem ser analisadas na concepção estrutural e planejamento do projeto, a principal delas é a resistência dos elementos frente as ações ambientais, agente principal de deterioração.

Diversos critérios devem ser observados nas fases de projeto, de execução e de utilização da estrutura, a fim de se combater a deterioração precoce. Araújo (2010) salienta os principais fatores que devem ser observados na fase de projeto, “[...] devem-se incluir a especificação de um concreto de qualidade apropriada, de cobrimentos mínimos para as armaduras, a verificação da abertura das fissuras e o correto detalhamento das armaduras”. Ainda enfatiza que durabilidade é altamente dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do concreto de cobrimento.

Ainda, quanto a critérios que contribuem para durabilidade da estrutura, Couto et al (2013) descreve os seguintes critérios à serem observados durante o projeto:

- a) drenagem eficiente,
- b) evitar formas arquitetônicas e estruturais inadequadas,
- c) garantir concreto de qualidade apropriada principalmente nas regiões superficiais dos elementos estruturais,
- d) garantir cobrimento de concreto apropriado para proteção das armaduras,
- e) detalhamento adequado das armaduras,
- f) controlar fissuração das peças, prever espessuras maiores ou revestimento protetores em regiões sob condição de exposição ambiental muito agressiva,
- g) definir um plano de inspeção e manutenção preventiva

Conforme NBR 6118 (ABNT, 2014), a durabilidade das estruturas é altamente dependente das características do concreto, sendo sua qualidade garantida através do atendimento da espessura juntamente com a dosagem adequado do material.

A seleção dos materiais constituintes da mistura também é fundamental para uma boa durabilidade, influenciando diretamente no grau de qualidade do concreto. O principal objetivo da dosagem consiste em encontrar a mistura mais econômica para obtenção de um concreto com todas características capazes de atender às condições de resistência, de serviço, e de durabilidade, utilizando os materiais disponíveis (MEHTA e MONTEIRO, 2008). A resistência do concreto deve ser estabelecida conforme grau de agressividade do ambiente, atendendo as normas técnicas, como a observação da relação a/c (água cimento), que influência no grau de porosidade do concreto e que assim limita sua resistência. Ainda, o cimento pode ser escolhido de forma a resistir a certos agentes, como:

- a) Sulfatos: cimento de resistência a sulfato.
- b) Agregados reativos: cimento com pozolanas, baixo teor de álcalis.
- c) Desprendimento de calor: Cimento com baixo calor de hidratação.

2.1.1.2 Mecanismos de envelhecimento e deterioração.

A deterioração do concreto se origina de fatores externos e internos em razão de ações físicas, químicas ou mecânicas. Metha e Monteiro (2008), enfatizam a água como agente de deterioração que, devido as suas moléculas pequenas, consegue penetrar em cavidades ou poros extremamente finos, além da sua capacidade de dissolver, e carregar, muito mais substâncias do que qualquer outro líquido. Propriedade essa que propícia a presença de muitos íons e gases em certas águas, tornando-se fundamentais para a decomposição de matérias sólidas. A água possui

alto calor específico de evaporação e, quando em um material poroso em condições normais de temperatura demora a evaporar e deixar o material seco. Também, em sólidos porosos, os movimentos internos de umidade e transformação estrutural das moléculas da água, podem causar ruptura devido a variações volumétricas.

Helene (1997) aborda os mecanismos preponderantes à deterioração de forma separada para cada componente da estrutura do concreto armado, conforme apresenta o item 6.3 da NBR 6118 (ABNT, 2014), destacando os mais frequentes e importantes como sendo:

1º) Mecanismos de deterioração ao concreto:

a) Lixiviação: “Por ação de água puras, carbônicas agressivas e ácidas que carregam os compostos hidratados da pasta cimento[...].redução do pH do extrato aquoso dos poros superficiais do concreto do componente estrutural com risco de de despassivação da armadura.”

b) Expansão: “por ação de águas e solos que contenham ou estejam contaminados com sulfato dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado[...].redução da dureza e resistência do concreto [...] redução do pH do extrato aquoso dos poros superficiais do concreto do componente estrutural com risco de despassivação da armadura.”

c) Expansão: “por ação das reações entre álcalis do cimento e certos compostos e agregados reativos [...] Sintomatologia é uma expansão geral da massa de concreto com fissuras superficiais, profundas [...]”

d) Reações deletérias “superficiais de certos agregados decorrente de transformação de produtos ferruginosos presentes na sua constituição mineralógica. Destaca-se como exemplo os problemas oriundos com agregados que contêm pirita que pode acarretar manchas de ferrugem, cavidades e protuberâncias na superfície dos componentes de concreto.

2º) Mecanismo de deterioração da armadura:

a) Despassivação por carbonatação: “por ação de gás carbônico da atmosfera que penetra por difusão e reage com os hidróxidos alcalinos da solução dos poros do concreto reduzindo o pH dessa solução.” quando a carbonatação “atingir a armadura, dependendo das condições de umidade ambiente pode promover séria corrosão com aparecimento de manchas, fissuras, destacamentos de pedaços de concreto e até perda da seção resistente e da aderência, promovendo o colapso da estrutura ou de suas partes.

b) Despassivação por elevado teor de íon cloro (cloreto),”por penetração do cloreto através de processos de difusão, de impregnação ou de absorção capilar de águas contendo teores de cloreto [...] despassivam a superfície do aço e instalam a corrosão. Ao atingir a armadura pode promover séria corrosão com aparecimento de manchas, fissuras, destacamentos de pedaços de concreto e até perda da seção resistente e da aderência, promovendo o colapso da estrutura ou de suas partes.”

2.1.1.3 Classificações das ações do meio ambiente.

Conforme NBR 6118 (ABNT, 2014), a agressividade do meio ambiente está relacionada as ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e quaisquer outras perspectivas no dimensionamento da estrutura de concreto armado.

Assim, à norma descreve que a agressividade do ambiente pode ser classificada de acordo com o quadro 1.

Quadro 1 – Classes de agressividade ambiental.

| Classes 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, banheiro, cozinhas e áreas de serviço de atendimentos 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 chuvas 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: NBR 6118 (ABNT, 2014)

Conforme item 7.4.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014), ensaios comprobatórios de desempenho da durabilidade, devido ao tipo e nível de agressividade previsto em projeto devem estabelecer os parâmetros mínimos a serem atendidos. Na falta desses e devido a existência da correspondência entre a relação água/cimento, a resistência à compressão do concreto, permite-se adotar os requisitos mínimos expressos no Quadro 2.

Quadro 2 – Exigências de qualidade do concreto em função da agressividade do meio ambiente

| CONCRETO | CLASSE DE AGRESSIVIDADE | | | |
|-------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|
| | I | II | III | IV |
| Relação água/cimento em massa | ≤0,65 | ≤0,60 | ≤0,55 | ≤0,45 |
| Classe de concreto | ≥C20 | ≥C25 | ≥C30 | ≥C40 |

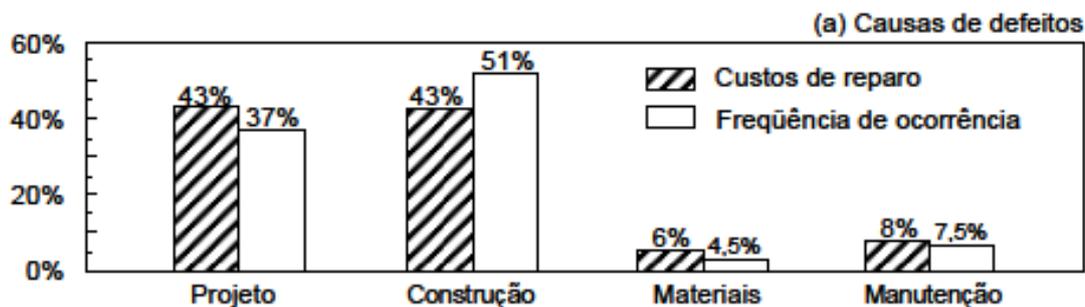
Fonte: Campos (2013)

2.2 Manifestações patológicas.

As Manifestações patológicas têm origem a partir de alguma anomalia ou falha durante uma das etapas da construção, além de apontar para falhas também no sistema de controle de qualidade próprio a uma ou mais atividades. Assim as causas podem ser decorrentes de falhas na concepção do projeto, falha de materiais, falha na execução ou na utilização (SOUZA e RIPPER, 2009).

De modo geral, as manifestações patológicas são inevitáveis ao passar dos anos, o problema em questão é a velocidade e a forma prematura com que estão ocorrendo (MENEZES, 2009). Conforme pesquisa apontada por Vilasboas (2004) 65% dos defeitos construtivos tornam-se aparentes dentro de até 3 anos. Essa mesma pesquisa aponta que 51% das causas de defeitos são decorrentes do processo de execução. O autor ainda faz menção quanto ao custo de reparo como demonstrado, na Figura 1, onde nota-se que mesmo os defeitos de projeto sendo 14 % menos frequente que os de construção, os gastos com reparos são equivalentes.

Figura 1 – Causas de defeitos em edificações



Fonte: Adaptado de VILASBOAS (2004)

Conforme Souza e Ripper (2009) para as estruturas, os materiais e componentes têm sua qualidade e forma de aplicação normatizados, porém o sistema de controle dos construtores tem se mostrado bastante falho, não sendo aplicado uma metodologia para a fiscalização e aceitação dos materiais, assim como os procedimentos de execução. Falhas humanas durante a construção são frequentes, na maioria dos casos decorrentes da deficiência de qualificação profissional da equipe técnica, sendo as principais falhas humanas apontadas:

- Deficiência de concretagem: Ocorridas durante os processos de transporte, lançamento, juntas de concretagem, adensamento e cura;
- Inadequação de escoramento e formas;
- Deficiência das armaduras: Devido à má interpretação dos projetos, insuficiência de armaduras, mau posicionamento das armaduras, cobrimento de concreto insuficiente, dobramento das barras, deficiência nas ancoragens, deficiência nas emendas, má utilização de anticorrosivos;
- Utilização incorreta dos materiais de construção: Fck inferior ao especificado, aço diferente do especificado, utilização de agregados reativos, utilização inadequada de aditivos, dosagem inadequada do concreto.

Conforme Tinoco e Figueiredo (2001) a manifestação patológica de maior ocorrência, em alguns países, é a corrosão da armadura. Devido a importância da função do aço ao sistema do concreto armado, e em virtude da sua propriedade de resistência a tração, a deterioração desse elemento em caso extremo pode levar a estrutura ao colapso. Assim é uma das manifestações patológicas mais sérias, custosas e difícil de ser resolvida.

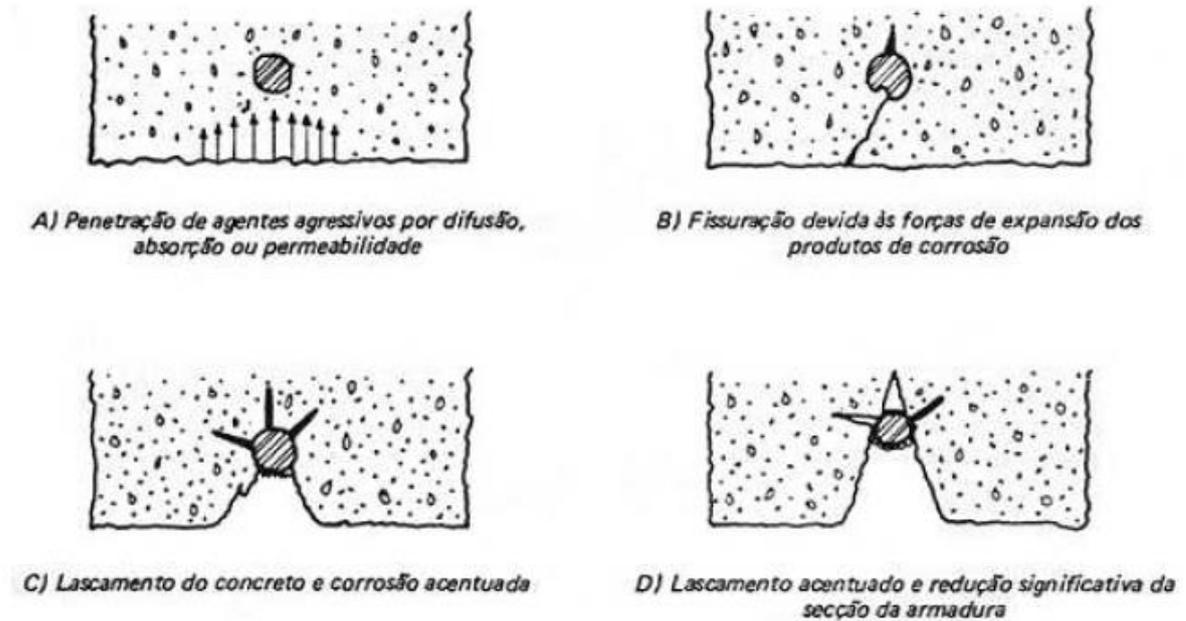
2.2.1 Corrosão da armadura.

Conforme Helene (1986), a corrosão é a interação destrutiva de um material com o ambiente, seja por reação química, ou eletroquímica. Ela acontece em meio aquoso e é determinante o contato com a armadura, devido sua despassivação pela presença de quantidade suficiente de cloreto ou diminuição da alcalinidade do concreto.

O mecanismo de corrosão do aço é conduzido pela formação de pilhas eletroquímicas no interior do concreto. Esta corrosão conduz à formação de óxidos/hidróxidos de ferro, produtos de corrosão avermelhados, pulverulentos e porosos, denominada ferrugem, e só ocorre quando existe um eletrólito, uma diferença de potencial e a presença de oxigênio. Agentes agressivos contidos ou absorvidos pelo concreto, como íons sulfato, cloretos e dióxido de carbono e outros, podem acelerar a corrosão. (MENEZES e AZEVEDO, 2009).

Ainda conforme Menezes e Azevedo (2009), o hidróxido de ferro, dependendo da concentração de oxigênio presente na sua molécula, poderá formar outros agentes de corrosão. Caracterizando esse processo como evolutivo, onde os produtos possuem caráter expansivo, e que podem ocupar de 3 a 10 vezes o volume original do aço. Essa expansão pode fissurar o concreto, podendo gerar tensões internas que podem chegar a até 15 MPa. Das fissuras, originam-se o lascamento do concreto, e em seguida o destacamento da camada de cobertura. A Figura 2 mostra o processo evolutivo da corrosão.

Figura 2 – Processo evolutivo da corrosão.

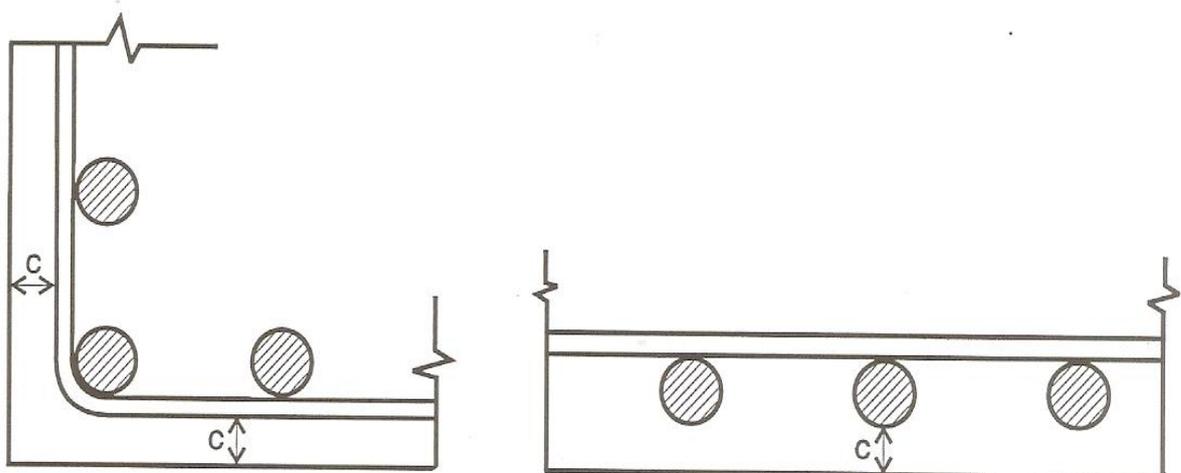


Fonte: MENEZES e AZEVEDO (2009).

2.3 Cobrimento de armaduras.

O cobrimento de armadura é a espessura de concreto entre a armadura e o limite ao meio externo do elemento estrutural, conforme figura 3.

Figura 3 – Camada de cobrimento de armadura.



Legenda: c = espessura de cobrimento.

Fonte: Fusco (2007).

2.3.1 Função do cobrimento de armadura.

A função do concreto de cobrimento é propiciar proteção física, química e mecânica ao concreto armado. A barreira formada entre o meio ambiente externo e a armadura de aço é essencial para a durabilidade e bom desempenho da estrutura impedindo a formação de mecanismos que provocariam a corrosão (CAMPOS, 2013).

A proteção física é propiciada pela impermeabilidade do concreto e é resultado da qualidade do concreto, de boa compactidade, homogeneidade e apropriado teor de argamassa. A proteção química é proporcionada a partir de uma película protetora da armadura, formada em ambientes alcalinos. Como o cobrimento é a camada externa da estrutura também proporciona proteção mecânica contra choques que a estrutura eventualmente possa sofrer. (TAKATA, 2009).

2.3.2 Generalidades quanto a qualidade de cobrimento.

Conforme Fusco (2007), de modo geral a proteção das armaduras é totalmente dependente da qualidade do concreto, isto é, de sua compactidade e de sua impermeabilidade, quanto de uma camada de cobrimento com espessura adequada. Dal Molin (1988) afirma quanto a qualidade do concreto 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”, e ainda releva cuidados quanto a cura da superfície dos elementos da estrutura e com a uniformidade da camada do cobrimento, indispensáveis para uma menor possibilidade de ações de agentes externos.

Os principais agentes agressivos as estruturas de concreto estão dispostas no meio ambiente, e podem estar contidos em elementos constituintes das estruturas de concreto armado, através de contaminação de águas e agregados, na utilização de águas salinas, de dejetos orgânicos, ou barras de aço já deterioradas. Para que ocorra a proteção das armaduras, o concreto não pode conter agentes ou elementos agressivos internos, que eventualmente podem ser utilizados durante execução da estrutura por absoluto desconhecimento dos responsáveis (HELENE, 1986).

A camada de cobrimento deve proteger todas as barras de armadura, assim deve ser medida a partir das barras mais próximas ao limite da superfície da peça, devendo ser incluído estribos e armaduras secundárias (FUSCO, 2007). Segundo Menezes e Azevedo (2009), quando o concreto não for adequado ou não houver total cobertura das barras de armadura, ocasionando a corrosão das mesmas, as consequências patológicas são crônicas e evolutivas. Das fissuras, as estruturas podem chegar ao colapso.

O concreto é um material poroso e esses poros são atacados por agentes agressivos causadores de deterioração a estrutura, por lixiviação, expansão, despassivação, reações deletérias e etc. Conforme Silva (2012) para diminuir os poros relativos a mistura, deve-se diminuir a relação de água/cimento, uma vez que a evaporação da água revela vazios no composto, assim aumentará a resistência do concreto e a durabilidade, diminuindo o ingresso de substâncias no interior da estrutura.

2.3.3 Cobrimento mínimo de armadura.

Além das exigências de qualidade do concreto, é necessário especificar um cobrimento mínimo para as armaduras. A espessura de cobrimento deve ser indicada no projeto estrutural e sua determinação leva em conta a classe de agressividade ambiental.

A NBR 6118 (ABNT 2014) estabelece alguns requisitos básicos exigíveis quanto a elaboração e determinação do cobrimento mínimo a ser considerado em projeto, sendo:

[...]o cobrimento mínimo da armadura é o menor valor que deve ser respeitado ao longo de todo o elemento considerado e que se constitui num critério de aceitação.

A fim de garantir o cobrimento mínimo, Araújo (2010) destaca que o projeto e a execução devem considerar um espaçamento nominal, que é o espaçamento mínimo acrescido da tolerância. Conforme item 7.4.7.2 da NBR 6118 (2014):

Para garantir o cobrimento mínimo (C_{min}), o projeto e a execução devem considerar o cobrimento nominal (C_{nom}), que é o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução (Δc). Assim, as condições das armaduras e os espaçadores devem respeitar os cobrimentos nominais estabelecidos no Quadro [...] 3, para $\Delta c=10\text{mm}$.

“O cobrimento nominal [...] está sempre referido a superfície da armadura externa, em geral a face externa do estribo. O cobrimento nominal de uma determinada barra deve sempre ser [...]” maior ou igual ao diâmetro da barra ou feixe.

Quanto a tolerância de variabilidade da espessura de cobrimento, a NBR 6118 (ABNT, 2014) faz o seguinte apontamento:

Quando houver um adequado controle de qualidade e rígidos limites de tolerância da variabilidade das medidas durante a execução pode ser adotado o valor de $\Delta c= 5\text{mm}$, mas a exigência de controle rigoroso deve ser explicitada nos desenhos de projeto. Permite-se, então, a redução dos cobrimentos nominais prescritos no Quadro [...] 3 em 5 mm.

A espessura do cobrimento da armadura contribui para o controle da movimentação dos íons agressivos ao interior da estrutura, de modo que, quanto maior a espessura, maior será o intervalo de tempo até que as concentrações dos íons atinjam a armadura. Desse modo, a qualidade do concreto quanto a baixa penetrabilidade e a espessura do concreto atuam em conjunto (FREIRE, 2005). Desse modo a NBR 6118 (ABNT, 2014), estipula o cobrimento da armadura conforme classe ambiental ao qual a edificação está inserida, conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c= 10\text{ mm}$.

| Tipo de estrutura | Componente ou elemento | Classe de agressividade ambiental | | | |
|-------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------|----|-----|----|
| | | I | II | III | IV |
| | | Cobrimento nominal mm | | | |
| Concreto armado | Laje ¹ | 20 | 25 | 35 | 45 |
| | Viga/pilar | 25 | 30 | 40 | 50 |
| | Elementos estruturais em contato com o solo ² | 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, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5 (NBR 6118,2014), respeitando um cobrimento nominal maior igual a 15 mm.

² No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal maior igual a 45 mm.

2.4 Espaçadores

Para garantir a espessura de cobrimento da armadura requerida em projeto, afim de assegurar a camada de cobertura e proteção dos elementos das estruturas de concreto armado, é essencial a utilização de espaçadores. A NBR 14.931 (2004) faz a seguinte menção quanto a montagem e posicionamento das armaduras:

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

Os espaçadores são elementos posicionados entre a armadura e a forma do elemento a ser concretado, fazendo com que a armadura permaneça travada durante a concretagem. Ele tem a função de manter a correta posição da armadura durante a montagem, o lançamento e o adensamento do concreto, de modo a garantir o cobrimento mínimo prescrito em projeto (TAKATA, 2009).

Referente aos tipos de espaçadores, Menezes (2009) afirma que os dois tipos de espaçadores mais utilizados nas obras são os de argamassa e os de plástico. Espaçadores de argamassa podem ser produzidos no próprio canteiro de obra, apresentam menor custo em relação aos de plástico, mas levam determinado tempo a serem confeccionados. Enquanto os espaçadores de plásticos são peças prontas que aumentam a produtividade e possuem maior aderência ao concreto devido a seu formato específico.

Os espaçadores de plásticos possuem vários modelos disponíveis no mercado, e eles variam conforme o elemento estrutural em que é empregado (pilar, laje, viga, bloco de fundação e outros) e seu espaçamento desejado (Silva 2012). Os quatro modelos mais empregados em obras são: o circular, centopeia, cadeirinha e cavalete (ou garra). Conforme Figuras 4, 5, 6 e 7.

Figura 4 – Espaçador circular.



Fonte: Silva (2012).

Figura 5 – Espaçador centopeia



Fonte: silva (2012).

Figura 6 – Espaçador tipo cavalete ou garra



Fonte: silva (2012).

Figura 7 – Espaçador tipo cadeirinha.



Fonte: silva (2012).

2.4.1. Problemas relevantes

Como já mencionado a falta de um cobrimento apropriado facilitará o surgimento de patologias à estrutura. Porém são poucos os testes que garantam a eficiências dos dispositivos de espaçamento. Conforme Tinoco e Figueiredo (2001) no Brasil não há testes normatizados quanto ao desempenho desses materiais frente a sua utilização que garantam maior eficiência. Principalmente quanto aos seus distanciamentos em função de cargas que provocam deslocamento. Muitas vezes, os engenheiros são obrigados a se basear por avaliações e recomendações de fornecedores ou fabricantes. Em muitos casos, essas informações não são relevantes

quanto a respeito do funcionamento dele perante o sistema ou referente a capacidade de carga do material.

Conforme Giribola (2013), não há uma certificação compulsória por parte do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) quanto aos espaçadores plásticos. Sendo os que possuem são testados em laboratório e certificados voluntariamente pelo fabricante.

Campos (2013) menciona que, muitas vezes, as empresas construtoras são negligentes quanto à logística de execução das estruturas de concreto armado, fazendo menção a circulação de trabalhadores, imprescindível durante a execução, que influencia bastante no posicionamento das armaduras uma vez que a carga aplicada sobre as barras de aço provoca o seu deslocamento dentro da forma. Sendo a solução um caminho apropriado para o tráfego de pessoas e materiais, esse deveria ser levado em consideração no posicionamento dos espaçadores.

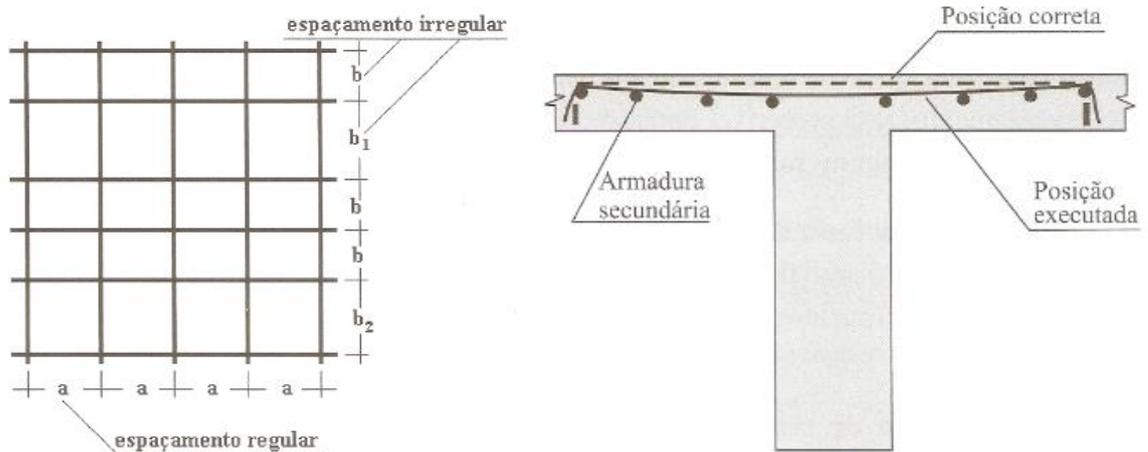
Souza e Ripper (2009) faz menção a outra finalidade de espaçadores, a utilização como limitadores para a correta distribuição de barras de aço. E Também cita a movimentação de trabalhadores e materiais sobre as barras posicionadas como sendo um problema causador de patologias, referente a erro na colocação das armaduras. E Cita exemplo em lajes:

Deficiência das armaduras:

Mau posicionamento das barras [...] (em lajes isso é muito comum, como se vê na Figura 8), ou no deslocamento das barras de suas posições originais, muitas vezes motivadas pelo trânsito de operários e carrinhos de mão, por cima da malha de aço, durante as operações de concretagem – o que é particularmente comum nas armaduras negativas de lajes (ver Figura 8) e poderá ser crítico nos casos de balanço.

Quanto a causa de problemas patológicos causados por deficiência ou erros na colocação das armaduras, Souza e Ripper (2009) descreve que os espaçadores adequados são fundamentais para garantir o correto posicionamento das barras de armaduras.

Figura 8 – Espaçamento irregular e armadura negativa fora da posição.



Fonte: SOUZA e RIPPER (2009)

O posicionamento dos espaçadores é de suma importância para seu bom funcionamento, e a maioria das construtoras os instalam de forma aleatória, sem planejamento, sendo as que possuem, muitas vezes não o executam. Conforme Andrade (2001) podem ser associados níveis de controle a obra devido ao plano de distribuição dos espaçadores, sendo caracterizado como baixo ou alto, conforme descrição do Quadro 4.

Quadro 4 - Características qualitativas associadas aos níveis de controle da execução dos elementos de concreto armado.

| Nível de controle | Características qualitativas |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Baixo | <ul style="list-style-type: none"> Inexistência de um plano de distribuição dos espaçadores em relação à área e/ou volume dos elementos estruturais; |
| | <ul style="list-style-type: none"> Emprego de espaçadores inadequados (espessura variável traço diferente do traço do concreto da estrutura). |
| Alto | <ul style="list-style-type: none"> Existência de um plano adequado de distribuição dos espaçadores; |
| | <ul style="list-style-type: none"> Emprego de espaçadores adequados. |

Fonte: adaptado de ANDRADE, 2001, p. 153)

3. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Este capítulo descreve a escolha das empresas observadas, os parâmetros a serem analisados de acordo com os objetivos almejados e a metodologia proposta para a coleta de dados em campo.

O foco do trabalho é analisar os valores de cobertura observados em obras, sendo a empresa determinada como amostra da análise, pois os cuidados com a execução variam de empresa para empresa.

Os parâmetros levantados em campo para análise foram: a espessura dos cobrimentos de armadura para os tipos de elementos estruturais (lajes, pilares e vigas) antes e após a concretagem; o valor deste estipulado em projeto; o nível de controle/qualidade da obra; a utilização ou não de espaçadores plásticos, e o modelo de contratação da mão de obra.

A metodologia utilizada foi a mesma empregada nos trabalhos de conclusão de curso de Silva (2012) e Campos (2013), de modo que os resultados da variabilidade do cobertura de armadura obtidos possam servir à uma série de dados e possam ser comparados devido à padronização do levantamento e critérios empregados. Foi utilizado uma planilha para levantamento dos dados em campo semelhante a empregada nesses trabalhos, de modo a facilitar e organizar as anotações dos dados.

3.1 Escolhas das empresas.

As empresas determinadas como amostra da pesquisa são do ramo da construção civil, sendo as obras analisadas situadas no Vale do Taquari e com utilização de estruturas em concreto armado convencional.

Foram analisadas 10 obras; a quantidade de amostras foi resultado do intervalo de 4 meses da pesquisa, onde estas estavam disponíveis e atendiam as necessidades do trabalho. Das amostras, em 2 empresas foram analisadas mais de uma obra, sendo observado 2 obras da Empresa B e 3 obras da Empresa C. Segue abaixo Quadro 5 com o resumo das obras e dos itens analisados.

Quadro 5 - Elementos estruturais observados para cada obra.

| Empresa | Obra | Elementos observados | | |
|-----------|------|----------------------|-------|-------|
| | | Pilares | Vigas | Lajes |
| Empresa A | A1 | Sim | Sim | Não |
| Empresa B | B1 | Sim | Sim | Sim |
| Empresa B | B2 | Sim | Não | Não |
| Empresa C | C1 | Sim | Sim | Não |
| Empresa C | C2 | Não | Sim | Não |
| Empresa C | C3 | Sim | Sim | Não |
| Empresa D | D1 | Não | Sim | Sim |
| Empresa E | E1 | Sim | Sim | Não |
| Empresa F | F1 | Sim | Sim | Não |
| Empresa G | G1 | Sim | Sim | Sim |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Não foi possível observar os três elementos estruturais em todas as obras pois o cronograma das mesmas não condizia com o intervalo da pesquisa. O número pequeno de lajes observadas, três amostras, ocorreu pois as demais obras utilizaram lajes pré-moldadas, mais especificamente de vigota treliçada e tavela, sistema muito utilizado no Vale do Taquari, onde não foi possível a medição do cobrimento da armadura no fundo da laje.

3.2 Parâmetros observados para análise.

Como objeto do trabalho foram observados e comparados, em obras, os valores de cobrimento projetados, os deixados antes da concretagem, entre as fôrmas

e a armadura mais externa, bem como os valores obtidos após a concretagem, isso para cada elemento da estrutura.

Além desses, conforme entendido em revisão bibliográfica, foram observados os modelos de espaçadores utilizados e o nível de controle da obra, fatores fundamentais para garantia do cobrimento especificado em projeto. Também foi observado o tipo de contratação da mão de obra a fim de averiguar qual a relação desse parâmetro com o nível de controle e qualidade.

Conforme objetivo desse trabalho, “análise da variabilidade do cobrimento de concreto das armaduras, comparando valores de projeto com os obtidos em obra”, serão feitas análises isoladas em função dos itens descritos no parágrafo acima, a fim de verificar a correlação desses cenários com a variação das medições. Assim foram obtidos os seguintes resultados:

- a) para cada empresa analisada;
- b) geral de todas as obras;
- c) para dos elementos estruturais (lajes, pilares e vigas);
- d) em função do nível de controle das obras;
- e) da utilização ou não de espaçadores;
- f) em função da contratação da mão de obra.

Abaixo, é apresentado no Quadro 6, o resumo dos parâmetros para análise observados em cada empresa.

Quadro 6 - Parâmetros qualitativos observados em cada obra.

| Empresa | Obra | Mão de obra | Nível de controle da obra | Utilização de espaçadores |
|----------------|-------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Empresa A | A1 | Própria | Bom | Sim |
| Empresa B | B1 | Terceirizada | Ruim | Não |
| Empresa B | B2 | Terceirizada | Ruim | Não |
| Empresa C | C1 | Própria | Bom | Sim |
| Empresa C | C2 | Própria | Bom | Não |
| Empresa C | C3 | Própria | Bom | Sim |
| Empresa D | D1 | Terceirizada | Bom | Sim |
| Empresa E | E1 | Própria | Excelente | Sim |
| Empresa F | F1 | Terceirizada | Ruim | Não |
| Empresa G | G1 | Terceirizada | Excelente | Não |

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3 Metodologia

A metodologia utilizada é a mesma dos trabalhos de Silva (2012) e Campos (2013), a fim de se obter resultados que possam ser comparados. Nessa seção será descrita a planilha de levantamento dos dados conforme elaborado por Silva (2012), como procederá a metodologia de coleta dos dados e os critérios para classificação do controle da obra.

O trabalho limita-se ao levantamento/medição de 30 pontos antes e a mesma quantidade após a concretagem, por tipo de elemento estrutural, sendo as medições caracterizadas no item 3.3.2.

3.3.1 Planilha de levantamento dos dados.

A função da planilha (APÊNDICE A) é facilitar, agilizar e organizar o levantamento dos dados nas obras. Assim é semelhante à dos trabalhos citados anteriormente uma vez que a metodologia de pesquisa é a mesma, levando em conta os mesmos parâmetros e consideração. Abaixo seguem os itens que constam na planilha:

- a) Dados da Obra;
- b) Nível de controle;
- c) Valores do cobrimento nos projetos estruturais;
- d) Tipos de espaçadores;
- e) Valores de cobrimento antes da concretagem
- f) Valores de cobrimento após a concretagem
- g) Dados complementares.

3.3.2 Coleta da espessura de cobrimento.

Os dados foram obtidos à partir de medições e observações feitas em obra. Sendo à dos elementos realizadas em duas etapas: antes e após a concretagem. Abaixo a descrição do procedimento para obtenção dos valores de projeto e espessura de cobrimento para cada elemento estrutural.

3.3.2.1 Valores de projeto.

Os valores de projeto para o cobrimento de armadura foram obtidos a partir de consulta aos projetos estruturais de cada obra/empreendimento.

3.3.2.2 Valores antes da concretagem.

Para obtenção dos valores de cobrimento de armadura antes da concretagem foi utilizado um paquímetro digital de precisão milimétrica, da marca Pantec (Figura 9). Para cada tipo de elemento estrutural (lajes, pilares e vigas) foram coletados 30 pontos de espessura de cobrimento da armadura. A escolha dos pontos de coleta ocorreu de forma aleatória sem qualquer tipo de padronização por área ou distâncias, de modo a evitar qualquer influência nos valores. Abaixo descrição do procedimento para cada tipo de elemento estrutural.

Figura 9 – Paquímetro.

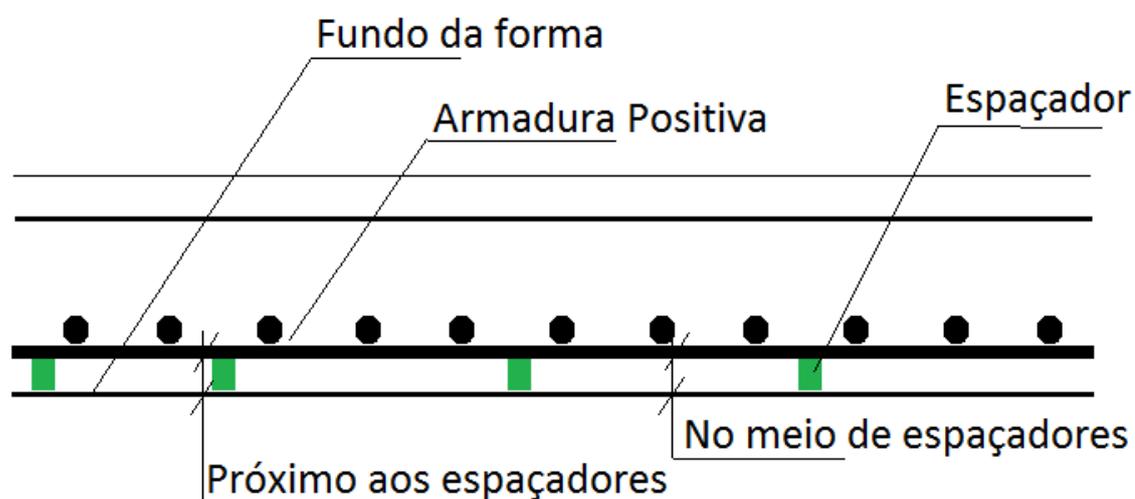


Fonte: elaborado pelo autor.

3.3.2.2.1 Medição de lajes

Para a medição das lajes foi observado o valor entre a superfície do fundo da forma e a parte inferior da armadura positiva, caracterizando a menor distância. Foram coletados 15 pontos próximo aos espaçadores e 15 pontos entre os espaçadores, conforme demonstrado na Figura 10, abaixo.

Figura 10 – Esquema demonstrando local da coleta dos espaçamentos de cobertura da armadura para as lajes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

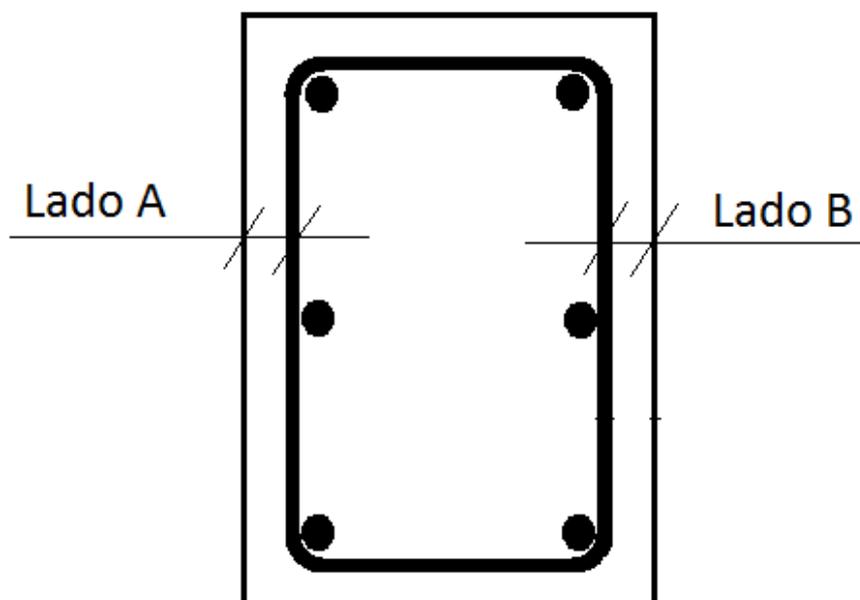
3.3.2.2.2 Medição de pilares

Nos pilares, devido fechamento das formas, as medidas foram obtidas na parte superior do elemento. Os pilares foram observados conforme disponibilidade da obra no período da medição, de modo que a coleta acontecesse em todos os lados dos pilares ou até fechar os 30 pontos.

3.3.2.2.3 Medição Vigas

Para as vigas a medição da espessura de cobertura foi realizada apenas nas laterais da forma, devido à dificuldade de coletar o dado antes da concretagem na parte inferior do elemento, pois em muitos casos a mão não passava entre as barras de aço. As medidas foram realizadas da menor distâncias entre a barra de armadura e a forma do elemento. Sempre era coletado um ponto de cada lado da viga, conforme Figura 11. As vigas foram observadas conforme disponibilidade da obra no período de levantamento dos dados.

Figura 11 – Esquema do local de medição do cobrimento de armadura nas vigas.



Fonte: elaborado pelo autor.

3.3.2.3 Valores após a concretagem.

Para a conferência das espessuras de cobertura de armadura após a concretagem foi utilizado um pacômetro digital, da marca Bosch, modelo D-TECT 150 Professional (Figura 12). Os levantamentos foram feitos aproximadamente nos mesmos locais das medidas realizadas antes da concretagem, de modo a evitar diferenças relativas a variabilidade de execução.

Figura 12 – Pacômetro digital.



Fonte: elaborado pelo autor.

3.3.3. Índice do nível de controle na obra.

Os aspectos observados para determinação da avaliação quanto ao nível de controle da obra, são praticamente os mesmos adotados por Silva (2012) em seu trabalho de conclusão, exceto o critério observação de check list, padronização ou controle no momento da concretagem, que foi acrescentado nesse trabalho. A determinação do nível de controle da obra é estipulada subjetivamente, sendo listados abaixo os itens a serem analisados:

- a) Presença de Engenheiro Civil responsável;
- b) Organização do canteiro de obra;
- c) Condições de limpeza nos pavimentos medidos;
- d) Utilização de EPI pelos funcionários
- e) Metodologia na disposição dos espaçadores;
- f) Observação de check list, padronização ou controle no momento da concretagem.

As obras são avaliadas de forma qualitativa, possuindo ou não os aspectos citados acima. A metodologia proposta por Silva (2012), consiste em um índice, onde a presença desses aspectos na obra, corresponde a 1 ponto para cada um

identificado, criando assim uma escala de classificação de 0 a 6 pontos, sendo o somatório de pontos correspondente ao nível de controle da obra conforme classificação do Quadro 7.

Quadro 7 – Classificação do nível de controle.

| Nível de controle | Valores correspondentes (pontos) |
|-------------------|----------------------------------|
| Excelente | 5 e 6 |
| Bom | 3 e 4 |
| Ruim | 0, 1 e 2 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.4 Análises de variabilidade

Análise de variabilidade foi feita através do erro percentual nas espessuras de cobertura da armadura medidos em relação aos valores de projeto. O erro percentual é calculado pelos valores medidos divididos pelos valores de projeto subtraído de uma unidade $[(Cob_{Med}/Cob_{Proj}) - 1]$. Os resultados são apresentados na forma de erro percentual, pois os valores de projeto variam de obra para obra, assim 1 milímetro não corresponde ao mesmo erro em uma obra cujo valor de projeto é 25 milímetros e em outra é 30 milímetros. Desta forma, a apresentação da variabilidade em erro percentual permite o agrupamento dos dados para análise de forma geral.

Para interpretação dos valores foram elaborados histogramas demonstrando a frequência dos erros percentuais. Sendo o valor de 0,0% (erro percentual) igual ao de projeto, os valores de sinal positivo correspondem a espessura maior que a projetada e os valores negativos abaixo do projetado.

A análise destacada no trabalho é a frequência de amostras com erro percentual negativo, que representam a espessura de cobertura menor que a projetada, indicando que a armadura está mais próxima do ambiente externo. Conseqüentemente, caracterizando alguma irregularidade de execução e inconformidade para a segurança e garantia da durabilidade.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Esse capítulo está dividido em tópicos conforme as análises que definem os objetivos propostos no trabalho. Assim, serão apresentados resultados: individuais para cada obra, geral de todos os empreendimentos, em função dos elementos estruturais (vigas, lajes e pilares), conforme o nível de controle nas obras, quanto à utilização ou não de espaçadores e quanto ao modelo de contratação da mão de obra. Para apresentação de cada amostra e análise realizada, é demonstrado uma tabela com o resumo das medições, indicando o valor de cobrimento projetado, o valor médio, desvio padrão, e o erro percentual do valor médio em relação ao projetado. Para interpretação das análises é gerado um histograma, indicando a frequência dos erros percentuais dos cobrimentos.

4.1 Resultados individuais das Empresas

4.1.1 Empresa A

Na Tabela 1, está representado o resumo das medições da Obra A antes da concretagem. Destaca-se o valor médio dos pilares com resultado acima do estipulado em projeto, considerando que nessa obra não foram utilizados espaçadores. Porém não podemos afirmar que todas as medições dos pilares apresentaram um cobrimento adequado, pois também deve-se considerar para análise global o desvio padrão das amostras, o qual demonstra haver uma considerável dispersão dos resultados, apresentando desvio padrão e 0,75 cm (para + e para -), assim, ao considerarmos 2

desvios para mais e menos (95% dos resultados), temos limites de trabalho entre 1,5 e 4,5 cm, onde o valor mínimo é muito baixo do referenciado.

Para as vigas a média dos valores medidos foi abaixo do previsto em projeto, com uma diferença média de 4,3 milímetros, representando um erro percentual de 14,3% negativo em relação ao cobrimento projetado. Destaca-se na tabela o valor de desvio padrão, caracterizando uma alta dispersão das amostras.

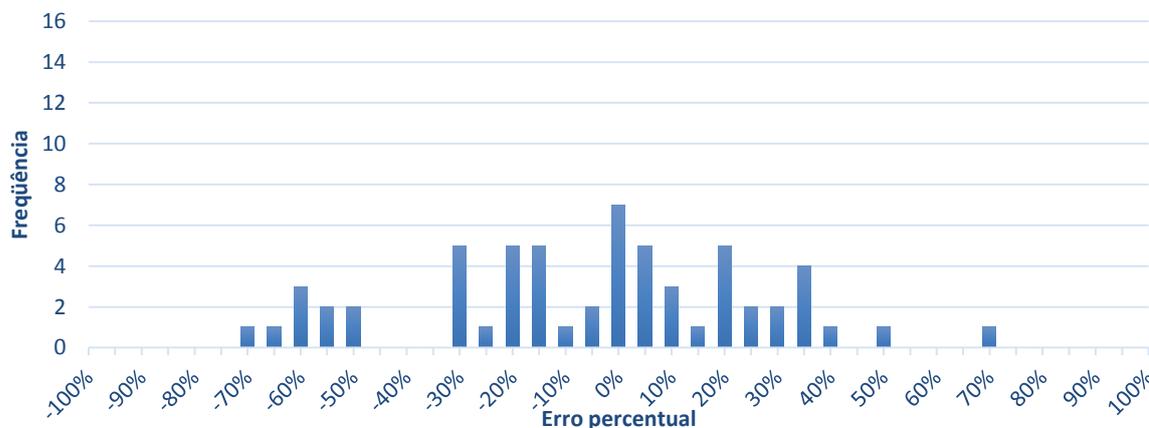
Tabela 1 – Resumo das medições antes da concretagem da Obra A.

| Item | Pilares | Vigas | Lajes |
|------------------------------------|---------|--------|-------|
| Cobrimento de projeto (cm) | 3,00 | 3,00 | |
| Média dos cobrimentos medidos (cm) | 3,01 | 2,57 | |
| Desvio padrão | 0,7554 | 1,0453 | |
| Erro percentual médio | 0,4% | -14,3% | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico 1, para medições antes da concretagem, é apresentado o histograma com a distribuição das frequências dos erros percentuais. Verifica-se que 53,3% das medições são maiores ou iguais que o valor projetado (representado por erro percentual nulo de 0,0%), e conseqüentemente tem-se 46,7% a menor. Os valores acima do projetado apresentam erro percentual positivo, e as espessuras abaixo do projetado erro percentual negativo.

Gráfico 1 – Histograma geral dos cobrimentos antes da concretagem da Obra A.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O resumo das medições após a concretagem da obra A, apresentado na Tabela 2, aponta que ambos os elementos estruturais avaliados apresentaram erro

percentual negativo, ou seja, abaixo do valor projetado. As vigas possuem um erro percentual de 21,0 % negativo e os pilares de 5,7% negativo. Constata-se que, em ambos os elementos a espessura de cobrimento média diminui em relação a antes da concretagem, ou seja a armadura ficou mais próxima do ambiente externo.

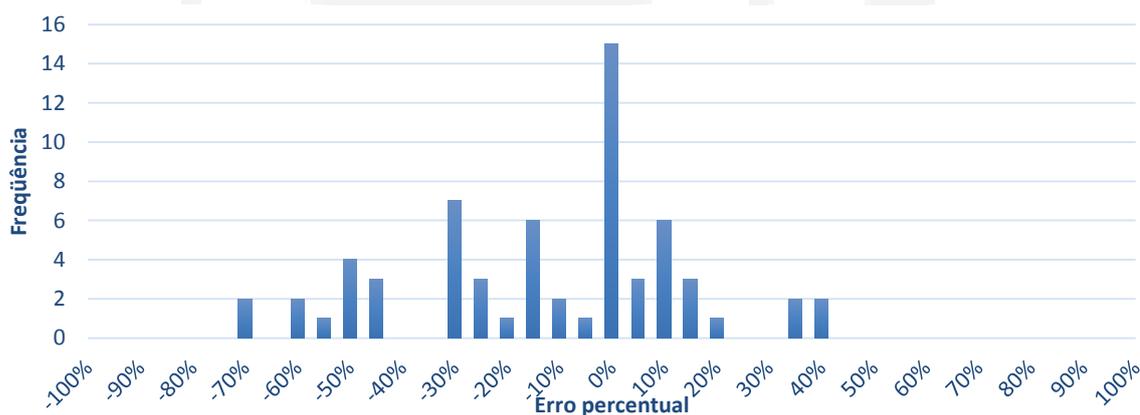
Tabela 2 – Resumo das medições após a concretagem da Obra A.

| Item | Pilares | Vigas | Lajes |
|------------------------------------|---------|--------|-------|
| Cobrimento de projeto (cm) | 3,00 | 3,00 | |
| Média dos cobrimentos medidos (cm) | 2,83 | 2,37 | |
| Desvio Padrão | 0,7479 | 0,7742 | |
| Erro Percentual | -5,7% | -21,0% | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Histograma do Gráfico 2, mostra que após a concretagem 53,3% das medições apresentaram espessura de cobrimento da armadura abaixo da especificada em projeto. Destaca-se a frequência de 15 medições sem erro percentual, igual ao valor projetado. Conforme indicado na Tabela 1, o desvio padrão das amostras diminuiu, resultando em uma menor amplitude dos valores de erros percentuais no histograma abaixo.

Gráfico 2 – Histograma geral dos cobrimentos após a concretagem da obra A.



Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.2 Empresa B

A empresa B obteve os piores valores de espessura de cobrimento da armadura. Verificou-se que os valores projetados para obra B1 tinham uma redução

de 5 mm de espessura, permitido conforme NBR 6118 (ABNT, 2014) em obras com elevado controle de qualidade e rígidos limites da variabilidade, porém a empresa B apresentou o pior resultado quanto ao nível de controle da obra. Como os valores projetados já eram subdimensionados, os erros acarretaram em valores de cobrimento ainda mais baixos. Na Tabela 3, a qual é apresentado o resumo das medições antes da concretagem para a obra B1, verifica-se que todos os elementos apresentam erro médio percentual negativo, com valores médios abaixo do estipulado em projeto (representados por valor negativo).

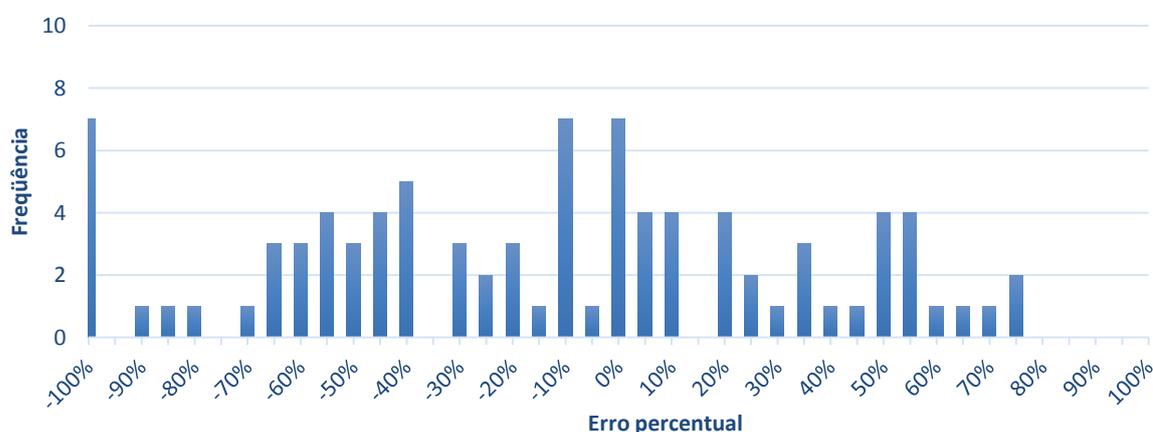
Tabela 3 – Resumo de medições antes da concretagem da Obra B1.

| Item | Pilares | Vigas | Lajes |
|------------------------------------|---------|--------|--------|
| Cobrimento de projeto (cm) | 2,00 | 2,00 | 1,50 |
| Média dos cobrimentos medidos (cm) | 1,56 | 1,68 | 1,37 |
| Desvio Padrão | 0,7874 | 0,8894 | 0,8494 |
| Erro Percentual | -21,9% | -15,8% | -8,5% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No histograma da Obra B1, para medições antes da concretagem (Gráfico 3), observou-se que 55,5% das amostras ficaram abaixo do estipulado em projeto. Destaca-se a elevada frequência de espessura de cobrimento com variação de 100,0% negativo de erro percentual, que representa a armadura encostada na forma, com espessura de cobrimento igual a 0,0 milímetros. Também é notória a dispersão dos erros percentuais, que variam de 100,0% negativo a 80,0% positivo, caracterizando o baixo controle da montagem das formas nessa obra.

Gráfico 3 – Histograma geral dos cobrimentos antes da concretagem na Obra B1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O resumo das medições após a concretagem da Obra B1, conforme Tabela 4, refletem os valores já observados anteriormente, onde todos os itens apresentam erros percentuais negativos. Destaca-se o aumento desse erro percentual de todos os elementos, em 22,2% para Pilares, 29,0% para vigas e 27,7% para as lajes, indicando um aumento na proximidade da armadura com o ambiente externo.

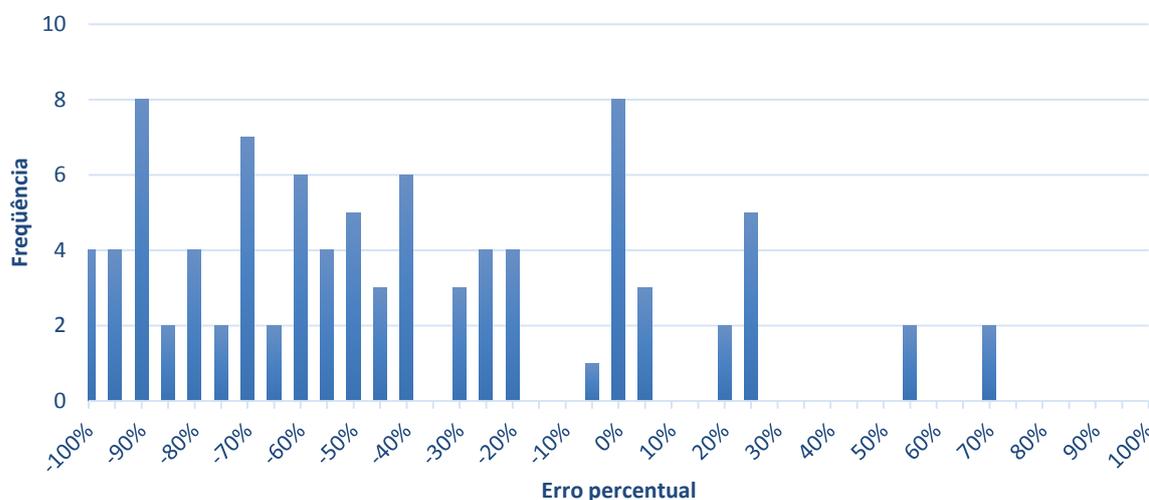
Tabela 4 – Resumo de medições após a concretagem da Obra B1.

| Item | Pilares | Vigas | Lajes |
|------------------------------------|---------|--------|--------|
| Cobrimento de projeto (cm) | 2,00 | 2,00 | 1,50 |
| Média dos cobrimentos medidos (cm) | 1,12 | 1,10 | 0,96 |
| Desvio Padrão | 0,7782 | 0,8152 | 0,7219 |
| Erro Percentual | -44,2% | -44,8% | -36,2% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 4, para medições após a concretagem, é apresentado o histograma com a distribuição das frequências dos erros percentuais de cobrimento. Percebe-se que 76,7% das medições ficaram abaixo dos valores especificados em projeto, ou seja, 21,1% de medições a mais que anteriormente, e 24,3% são iguais ou maiores que o projetado. Nesta obra foram observados 4 pontos com armadura exposta, sem qualquer cobrimento, indicado no gráfico com erro percentual de 100,0% negativo. Dado relevante, é a quantidade de amostras com espessura inferiores à 40,0% de erro percentual, sendo esse um erro considerável, superior à 1,00 cm.

Gráfico 4 – Histograma geral dos cobrimentos após a concretagem da Obra B1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Obra B2, foram monitorados apenas os pilares. As medições apresentaram um erro percentual médio de 17,1% negativo, caracterizando uma diferença de 4,3 milímetros em relação ao projetado, conforme Tabela 5.

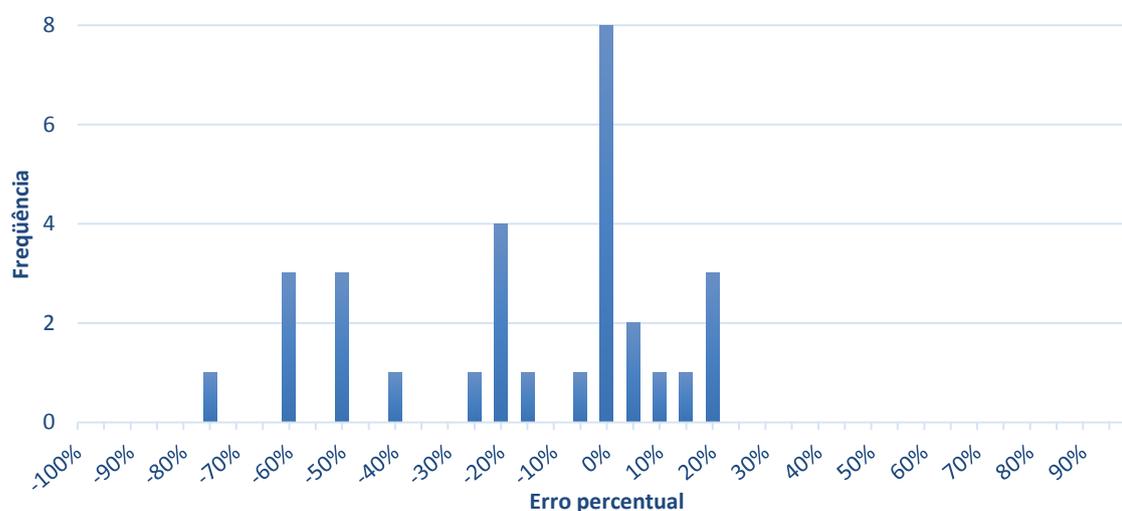
Tabela 5 – Resumo das medições antes da concretagem da Obra B2.

| Item | Pilares | Vigas | Lajes |
|------------------------------------|---------|-------|-------|
| Cobrimento de projeto (cm) | 2,50 | | |
| Média dos cobrimentos medidos (cm) | 2,07 | | |
| Desvio Padrão | 0,6923 | | |
| Erro Percentual | -17,1% | | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 5, o histograma dos cobrimentos antes da concretagem para a Obra B2, verificou-se que 50,0% das medições possuem valor de espessura abaixo do cobrimento estipulado em projeto.

Gráfico 5 – Histograma dos cobrimentos antes da concretagem na obra B2



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 6, apresenta o resumo das medições após a concretagem da Obra B2. Os pilares apresentam um erro percentual médio de 14,1% negativo, valor próximo do observado antes da concretagem, porém a variação das medidas aumentou, conforme resultado obtido para o desvio padrão. Desta forma, caracterizando movimentação da armadura após a concretagem, que também pode ser observado pela variação das frequências dos erros percentuais entre os histogramas dos gráficos 5 e 6.

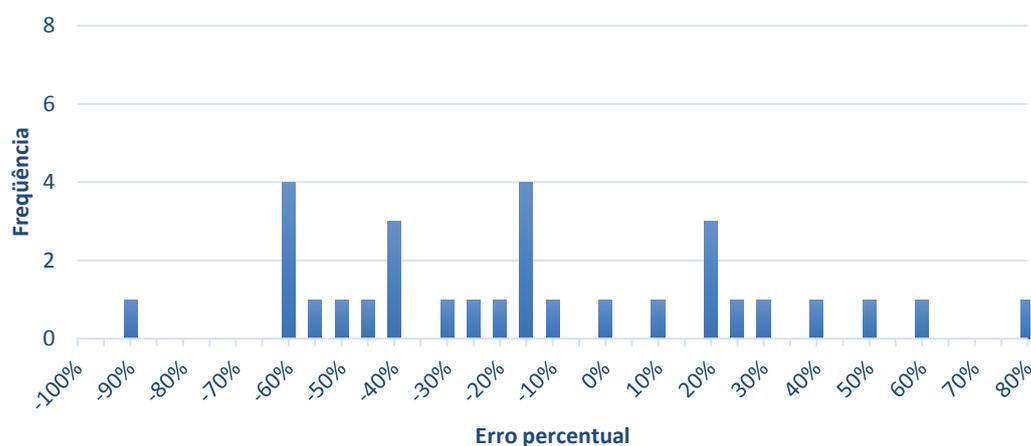
Tabela 6 – Resumo das medições após à concretagem da Obra B2.

| Item | Pilares | Vigas | Lajes |
|------------------------------------|---------|-------|-------|
| Cobrimento de projeto (cm) | 2,50 | | |
| Média dos cobrimentos medidos (cm) | 2,15 | | |
| Desvio Padrão | 1,0421 | | |
| Erro Percentual | -14,1% | | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 6, é exposto a distribuição das frequências dos erros percentuais, para as medições realizadas após a concretagem. Observa-se a dispersão dos resultados, sendo que de 30 amostras foram encontrados 20 erros percentuais distintos. Nota-se no histograma que 63,3% das medições ficaram abaixo do valor projetado.

Gráfico 6 – Histograma geral dos cobrimentos após a concretagem da Obra B2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.3 Empresa C

Para a empresa C foram observadas três obras que serão apresentadas como obra C1, C2 e C3. Os dados obtidos na obra C1, conforme apresentados na Tabela 7, mostram que os valores médios de cobrimento da armadura, tanto para pilares como para vigas, estão abaixo da espessura especificada em projeto. Sendo para pilares o erro médio de menos 1,6 milímetros, referente ao erro percentual de 6,4% negativo; e para as vigas o erro médio é de menos 2 milímetros, apresentando erro percentual de 8,0% negativo.

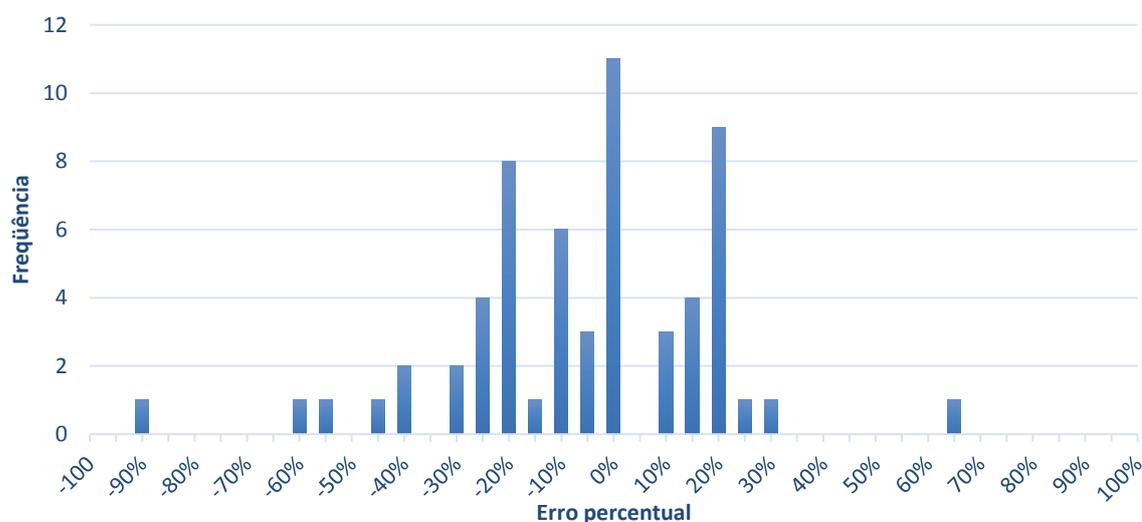
Tabela 7 – Resumo de medições antes da concretagem da Obra C1.

| Item | Pilares | Vigas | Lajes |
|------------------------------------|---------|--------|-------|
| Cobrimento de projeto (cm) | 2,50 | 2,50 | |
| Média dos cobrimentos medidos (cm) | 2,34 | 2,30 | |
| Desvio Padrão | 0,6179 | 0,6445 | |
| Erro Percentual | -6,4% | -8,0% | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

O histograma do Gráfico 7, para medições antes da concretagem, mostra que a maior frequência de erros ocorre na amplitude de 20,0% negativo a 20,0% positivo de erro percentual, que corresponde à a um cobrimento de 5 milímetros para mais ou para menos do estipulado em projeto, enquadrando-se dentro do cobrimento nominal aceitável pela NBR 6118 (2014). Também, observa-se que 50,0% das medições estão com valor abaixo da espessura exigida em projeto.

Gráfico 7 – Histograma geral dos cobrimentos antes da concretagem da Obra C1.



Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme Tabela 8, resumo das medições após a concretagem da Obra C1, destaca-se a diferença do erro percentual para as vigas, aumentando negativamente em 19,0%. Passando de média de 2 milímetros para 6,8 milímetros à menos de espessura para o cobrimento; movimentação durante a concretagem proveniente da falta de utilização de espaçadores na face da medição. A média do cobrimento dos pilares após a concretagem foi muito próxima ao do valor observado antes da concretagem, porém o desvio padrão aumentou caracterizando variação entre as medições.

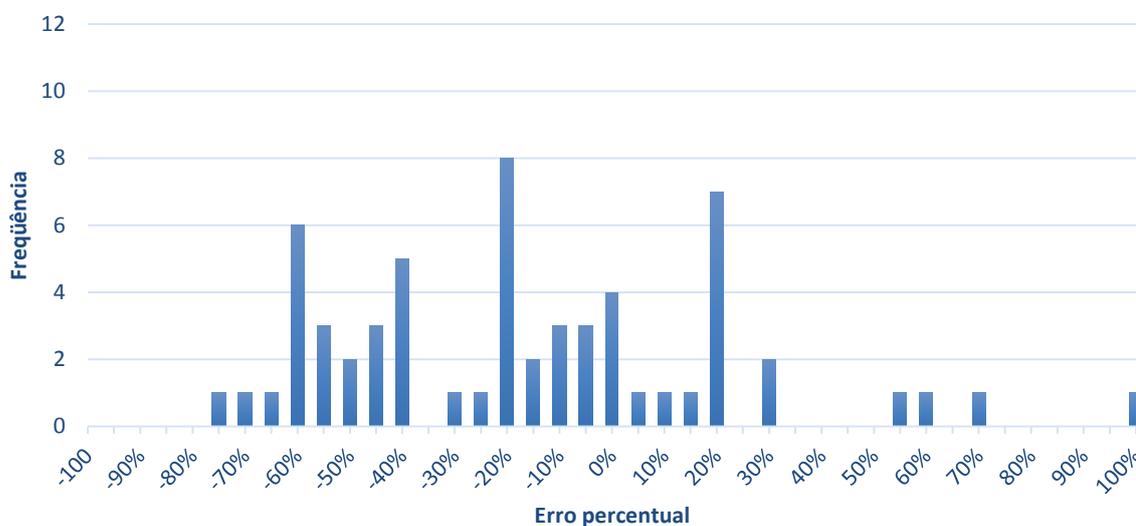
Tabela 8 – Resumo de medições após a concretagem da Obra C1.

| Item | Pilares | Vigas | Lajes |
|------------------------------------|---------|--------|-------|
| Cobrimento de projeto (cm) | 2,50 | 2,50 | |
| Média dos cobrimentos medidos (cm) | 2,30 | 1,82 | |
| Desvio Padrão | 0,9952 | 0,8189 | |
| Erro Percentual | -8,0% | -27,0% | |

Fonte: Elaborado pelo autor

No gráfico 8, para as medições após a concretagem da obra C1, é apresentado o histograma com a distribuição da frequência dos erros percentuais. Observa-se que 67,0% das medições estão abaixo da espessura estipulada em projeto, ocorrendo aumento de 17,0% das frequências abaixo da espessura projetada, essa diferença é atribuída ao maior erro identificado nas vigas. Sendo que a maioria dos erros percentuais encontra-se no gráfico na amplitude de 60% negativo a 10% positivo, onde antes se localizavam entre 20% negativo e 20% positivo.

Gráfico 8 – Histograma geral dos cobrimentos após a concretagem na Obra C1.



Fonte: Elaborado pelo autor

Na Obra C2, da empresa C, apenas foram observadas as vigas. O resumo das medições antes da concretagem, representado pela Tabela 9, mostra que a média das medições possuem erro percentual médio de 28,6% negativo em comparação com o valor de projeto, desta forma, menor que o especificado.

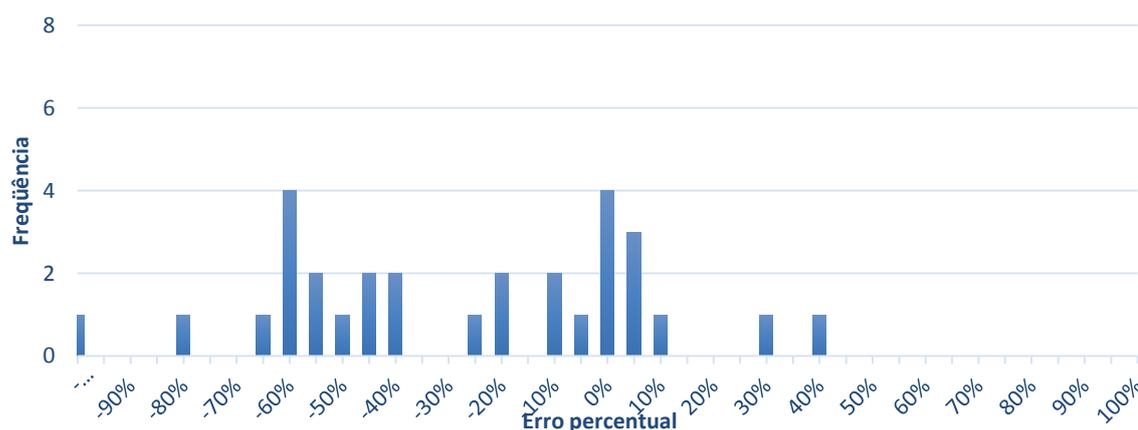
Tabela 9 – Resumo das medições antes da concretagem na Obra C2.

| Item | Pilares | Vigas | Lajes |
|------------------------------------|---------|--------|-------|
| Cobrimento de projeto (cm) | | 2,50 | |
| Média dos cobrimentos medidos (cm) | | 1,79 | |
| Desvio Padrão | | 0,8544 | |
| Erro Percentual | | -28,6% | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 9, o histograma de frequências dos erros percentuais antes da concretagem, observa-se que 66,7% das medições estão abaixo do estipulado em projeto. Sendo 46,7% das medições com erro percentual menor que 40,00% negativo, isso equivale a um erro de espessura igual ou maior que 1,0 cm.

Gráfico 9 – Histograma geral dos cobrimentos antes da concretagem na Obra C2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O resumo das medições após a concretagem da Obra C2, apresentado pela Tabela 10, mostra que as vigas tiveram um erro percentual médio de 35,2% negativo em relação ao estipulado em projeto, uma diferença de 6,6% do valor obtido antes da concretagem. Para essa obra não foram utilizados espaçadores.

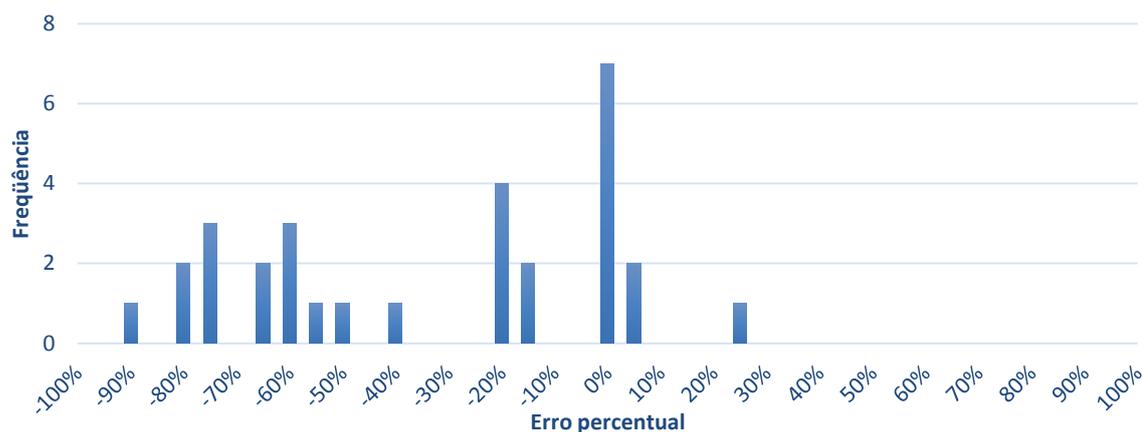
Tabela 10 – Resumo das medições após à concretagem na Obra C2.

| Item | Pilares | Vigas | Lajes |
|------------------------------------|---------|--------|-------|
| Cobrimento de projeto (cm) | | 2,50 | |
| Média dos cobrimentos medidos (cm) | | 1,62 | |
| Desvio Padrão | | 0,8560 | |
| Erro Percentual | | -35,2% | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico 10, observa-se no histograma geral das medições após a concretagem, que se manteve a frequência de 66,7% das amostras abaixo do estipulado em projeto, porém houve variações nas frequências em relação aos erros percentuais.

Gráfico 10 – Histograma geral dos cobrimentos após a concretagem da obra C2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Obra C3, foram coletados dados dos pilares e vigas. O resumo das medições antes da concretagem, representado pela Tabela 11, indica que as vigas obtiveram um erro percentual médio de 13,5% negativo, em relação ao projetado. Enquanto as medições dos pilares apresentaram um erro percentual médio de 14,1% positivo, valor superior ao de projeto. Em ambos os elementos foram utilizados espaçadores, porém para as vigas eles eram posicionados durante o evento da concretagem.

Tabela 11 – Resumo das medições antes da concretagem na Obra C3.

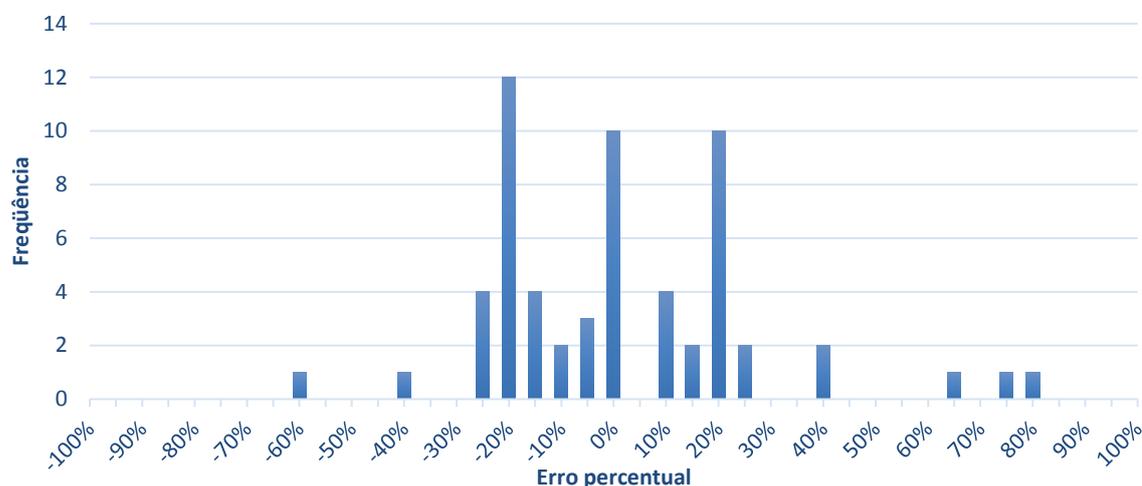
| Item | Pilares | Vigas | Lajes |
|------------------------------------|---------|--------|-------|
| Cobrimento de projeto (cm) | 2,50 | 2,50 | |
| Média dos cobrimentos medidos (cm) | 2,85 | 2,16 | |
| Desvio padrão | 0,6314 | 0,4627 | |
| Erro percentual | 14,1% | -13,5% | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 11, observa-se no histograma geral das medições antes da concretagem, que 45,0% das medições ficaram abaixo do estipulado em projeto. Destaca-se positivamente, a baixa quantidade de dados com erro percentual com

menos de 20,0% negativo, uma vez que esse valor se enquadra dentro da espessura nominal aceitável, com redução de 0,5 cm, conforme NBR 6118 (2014).

Gráfico 11 – Histograma geral dos cobrimentos antes da concretagem na Obra C3



Fonte: Elaborado pelo autor.

O resumo das medições após a concretagem da Obra C3, apresentado pela Tabela 12, mostra que para ambos os elementos os valores médios da espessura diminuíram, aumentando o erro percentual. Para os pilares, obteve-se um valor de erro percentual próximo a zero, também constata-se a diminuição do desvio padrão indicando uma uniformidade dos valores das amostras coletadas. As vigas, assim como observado antes da concretagem, mantiveram um erro percentual negativo, abaixo do valor projetado, com um erro percentual médio de 25,5% negativo.

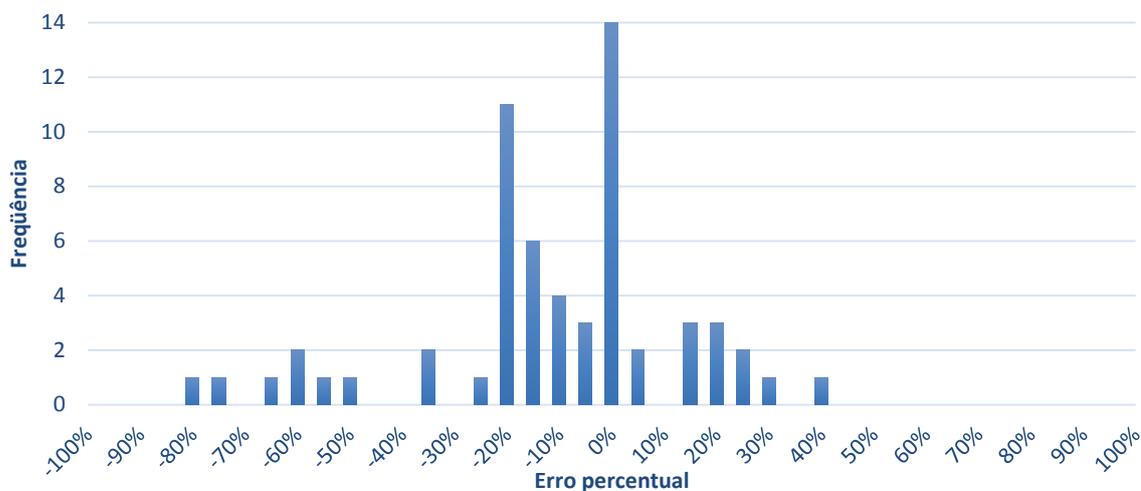
Tabela 12 – Resumo das medições após à concretagem na Obra C3.

| Item | Pilares | Vigas | Lajes |
|------------------------------------|---------|--------|-------|
| Cobrimento de projeto (cm) | 2,50 | 2,50 | |
| Média dos cobrimentos medidos (cm) | 2,49 | 1,86 | |
| Desvio Padrão | 0,4291 | 0,6305 | |
| Erro Percentual | -0,3% | -25,5% | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 12, observa-se no histograma geral das medições após a concretagem, que 66,7% das amostras ficaram abaixo do estipulado em projeto. Constata-se que entre os valores positivos a média da espessura de cobrimento diminuiu, caracterizando uma considerável redução na média geral.

Gráfico 12 – Histograma geral dos cobrimentos após a concretagem da Obra C3.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.4 Empresa D

O resumo das medições antes da concretagem na Obra D, apresentado pela Tabela 13, observa-se que os elementos estruturais tiveram um erro percentual negativo, ou seja, abaixo do estipulado em projeto. Verifica-se que os valores de cobrimento projetados tinham uma redução de 5,0 mm, permitido conforme NBR 6118 (ABNT, 2014) para obras com elevado controle de qualidade e rígidos limites da variabilidade. Desta forma, além do valor projetado ser reduzido, foram deixadas nas formas espessuras inferiores, destaque para o valor médio das lajes inferior a 1,0 cm, sendo o cobrimento nominal necessário de 1,5cm. Na obra D foram utilizados espaçadores em ambos os elementos, porém nas vigas o espaçador tinha dimensões inferiores as de projeto.

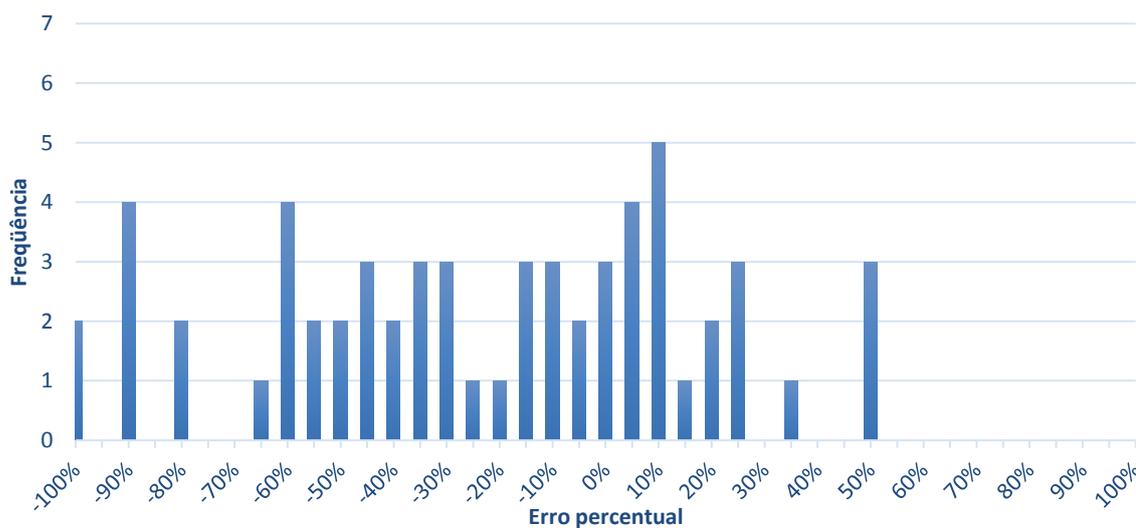
Tabela 13 – Resumo das medições antes da concretagem na Obra D.

| Item | Pilares | Vigas | Lajes |
|------------------------------------|---------|--------|--------|
| Cobrimento de projeto (cm) | | 2,00 | 1,50 |
| Média dos cobrimentos medidos (cm) | | 1,72 | 0,99 |
| Desvio Padrão | | 0,7008 | 0,6361 |
| Erro Percentual | | -14,2% | -34,2% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 13, verifica-se no histograma geral das medições antes da concretagem que 63,3% das medições ficaram abaixo do valor estipulado em projeto. Destaca-se a quantidade de amostras para 100% negativo de erro percentual, que representa a armadura em contato com a fôrma; e a grande dispersão dos erros percentuais, conforme indicado na Tabela 11, através do valor de desvio padrão.

Gráfico 13 – Histograma geral dos cobrimentos antes da concretagem na Obra D.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O resumo das medições após a concretagem da Obra D, apresentado pela Tabela 14, mostra que as vigas tiveram um erro percentual médio de 26,7% negativo em relação ao estipulado em projeto, uma redução na espessura em 12,5% comparado com o obtido antes da concretagem. As lajes apresentaram um erro percentual médio de 39,3% negativo, diferença de menos 5,1% em relação ao observado anteriormente.

Tabela 14 – Resumo das medições após à concretagem da Obra D.

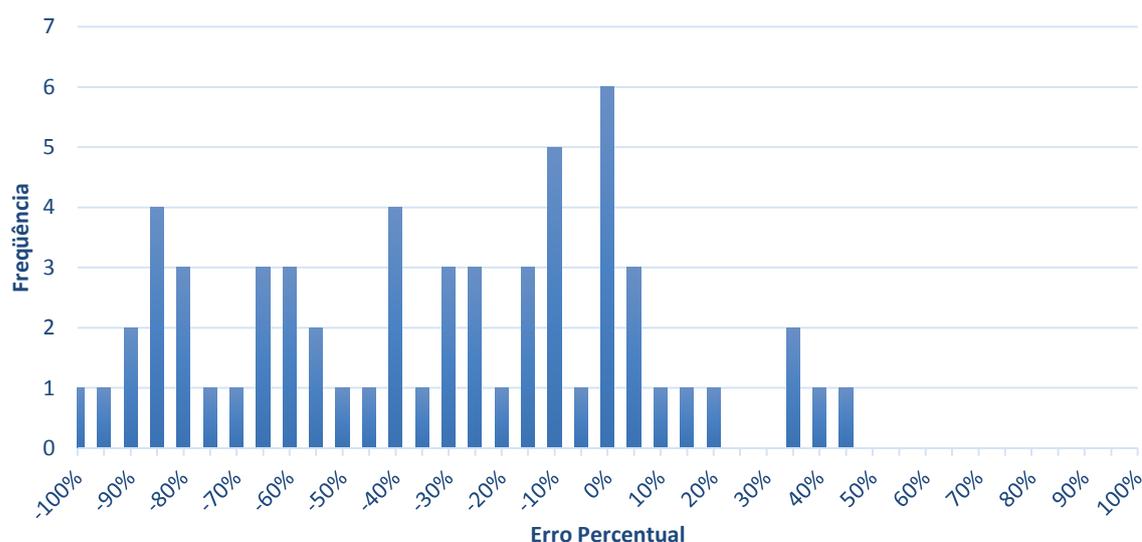
| Item | Pilares | Vigas | Lajes |
|------------------------------------|---------|--------|--------|
| Cobrimento de projeto (cm) | | 2,00 | 1,50 |
| Média dos cobrimentos medidos (cm) | | 1,47 | 0,91 |
| Desvio Padrão | | 0,6525 | 0,6402 |
| Erro Percentual | | -26,7% | -39,3% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 14, verifica-se no histograma geral das medições após a concretagem, para a Obra D, que 73,33 % ficaram abaixo do valor estipulado em

projeto. Destaca-se a variabilidade de erros percentuais encontrados e uma amostra com armadura exposta, representada no gráfico pelo erro percentual de 100% negativo. Além disso, 45,00% das ocorrências apresentam erro percentual menor que 40,00% negativo, indicando uma diminuição na espessura de cobrimento igual ou superior a 1,0 cm.

Gráfico 14 – Histograma geral dos cobrimentos após a concretagem da Obra D.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.5 Empresa E

No resumo das medições antes da concretagem da Obra E, representado pela Tabela 15, indica que os valores médios de cobrimento estavam próximo aos estipulados em projeto. Os pilares apresentaram um valor médio de erro percentual de 4,0% negativo e as vigas de 6,2% positivo. Como as verificações ocorreram no pavimento térreo, a espessura de cobrimento projetada é superior da convencional (3,0 cm), em função do contato com o solo, esse critério foi atualizado na nova versão da NBR 6118 (ABNT, 2014).

Mesmo os resultados médios apresentando um cobrimento adequado para garantia de proteção da armadura, deve-se observar também na Tabela 15, os valores de desvio padrão, pois eles apontam uma variação média das medições, constatando-se que esses elementos também possuem resultados de cobrimento ruins, com valores de espessura abaixo do projetado.

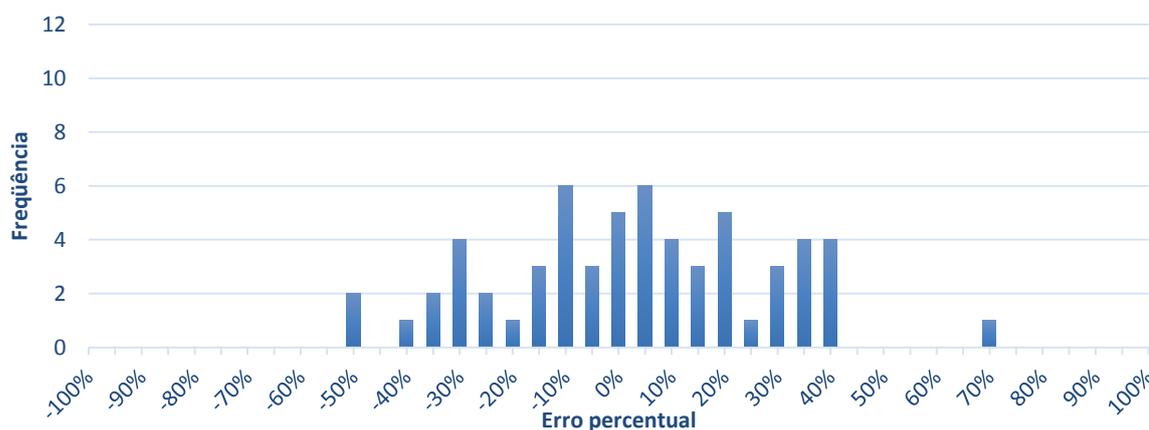
Tabela 15 – Resumo das medições antes da concretagem da Obra E.

| Item | Pilares | Vigas | Lajes |
|------------------------------------|---------|--------|-------|
| Cobrimento de projeto (cm) | 3,00 | 3,00 | |
| Média dos cobrimentos medidos (cm) | 2,88 | 3,19 | |
| Desvio padrão | 0,7199 | 0,7568 | |
| Erro percentual médio | -4,0% | 6,2% | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico 15, observa-se no histograma geral das medições antes da concretagem que 60,0% das medições ficaram acima do valor projetado, e conseqüentemente, 40,0% estão abaixo.

Gráfico 15 – Histograma geral dos cobrimentos antes da concretagem na Obra E.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No resumo das medições após a concretagem da Obra E, apresentado pela Tabela 16, observa-se que os pilares tiveram um resultado médio melhor que antes da concretagem, um aumento de 0,9 milímetros na espessura, sendo o erro percentual obtido de 0,89% negativo. Nas vigas foi encontrado um erro percentual de 9,56% negativo em relação ao valor de projeto.

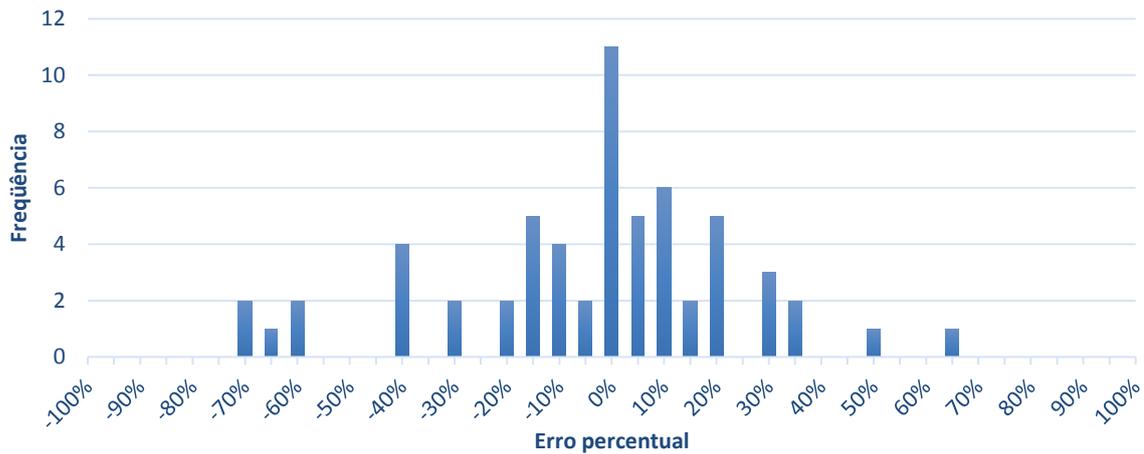
Tabela 16 – Resumo das medições após à concretagem na Obra E.

| Item | Pilares | Vigas | Lajes |
|------------------------------------|---------|--------|-------|
| Cobrimento de projeto (cm) | 3,00 | 3,00 | |
| Média dos cobrimentos medidos (cm) | 2,97 | 2,71 | |
| Desvio Padrão | 0,6405 | 0,9933 | |
| Erro Percentual | -0,89% | -9,56% | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico 16, observa-se no histograma das medições após a concretagem que 60,00% das medições apresentaram valores acima do especificado em projeto, o mesmo valor obtido antes da concretagem. Destaque para a ocorrência de 0,0% de erro percentual, que se repetiu em onze ocasiões.

Gráfico 16 – Histograma dos cobrimentos após a concretagem na obra E.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.6 Empresa F

O resumo das medições antes da concretagem na Obra F, representado pela Tabela 17, indica que os valores de cobrimento projetados tinham uma redução de 5 mm, permitido conforme NBR 6118 (ABNT, 2014) em obras com elevado controle de qualidade e rígidos limites da variabilidade. Ainda assim os elementos estruturais observados apresentaram valores abaixo do especificado em projeto, com erros percentuais médios de 11,2% negativo para pilares e 36,2% negativo para as vigas. Apesar dos pilares apresentarem um erro percentual menor destaca-se o alto desvio padrão, caracterizando uma dispersão nos valores medidos.

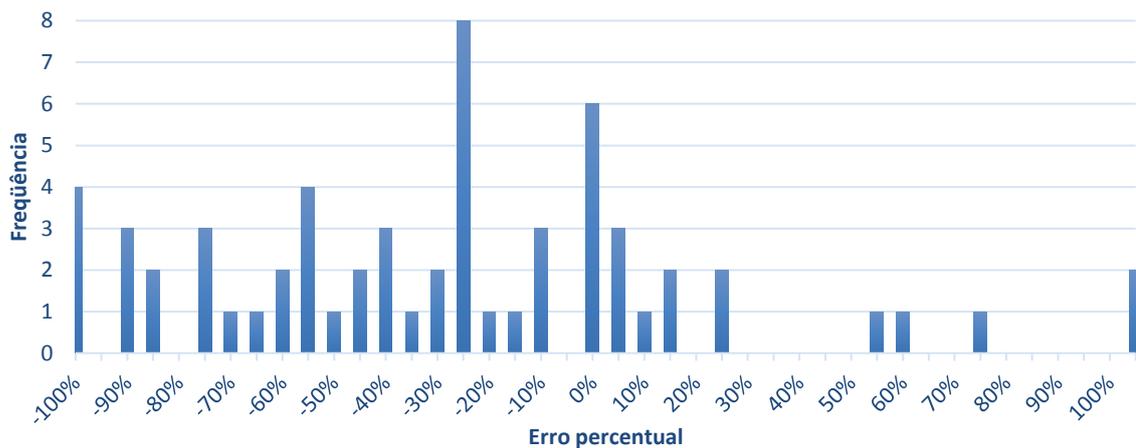
Tabela 17 – Resumo das medições antes da concretagem da Obra F.

| Item | Pilares | Vigas | Lajes |
|------------------------------------|---------|--------|-------|
| Cobrimento de projeto (cm) | 2,00 | 2,00 | |
| Média dos cobrimentos medidos (cm) | 1,78 | 1,28 | |
| Desvio Padrão | 1,3356 | 0,7162 | |
| Erro Percentual médio | -11,2% | -36,2% | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico 17, observa-se no histograma das medições antes da concretagem que 70,0% das medições apresentaram espessura de cobertura abaixo do especificado em projeto e, conseqüentemente, 30,0% estão acima. Destaque para amplitude das verificações em 300,0%, variando de 100,0% negativo até 200,0% positivo.

Gráfico 17 – Histograma geral dos cobrimentos antes da concretagem na obra F.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O resumo das medições após a concretagem na Obra F, representado pela Tabela 18, mantém o alto erro percentual já detectado antes da concretagem. Os pilares apresentam um erro médio de 25,2% negativo e as vigas de 38,8% negativo em relação ao projetado.

Tabela 18 – Resumo das medições após à concretagem da Obra F.

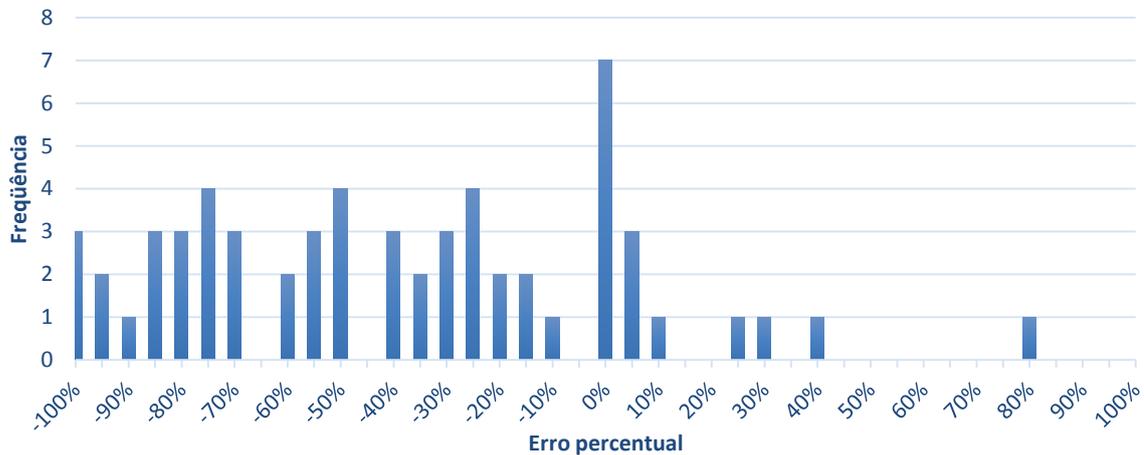
| Item | Pilares | Vigas | Lajes |
|------------------------------------|---------|--------|-------|
| Cobrimento de projeto (cm) | 2,00 | 2,00 | |
| Média dos cobrimentos medidos (cm) | 1,50 | 1,22 | |
| Desvio Padrão | 0,9796 | 0,6755 | |
| Erro Percentual | -25,2% | -38,8% | |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 18, observa-se no histograma das medições após a concretagem que 75,0% das medições apresentaram espessura de cobertura abaixo do especificado em projeto. Destaque para a frequência 31,7% encontrada com erros percentuais menores que 70,0% negativo, sendo três ocorrências de armadura

exposta, representadas no gráfico por erro percentual de menos 100,0%. Verifica-se a diminuição na amplitude do gráfico e conseqüentemente a redução do desvio padrão, conforme indicado na Tabela 16.

Gráfico 18 – Histograma geral dos cobrimentos após a concretagem da Obra F.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1.7 Empresa G

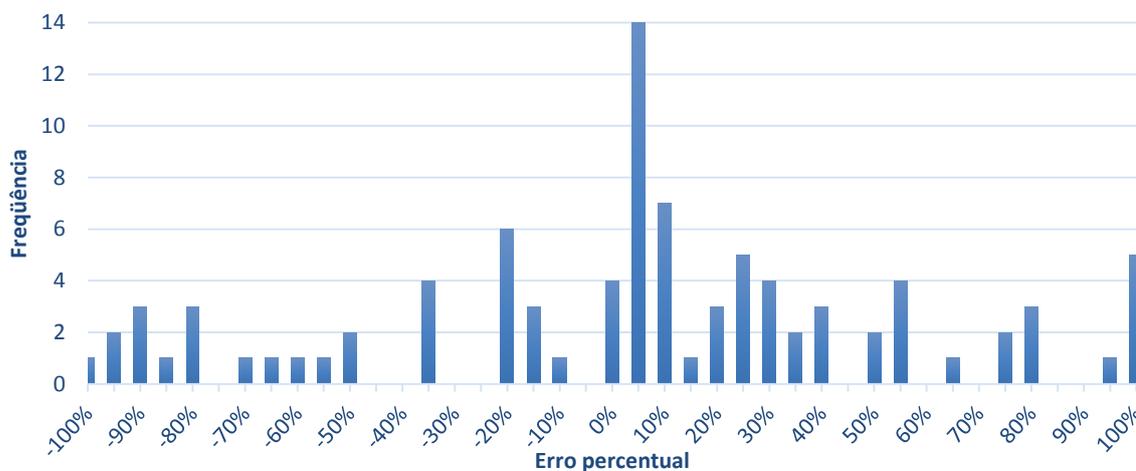
O resumo das medições antes da concretagem na Obra G, representado pela Tabela 19, verifica-se que os valores de cobrimento projetados tinham uma redução de 5 mm, permitido conforme NBR 6118 (ABNT, 2014) em obras com elevado controle de qualidade e rígidos limites da variabilidade. Porém as medições de vigas e lajes apresentaram valores médios abaixo do estipulado em projeto, com erros percentuais de 3,7% negativo e 6,1% negativo respectivamente. Observa-se o alto resultado para o desvio padrão dos pilares, indicando uma grande dispersão dos resultados obtidos para esse elemento estrutural.

Tabela 19 – Resumo das medições antes da concretagem da Obra G.

| Item | Pilares | Vigas | Lajes |
|------------------------------------|---------|--------|--------|
| Cobrimento de projeto (cm) | 2,00 | 2,00 | 1,50 |
| Média dos cobrimentos medidos (cm) | 2,48 | 1,93 | 1,41 |
| Desvio Padrão | 1,0611 | 0,7310 | 0,8927 |
| Erro Percentual | 24,1% | -3,7% | -6,1% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 19 – Histograma geral dos cobrimentos antes da concretagem na Obra G.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 19, observa-se no histograma das medições antes da concretagem que 33,3% apresentaram espessura de cobertura abaixo do projetado. Destaca-se a variabilidade de medições apresentadas no gráfico, de 100% negativo à 130,0% positivo. Mesmo com 66,7% dos resultados estando com espessura de cobertura adequado, as médias de 2 elementos ficaram negativos, caracterizado medições com erro percentual negativo elevado.

O resumo das medições após a concretagem da Obra G, conforme Tabela 20, indicam uma grande variabilidade das amostras observadas em pilares e vigas, explicito pelo alto valor de desvio padrão. Observa-se um aumento na média das espessuras de cobertura das vigas após a concretagem, em 1,2 milímetros. Isso se justifica pois durante a concretagem as armaduras vinham sendo ajustadas conforme percepção do funcionário. Nos pilares também aumentou o valor médio do cobertura, provavelmente, uma variação encontrada devido a diferença de posição das medições, sendo antes da concretagem feita na parte superior do pilar e após concretagem no meio do elemento.

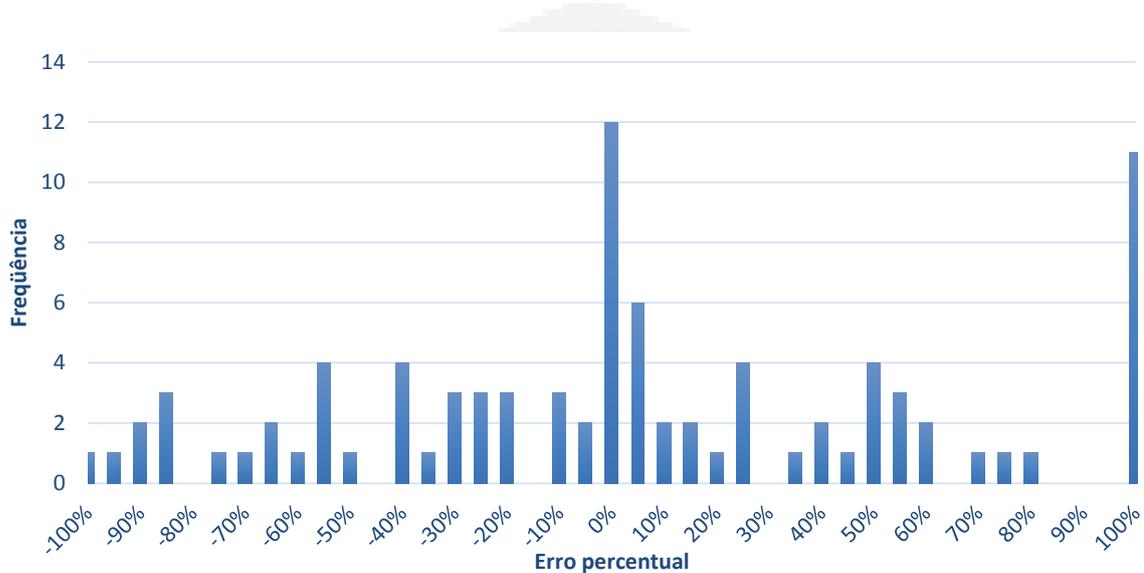
Tabela 20 – Resumo das medições após à concretagem da Obra G.

| Item | Pilares | Vigas | Lajes |
|------------------------------------|---------|--------|--------|
| Cobertura de projeto (cm) | 2,00 | 2,00 | 1,50 |
| Média dos cobrimentos medidos (cm) | 2,63 | 2,05 | 1,36 |
| Desvio Padrão | 1,5614 | 1,0075 | 0,7228 |
| Erro Percentual | 31,3% | 2,5% | -9,3% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 20, observa-se no histograma das medições após a concretagem que 40,0% das amostras apresentaram espessura de cobertura abaixo do especificado em projeto. A maior frequência de erro percentual observadas foi de 0,0%, com 12 amostras, sendo esse o valor projetado. Também foi observado um elemento com armadura exposta, representado no gráfico pelo erro percentual de 100,0% negativo.

Gráfico 20 – Histograma geral dos cobrimentos após a concretagem da Obra G.

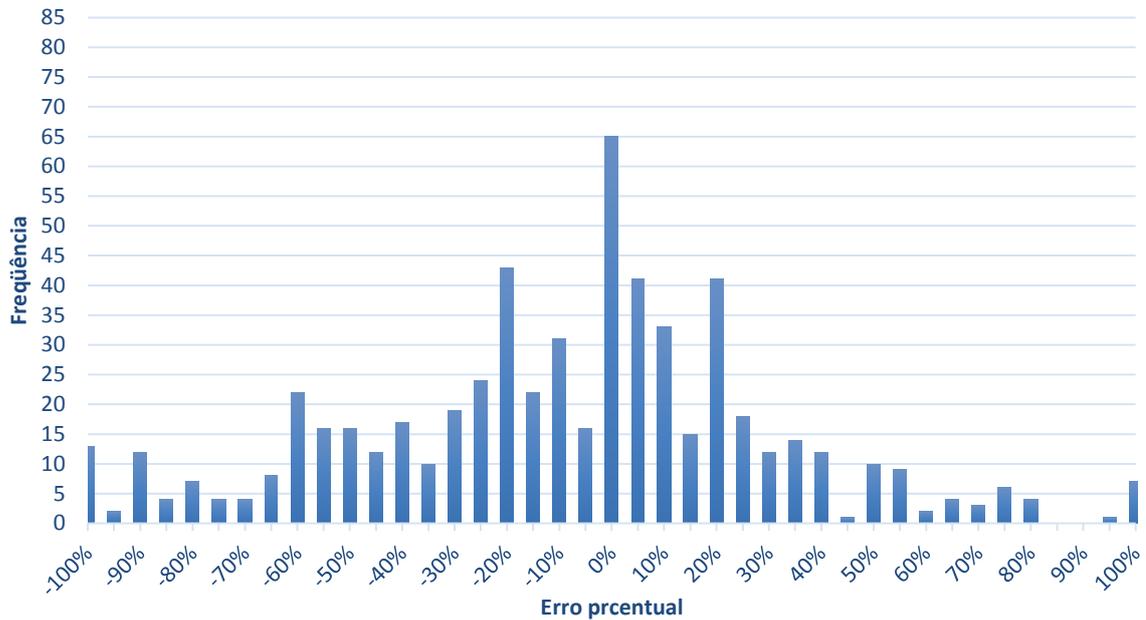


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 Resultado geral das amostras

No Gráfico 21, é demonstrado o histograma com a distribuição das frequências dos erros percentuais dos cobrimentos, para medições antes da concretagem em todas as obras. Observou-se que 50,3% estavam com uma espessura de cobertura menor que o especificado em projeto.

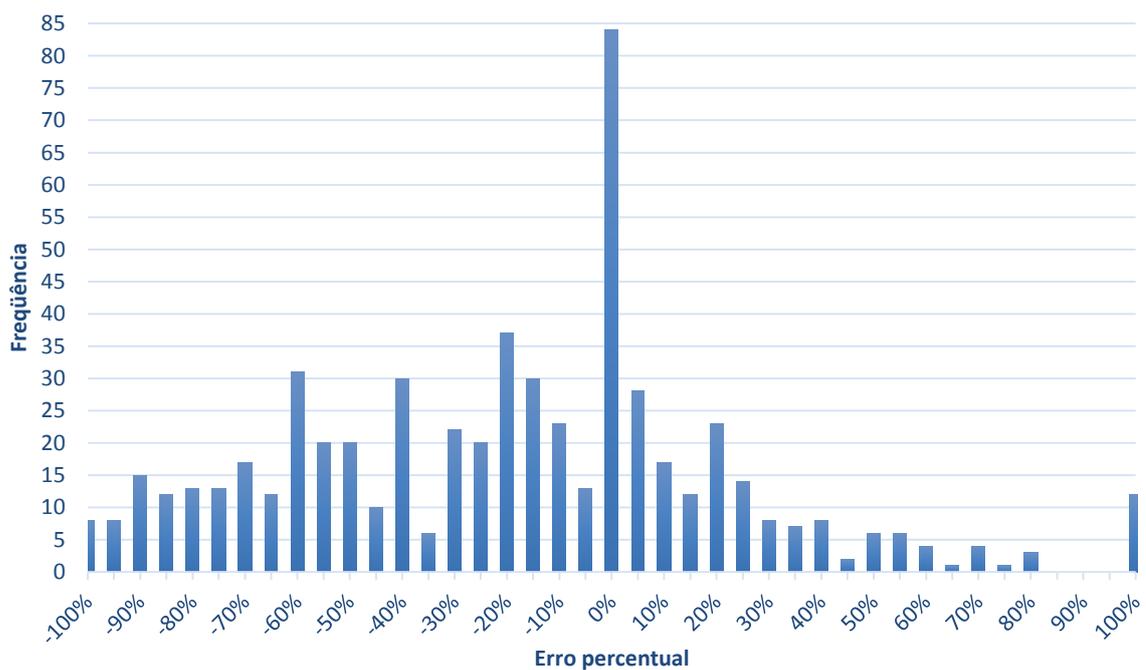
Gráfico 21 – Histograma geral das medições antes da concretagem.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 22, é apresentado o histograma com a distribuição das frequências dos erros percentuais para os cobrimentos medidos após a concretagem em todas as obras. Constatou-se que 60,0% das medições ficaram com uma espessura de cobertura menor que o especificado em projeto.

Gráfico 22 – Histograma geral das medições após à concretagem.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 21, é apresentado um resumo das frequências observadas nos histogramas acima (Gráficos 21 e 22), separando-as quanto maior e menor que o valor de cobertura especificado em projeto (representado por erro percentual igual a zero). Observa-se um aumento de 10,0% nas amostras com erro percentual negativo após a concretagem, resultado da utilização dos espaçadores de forma incorreta, ou não utilização, desta maneira não propiciaram o travamento adequado a armadura, e conseqüentemente permitiram o seu deslocamento durante a concretagem.

Tabela 21 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral.

| Cobertura de armadura | Antes da concretagem | | Depois da concretagem | |
|-----------------------|----------------------|--------|-----------------------|--------|
| | Frequência | % | Frequência | % |
| < que o projetado | 302 | 50,33% | 360 | 60,00% |
| ≥ que o projetado | 298 | 49,67% | 240 | 40,00% |
| Total | 600 | 100% | 600 | 100% |

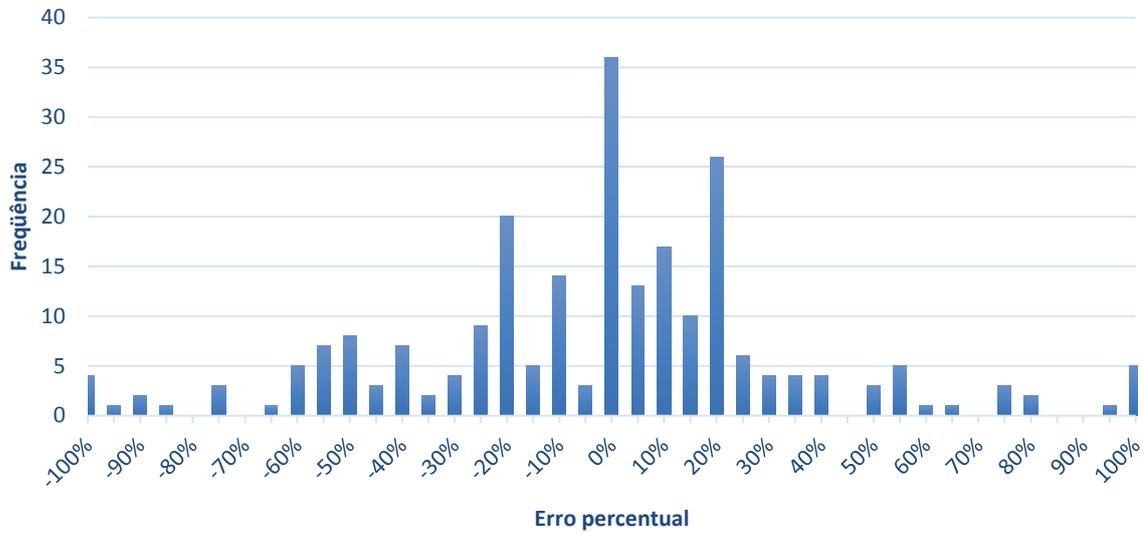
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 Resultados para cada elemento estrutural

Nessa análise as amostras foram divididas por elemento estrutural, sendo obtidos resultados isolados para as medições em pilares, vigas e lajes.

Os dados obtidos antes da concretagem de todas os pilares, são apresentados no Gráfico 23, através de histograma com a distribuição das frequências dos erros percentuais dos cobrimentos. Constatou-se que 41,25% das medições ficaram com uma espessura de cobertura menor que o especificado em projeto. Destaque para a amplitude dos erros percentuais identificados variando em 300%, de 100% negativo a 200% positivo.

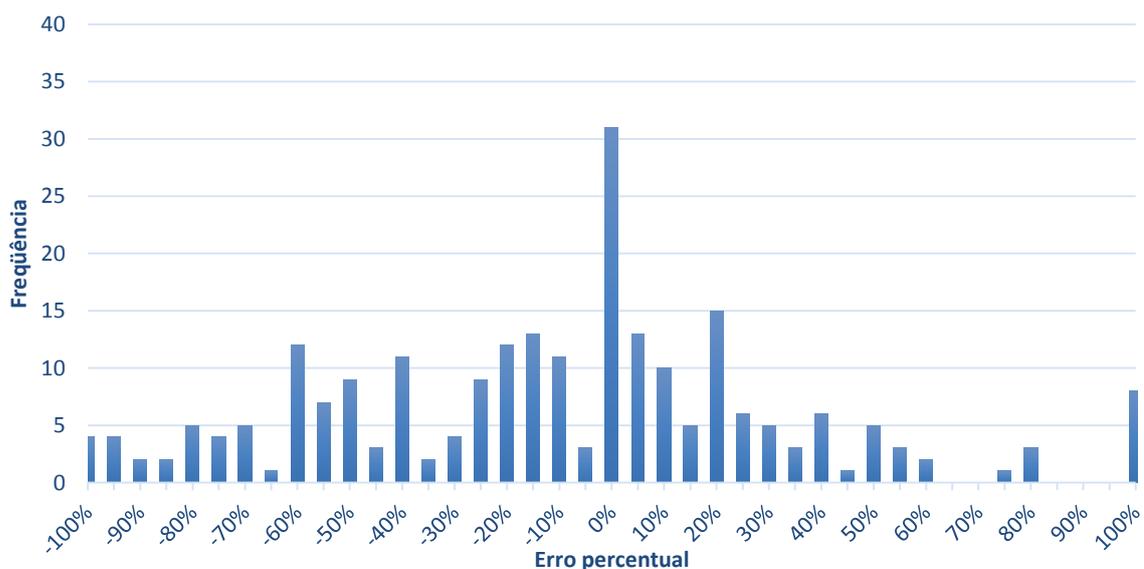
Gráfico 23 – Histograma geral das medições de pilares antes da concretagem.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 24, é apresentado o histograma com a distribuição das frequências dos erros percentuais de cobrimento, para todos os pilares medidos após a concretagem. Identificou-se que 51,25% das medições ficaram com espessura de cobrimento menor que o especificado em projeto, aumento de 10% em relação ao observado antes da concretagem.

Gráfico 24 – Histograma geral das medições de pilares após à concretagem.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 22, é apresentado um resumo das frequências observadas nos histogramas acima (Gráficos 23 e 24), separando-as quanto maior e menor que o valor de cobertura especificado em projeto (representado por erro percentual igual a zero).

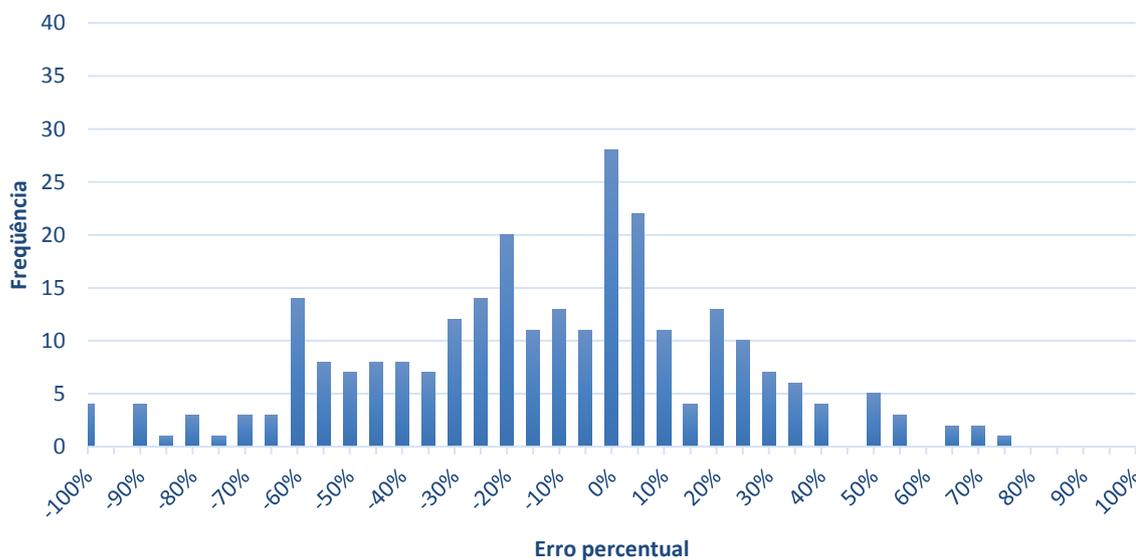
Tabela 22 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral de todos os pilares.

| Cobrimento de armadura | Antes da concretagem | | Depois da concretagem | |
|------------------------|----------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| | Frequência | % | Frequência | % |
| < que o projetado | 99 | 41,25% | 123 | 51,25% |
| ≥ que o projetado | 141 | 58,75% | 117 | 48,75% |
| Total | 240 | 100% | 240 | 100% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para as medições realizadas antes da concretagem em todas as vigas, é demonstrado no Gráfico 25, o histograma com a distribuição das frequências dos erros percentuais dos cobrimentos. Constatou-se que 56,30% das medições ficaram com uma espessura de cobertura menor que o especificado em projeto.

Gráfico 25 – Histograma geral das medições das vigas antes à concretagem.

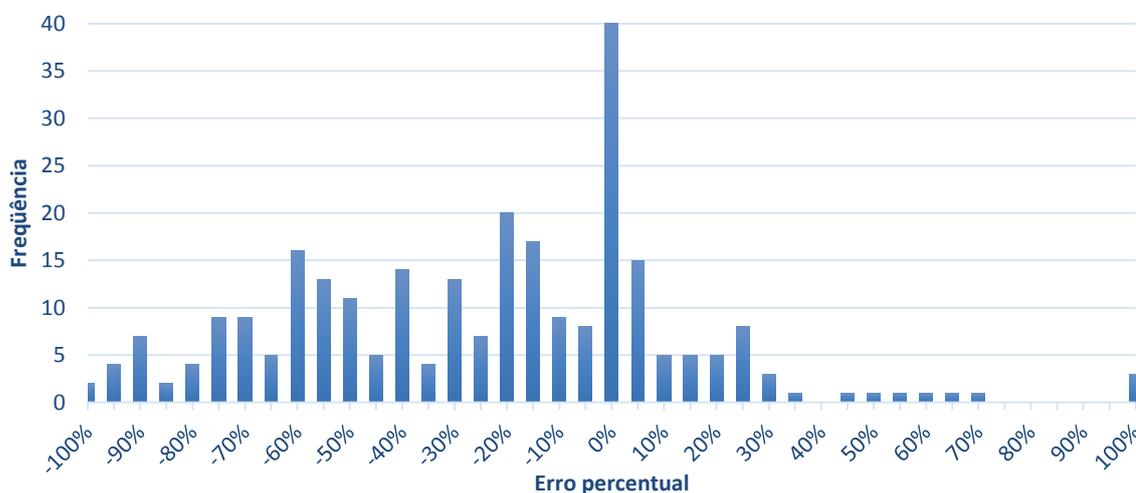


Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 26, é apresentado o histograma com a distribuição das frequências dos erros percentuais dos cobrimentos, para as medições após a concretagem de todas as vigas. Observou-se que 66,3% das amostras ficaram com uma espessura de

concreto menor que o especificado em projeto, aumento de 10,0% em relação ao identificado antes da concretagem.

Gráfico 26 – Histograma geral das medições das vigas após à concretagem.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 23, é apresentado um resumo das frequências observadas nos histogramas acima (Gráficos 25 e 26), separando-as quanto maior e menor que o valor de cobrimento especificado em projeto (representado por erro percentual igual a zero).

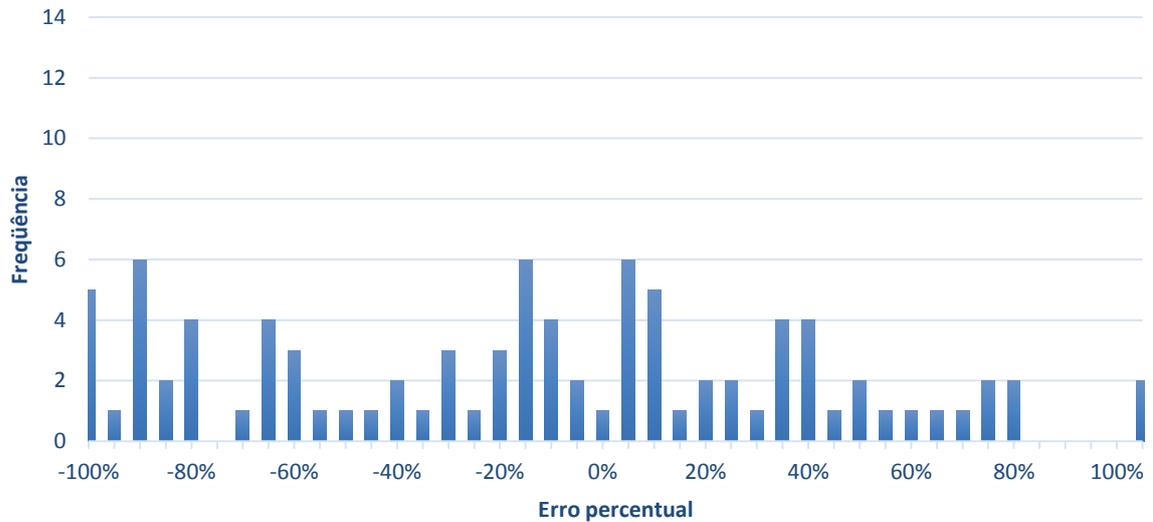
Tabela 23 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral de todas as vigas.

| Cobrimento de armadura | Antes da concretagem | | Depois da concretagem | |
|------------------------|----------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| | (Frequência) | (%) | (Frequência) | (%) |
| < que o projetado | 152 | 56,30% | 179 | 66,30% |
| ≥ que o projetado | 118 | 43,70% | 91 | 33,70% |
| Total | 270 | 100% | 270 | 100% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados obtidos antes da concretagem de todas as lajes, são apresentados no Gráfico 27, através de histograma com a distribuição das frequências dos erros percentuais dos cobrimentos. Nota-se que 56,67% das medições ficaram com uma espessura de cobrimento menor que o especificado em projeto. Destaque para a baixa frequência de erro percentual nulo, indicando uma dificuldade para obtenção do valor projetado; e também, para a alta frequência de 100% negativo de erro percentual, indicação de armadura encostada na fôrma.

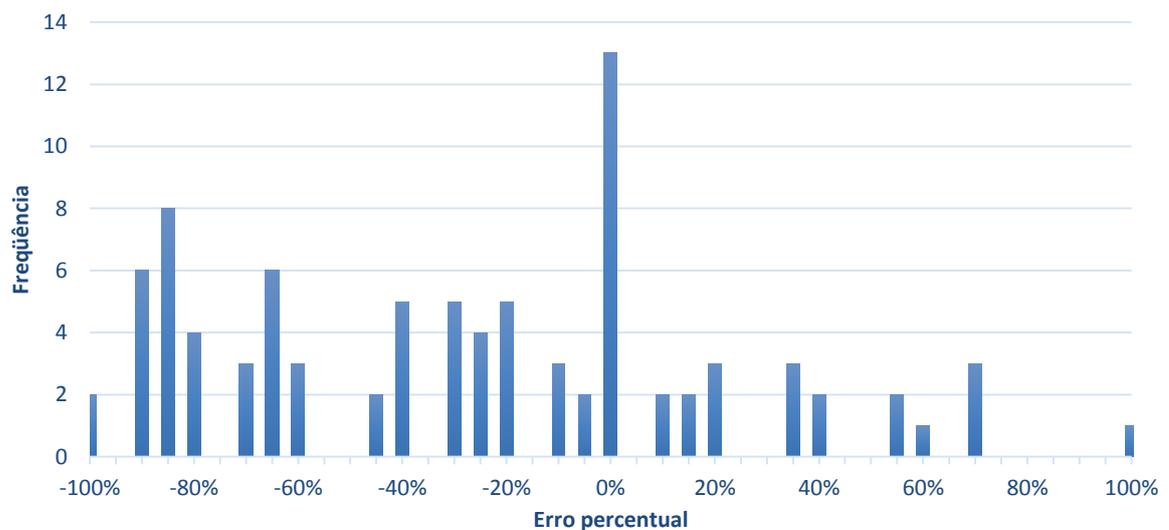
Gráfico 27 – Histograma geral das medições das lajes antes à concretagem.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 28, é apresentado o histograma com a distribuição das frequências dos erros percentuais dos cobrimentos, para as medições após a concretagem de todas as Lajes. Observou-se que 64,44% das medições ficaram com uma espessura de cobertura menor que o especificado em projeto. Também, das amostras que apresentaram erro percentual positivo a média diminuiu de 2,55 cm para 1,81 cm; diferença de 0,74 cm a menor.

Gráfico 28 – Histograma geral das medições das lajes após à concretagem.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 24, é apresentado um resumo das frequências observadas nos histogramas acima (Gráficos 27 e 28), separando-as quanto maior e menor que o valor de cobrimento especificado em projeto (representado por erro percentual igual a zero).

Tabela 24 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral de todas as lajes.

| Cobrimento de armadura | Antes da concretagem | | Depois da concretagem | |
|------------------------|----------------------|--------|-----------------------|--------|
| | (Frequência) | (%) | (Frequência) | (%) |
| < que o projetado | 51 | 56,67% | 58 | 64,44% |
| ≥ que o projetado | 39 | 43,33% | 32 | 35,56% |
| Total | 90 | 100% | 90 | 100% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando isoladamente cada elemento estrutural, verificou-se dentre as obras observadas, que os pilares apresentaram a menor quantidade de medições com cobrimento inadequado, ou seja, menor que o projetado. Para todos os elementos, após a concretagem, observou-se aumento na frequência para espessuras abaixo do especificado no projeto.

4.4 Resultado quanto ao nível de controle na obra

A metodologia para estabelecer o nível de controle das obras foi baseada no trabalho de conclusão de curso de Silva (2012), onde a obra é classificada como ruim, boa ou excelente. O procedimento adotado neste trabalho está relatado no item 3.3. Metodologia. O Quadro 8, apresenta os resultados dos parâmetros que estabelecem o nível de controle da obra.

Conforme índice estabelecido na metodologia e com base nos resultados apresentados no Quadro 8, classifica-se as obras B1, B2 e F, em nível de controle ruim, as empresas A, C1, C2, C3, D e G em controle bom e a obra E como excelente.

Quadro 8 – Resultados obtidos para os critérios que determinam o nível de controle da obra.

| Obra | Presença de Engenheiro civil responsável | Organização do canteiro de obra | Condições de limpeza dos pavimentos medidos | Utilização de EPI's | Metodologia na disposição de espaçadores | Check list ou padronização ou controle no momento da concretagem | Somatório de itens constatados |
|------|------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| A | Não | Sim | Sim | Sim | Não | Sim | 4 |
| B1 | Não | Não | Sim | Não | Não | Não | 1 |
| B2 | Não | Não | Sim | Sim | Não | Não | 2 |
| C1 | Não | Sim | Sim | Sim | Não | Não | 3 |
| C2 | Não | Sim | Sim | Sim | Não | Não | 3 |
| C3 | Não | Sim | Sim | Sim | Não | Não | 3 |
| D | Sim | Não | Sim | Sim | Não | Sim | 4 |
| E | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | 6 |
| F | Não | Não | Sim | Não | Não | Sim | 2 |
| G | Sim | Sim | Sim | Não | Não | Sim | 4 |

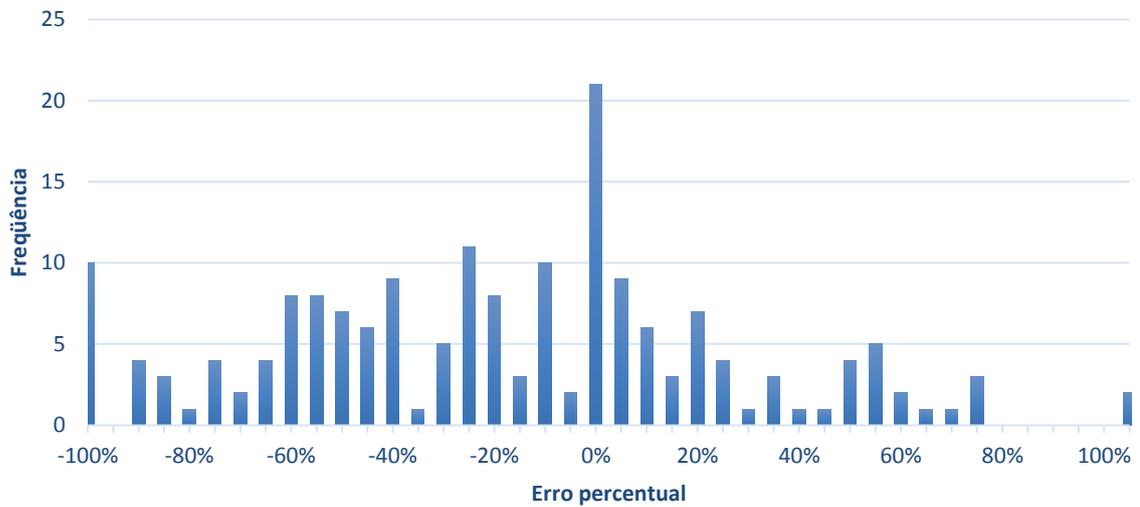
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.1 Nível de controle Ruim

São classificadas com nível de controle ruim as obras cujo o somatório dos critérios constatados é menor ou igual a 2. Das amostras analisadas as obras B1, B2 e F foram classificadas com esse nível de controle.

Para as medições antes da concretagem nas obras classificados com nível de qualidade ruim, é demonstrado no Gráfico 29 o histograma com a distribuição das frequências dos erros percentuais para os cobrimentos. Notou-se que 58,89% das medições ficaram com uma espessura de cobrimento menor que o especificado em projeto. Observa-se que 10 amostras apresentaram erro percentual igual à 100% negativo, a qual indica armadura encostada na forma, e uma amostra apresentou erro percentual de 200% positivo. Essa amplitude representada no gráfico é indicativo da falta de controle nas obras.

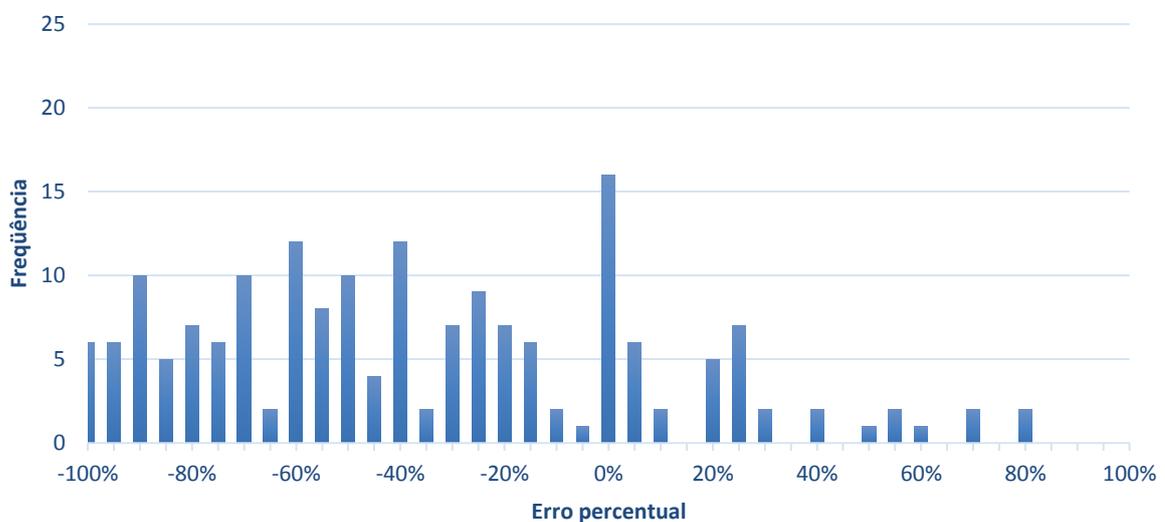
Gráfico 29 – Histograma geral das medições antes da concretagem de obras classificadas com nível de controle ruim.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 30, é demonstrado o histograma com a distribuição das frequências dos erros percentuais dos cobrimentos, para medições após a concretagem nas obras classificadas com nível de qualidade ruim. Observou-se que 73,33% das medições ficaram com uma espessura de cobrimento menor que o especificado em projeto. Também é notório o aumento da frequência dos erros percentuais menores que 40% negativo.

Figura 30 – Histograma geral das medições após a concretagem de obras classificadas com nível de controle ruim.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 25, é apresentado um resumo das frequências observadas nos histogramas acima (Gráficos 29 e 30), separando-as quanto maior e menor que o valor de cobertura especificado em projeto (representado por erro percentual igual a zero). Observa-se um aumento de 14,4% de medições com espessura de cobertura inferior ao projetado após a concretagem.

Tabela 25 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral das obras com nível de controle ruim.

| Cobrimento de armadura | Antes da concretagem | | Depois da concretagem | |
|-------------------------------|-----------------------------|-------------|------------------------------|-------------|
| | (Frequência) | (%) | (Frequência) | (%) |
| < que o projetado | 106 | 58,89% | 132 | 73,33% |
| ≥ que o projetado | 74 | 41,11% | 48 | 26,67% |
| Total | 180 | 100% | 180 | 100% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.2 Nível de controle Bom

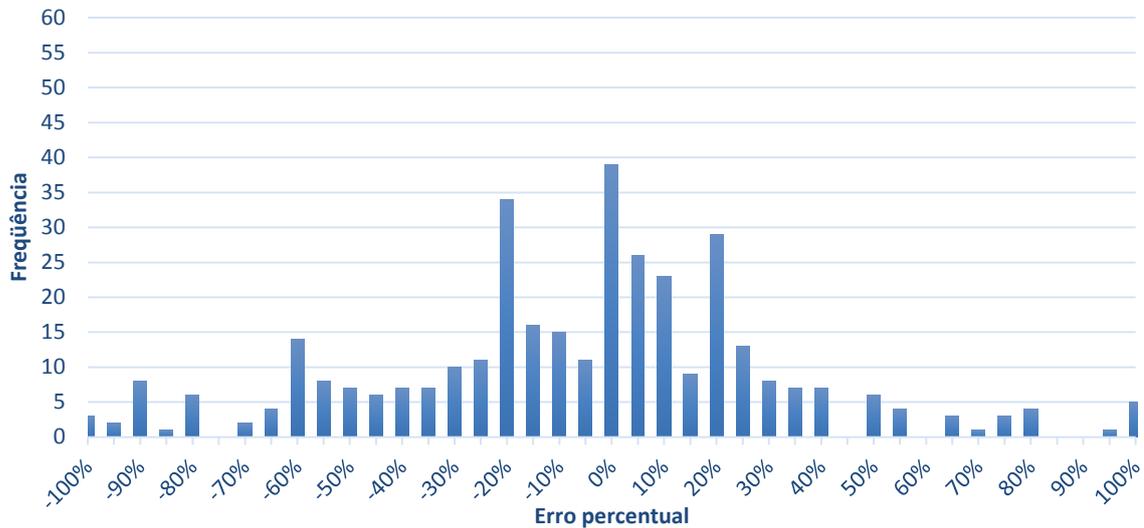
São classificadas com nível de controle bom as obras cujo o somatório dos critérios constatados é maior que 2 e menor igual a 4. Das amostras analisadas, as obras A, C1, C2, C3, D e G foram classificadas com esse nível de controle.

No Gráfico 31, é demonstrado o histograma com a distribuição das frequências dos erros percentuais dos cobrimentos, para medições antes da concretagem nas obras classificadas com bom nível de controle. Observou-se que 47,78% das medições ficaram com uma espessura de cobertura menor que o especificado em projeto. E que 50,00% das frequências encontram-se no intervalo de 20% negativo a 20% positivo de erro percentual.

No Gráfico 32, é demonstrado o histograma com a distribuição das frequências dos erros percentuais dos cobrimentos, para medições após a concretagem nas obras classificadas com bom nível de controle. Observou-se que 56,67% das medições ficaram com uma espessura de cobertura menor que o especificado em projeto. Nota-se um deslocamento do maior bloco de frequências, indo de 20% negativo a 20% positivo dos erros percentuais para 0% à 40% negativo, demonstrando um

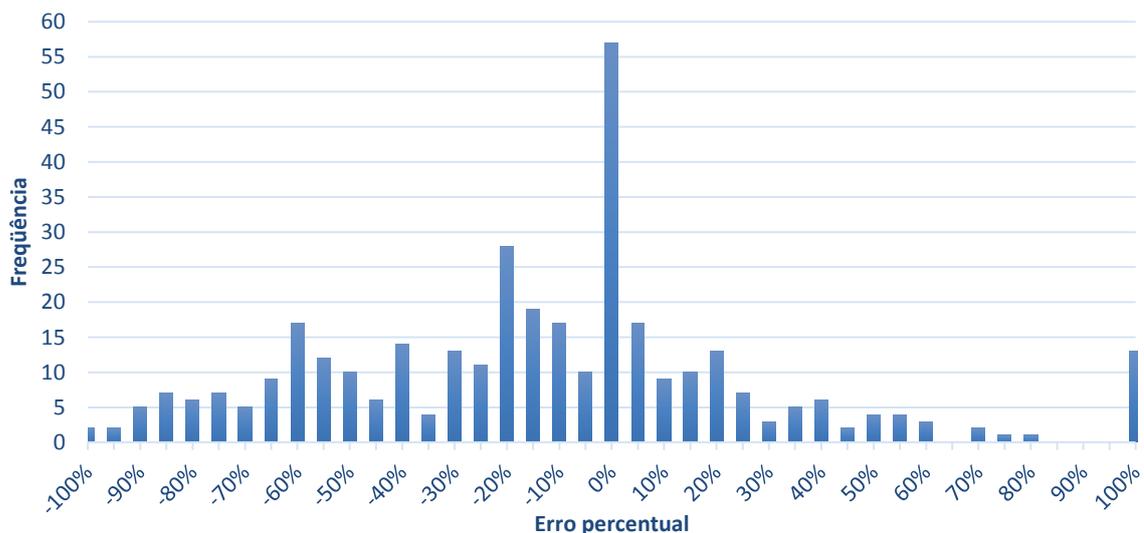
deslocamento da armadura em direção a face. Apesar das obras apresentarem um nível de controle bom, na metade delas não foram utilizados espaçadores.

Gráfico 31 – Histograma geral das medições antes da concretagem de obras classificadas com nível de controle bom.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 32 – Histograma geral das medições após a concretagem de obras classificadas com nível de controle bom.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 26, é apresentado um resumo das frequências observadas nos histogramas acima (Gráficos 31 e 32), separando-as quanto maior e menor que o valor de cobertura especificado em projeto (representado por erro percentual igual a zero).

Observa-se um aumento de 8,89% de medições com espessura de cobrimento inferior ao projetado após a concretagem.

Tabela 26 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral das obras com nível de controle bom.

| Cobrimento de armadura | Antes da concretagem | | Depois da concretagem | |
|------------------------|----------------------|--------|-----------------------|--------|
| | (Frequência) | (%) | (Frequência) | (%) |
| < que o projetado | 172 | 47,78% | 204 | 56,67% |
| ≥ que o projetado | 188 | 52,22% | 156 | 43,33% |
| Total | 360 | 100% | 360 | 100% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4.2 Nível de controle Excelente

Foram classificadas com nível de controle Excelente as obras cujo o somatório dos critérios constatados é maior que 4. Das amostras analisadas apenas a Obra E atingiu essa especificação. Desta forma os resultados para o nível de controle excelente são representados pelo resultado individual dessa obra.

Na Tabela 27, é apresentado um resumo das frequências observadas nos histogramas da Obra E, separando-as quanto maior e menor que o valor de cobrimento especificado em projeto (representado por erro percentual igual a zero). Observa-se que mesmo havendo uma oscilação nas espessuras de cobrimento, entre antes e após a concretagem, que a quantidade de medições inadequadas se manteve em 40,0%.

Tabela 27 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral das obras com nível de controle excelente.

| Cobrimento de armadura | Antes da concretagem | | Depois da concretagem | |
|------------------------|----------------------|--------|-----------------------|--------|
| | (Frequência) | (%) | (Frequência) | (%) |
| < que o projetado | 24 | 40,00% | 24 | 40,00% |
| ≥ que o projetado | 36 | 60,00% | 36 | 60,00% |
| Total | 60 | 100% | 60 | 100% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 Resultados quanto a utilização de espaçadores

Devido à falta de um manual para utilização ou normatização dos espaçadores, objetiva-se nesse item da pesquisa avaliar seu desempenho, comparando os resultados obtidos antes e após a concretagem, para os elementos onde foram utilizados esses dispositivos. E da mesma forma comparar com os elementos onde não foram utilizados.

Para obtenção desses resultados as medições foram separadas em função da utilização ou não do espaçador, independentemente da obra, pois em alguns casos foram utilizados espaçadores em apenas determinado elemento estrutural. O Quadro 9, apresenta um resumo das estruturas que receberam esse dispositivo.

Quadro 9 – Elementos estruturais que foram utilizados espaçadores.

| Obra | Elemento estrutural | | |
|------|---------------------|------|------|
| | Pilar | Viga | Laje |
| A | Sim | Não | |
| B1 | Não | Não | Não |
| B2 | Não | | |
| C1 | Não | Sim | |
| C2 | | Não | |
| C3 | Sim | Sim | |
| D | | Sim | Sim |
| E | Sim | Sim | |
| F | Não | Não | |
| G | Não | Não | Não |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No quadro 10, é apresentado o tipo de espaçador utilizado para cada elemento estrutural, sendo que apenas foram considerados os modelos plásticos industrializados. As medições das vigas na obra C1, foram consideradas como elemento sem espaçador, pois eles foram utilizados no fundo da viga e as medições eram realizadas apenas nas laterais desses elementos (APENDICE B). Na obra C3 foram utilizados espaçadores do modelo centopeia para a lateral das formas de pilares e vigas, conforme imagem do Apêndice C, sendo que esse espaçador é recomendado para o fundo das formas pois ele precisa estar apoiado, assim para sua utilização os mesmos eram amarrados a armadura com arame, sendo nas vigas, além dos

amarrados, alguns eram posicionados durante a concretagem conforme proximidade da armadura na forma. Na obra D, para as vigas, foram utilizados espaçadores para espessura de 15mm, sendo que o recomendado em projeto era 20 mm (APÊNDICE D).

Quadro 10 – Apresentação dos espaçadores utilizados.

| Obra | Elemento estrutural | | |
|------|---------------------|--------------------|-------------------|
| | Pilar | Viga | Laje |
| A | Circular (2,5 cm) | Sem | |
| B1 | Sem | Sem | Sem |
| B2 | Sem | | |
| C1 | Sem | Centopéia (2,5 cm) | |
| C2 | | Sem | |
| C3 | Centopéia (2,5 cm) | Centopéia (2,5 cm) | |
| D | | Circular (1,5 cm) | Circular (1,5 cm) |
| E | Circular (3,0cm) | Circular (3,0 cm) | |
| F | Sem | Sem | |
| G | Sem | Sem | Sem |

Legenda:

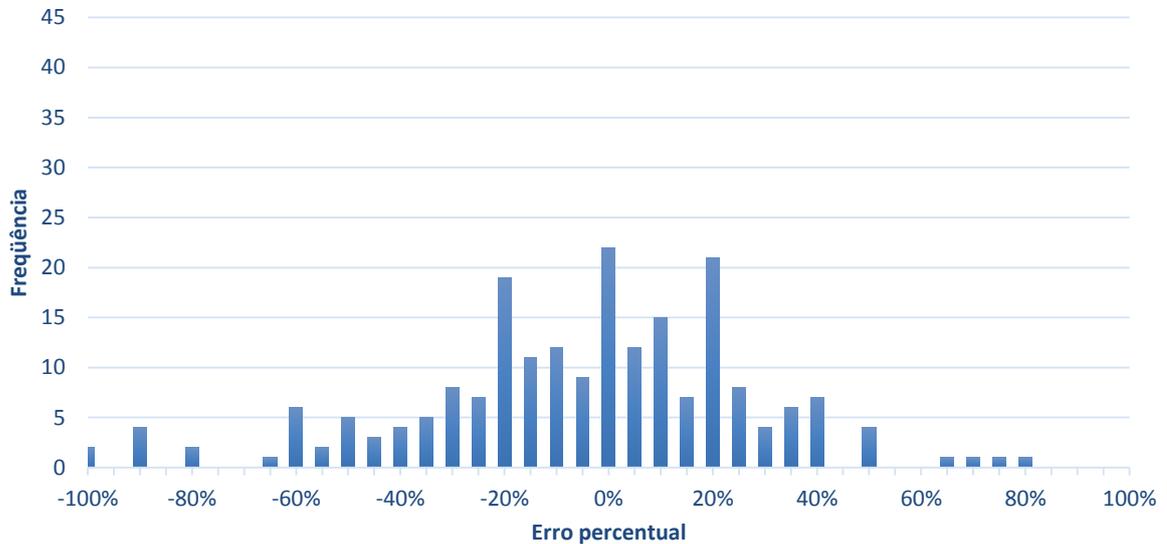
| | |
|-----|------------------------|
| | Elemento não medido |
| Sem | Executao sem espaçador |

Fonte: Elaborado pelo autor.

As medições antes da concretagem de todos os elementos estruturais que foram utilizados espaçadores, são demonstrados no histograma do Gráfico 33, com a distribuição das frequências dos erros percentuais dos cobrimentos. Constatou-se que 47,61% das medições ficaram com uma espessura de cobrimento menor que o especificado em projeto.

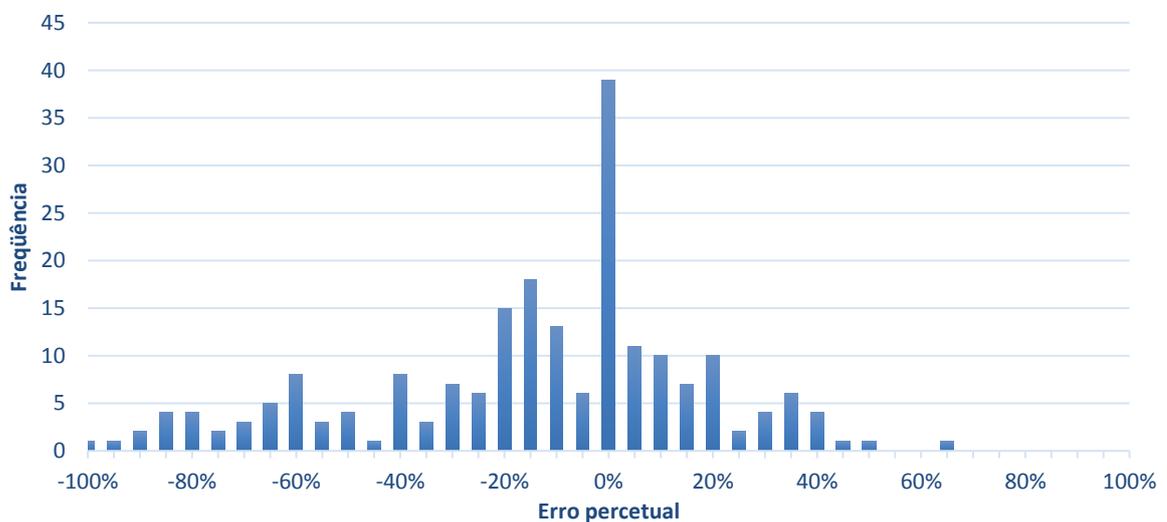
No Gráfico 34, é apresentado o histograma com a distribuição das frequências dos erros percentuais referentes aos cobrimentos, para as medições após a concretagem de todos os elementos estruturais onde foram utilizados espaçadores plásticos. Observou-se que 54,28% das medições ficaram com uma espessura de cobrimento menor que o especificado em projeto.

Gráfico 33 – Histograma geral das medições antes da concretagem para elementos estruturais com a utilização de espaçadores.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 34 – Histograma geral das medições após a concretagem para elementos estruturais com a utilização de espaçadores.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 28, é apresentado um resumo das frequências observadas nos histogramas acima (Gráficos 33 e 34), separando-as quanto maior e menor que o valor de cobrimento especificado em projeto (representado por erro percentual igual a zero). Observa-se um aumento de 6,67% de medições com espessura de cobrimento inferior à projetada após concretagem.

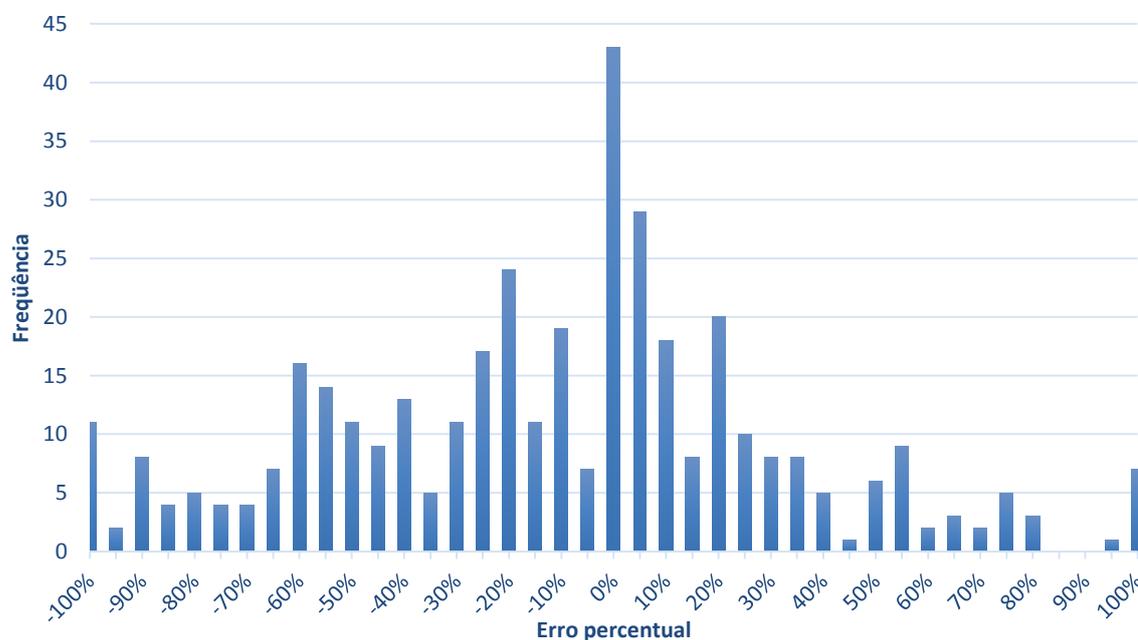
Tabela 28 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral das obras com utilização de espaçadores.

| Cobrimento de armadura | Antes da concretagem | | Depois da concretagem | |
|------------------------|----------------------|--------|-----------------------|--------|
| | (Frequência) | (%) | (Frequência) | (%) |
| < que o projetado | 100 | 47,62% | 114 | 54,29% |
| ≥ que o projetado | 110 | 52,38% | 96 | 45,71% |
| Total | 210 | 100% | 210 | 100% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Está representado no Gráfico 35, o histograma de distribuição de frequências de erros percentuais para os cobrimentos, antes da concretagem, de todas as medições dos elementos estruturais onde não foram utilizados espaçadores. Constatou-se que 51,79% das medições ficaram com uma espessura de cobertura menor que o especificado em projeto.

Gráfico 35 – Histograma geral das medições antes da concretagem para elementos estruturais sem a utilização de espaçadores.

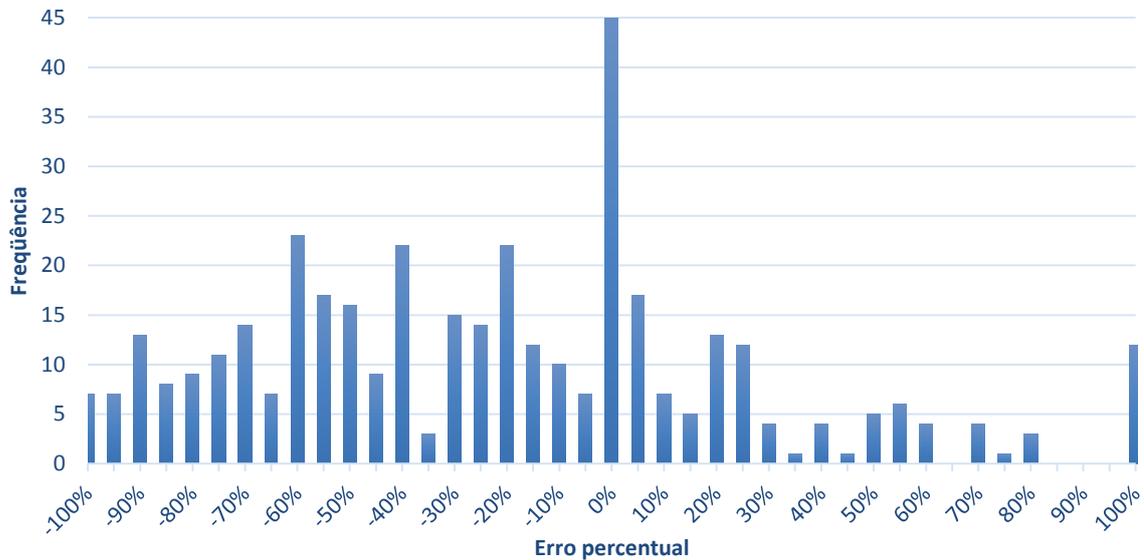


Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 36, é apresentado o histograma com a distribuição das frequências dos erros percentuais dos cobrimentos, para as medições após a concretagem de todos os elementos estruturais onde foram utilizados espaçadores plásticos.

Observou-se que 63,08% ficaram com uma espessura de cobrimento menor que o especificado em projeto.

Gráfico 36 – Histograma geral das medições após a concretagem para elementos estruturais sem a utilização de espaçadores.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 29, é apresentado um resumo das frequências observadas nos histogramas acima (Gráficos 35 e 36), separando-as quanto maior e menor que o valor de cobrimento especificado em projeto (representado por erro percentual igual a zero). Observa-se um aumento de 14,44% de medições com espessura de cobrimento inferior ao projetado após a concretagem.

Tabela 29 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral das obras sem utilização de espaçadores.

| Cobrimento de armadura | Antes da concretagem | | Depois da concretagem | |
|------------------------|----------------------|--------|-----------------------|--------|
| | (Frequência) | (%) | (Frequência) | (%) |
| < que o projetado | 202 | 51,79% | 246 | 63,08% |
| ≥ que o projetado | 188 | 48,21% | 144 | 36,92% |
| Total | 390 | 100% | 390 | 100% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quanto ao percentual de medições abaixo do projetado, para antes da concretagem, os elementos que possuíam espaçador apresentaram 47,62% das

medições irregulares, enquanto nos elementos sem, observou-se 51,79% das amostras, uma diferença de 4,17%. Após a concretagem essa diferença aumentou para 8,79%, os elementos com espaçadores ficaram com 54,29% das medições abaixo do projetado e os sem com 63,08%.

Observa-se nessa comparação a pequena diferença quanto a utilização ou não de espaçadores para garantia do cobrimento, com leve indicativo de piora no caso de não utilizar. Ambas as situações apresentaram variações entre os valores medidos antes a após a concretagem, caracterizando deslocamento da armadura durante esse processo. De modo geral ambos os casos não cumprem o cobrimento mínimo; para o caso dos espaçadores, possivelmente por falta de parâmetros para determinar o modo de uso, distribuição e etc.

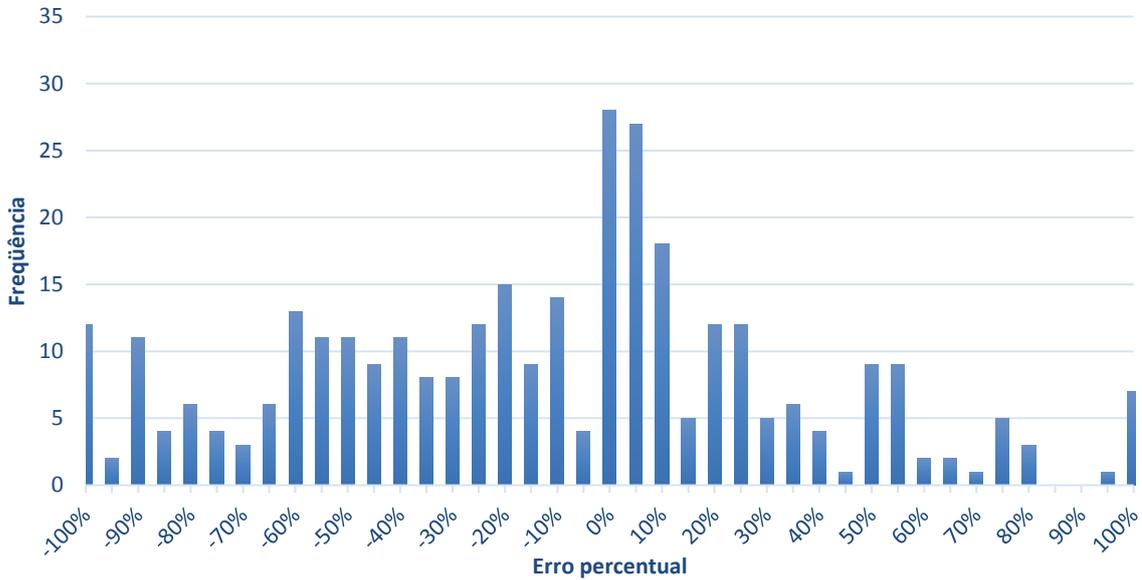
4.6 Resultados quanto à contratação de mão de obra

Nessa análise pretende-se avaliar se existe alguma correlação entre o modelo de contratação da mão de obra com a qualidade de execução, verificando se o vínculo empregatício apresenta algum tipo de influência. Deste modo, verifica-se a correlação da contratação da mão de obra com os valores de cobrimento encontrado nas devidas obras.

Para as medições antes da concretagem de todas as obras com contratação de empreiteiras terceirizadas, é apresentado no Gráfico 37, o histograma com a distribuição das frequências dos erros percentuais dos cobrimentos. Observou-se que 52,42% das medições ficaram com uma espessura de cobrimento menor que o especificado em projeto.

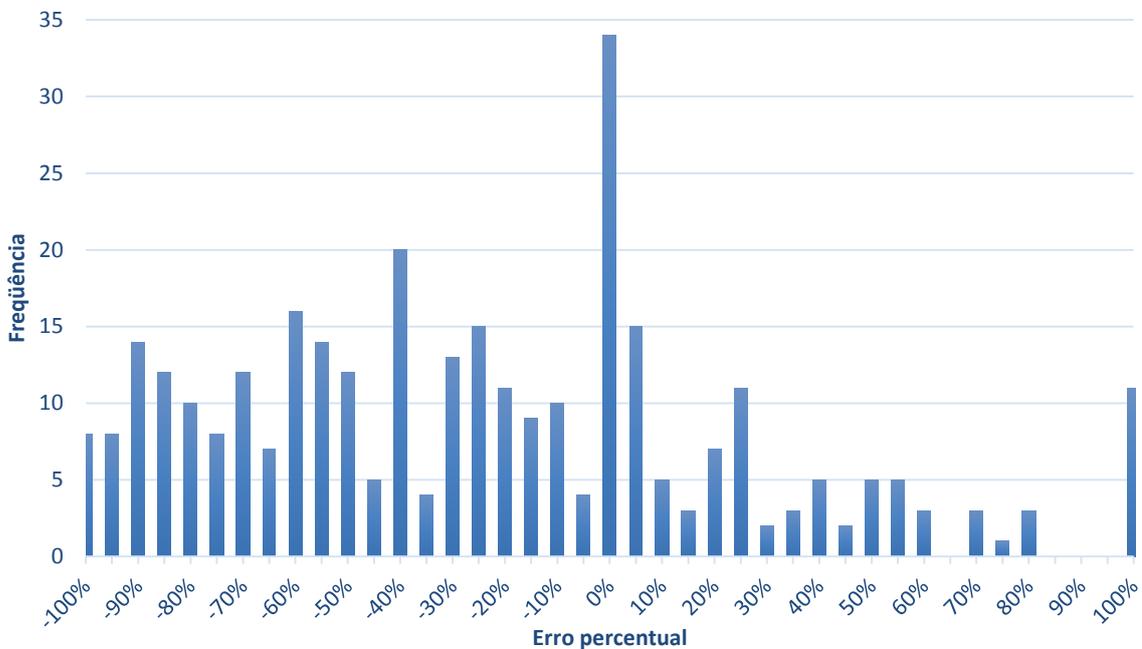
No Gráfico 38, é apresentado o histograma com a distribuição das frequências dos erros percentuais dos cobrimentos, para as medições após a concretagem de todas as obras com contratação de mão de obra terceirizada. Observou-se que 64,24% destas ficaram com uma espessura de cobrimento menor que o especificado em projeto.

Figura 37 – Histograma geral das medições antes da concretagem em obras com mão de obra terceirizada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 38 – Histograma geral das medições após a concretagem em obras com mão de obra terceirizada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 30, é apresentado o resumo das frequências observadas nos histogramas acima (Gráficos 37 e 38), separando-as quanto maior e menor que o valor

de cobertura especificado em projeto (representado por erro percentual igual a zero). Observa-se um aumento de 11,82% de medições com espessura de cobertura inferior ao projetado após a concretagem.

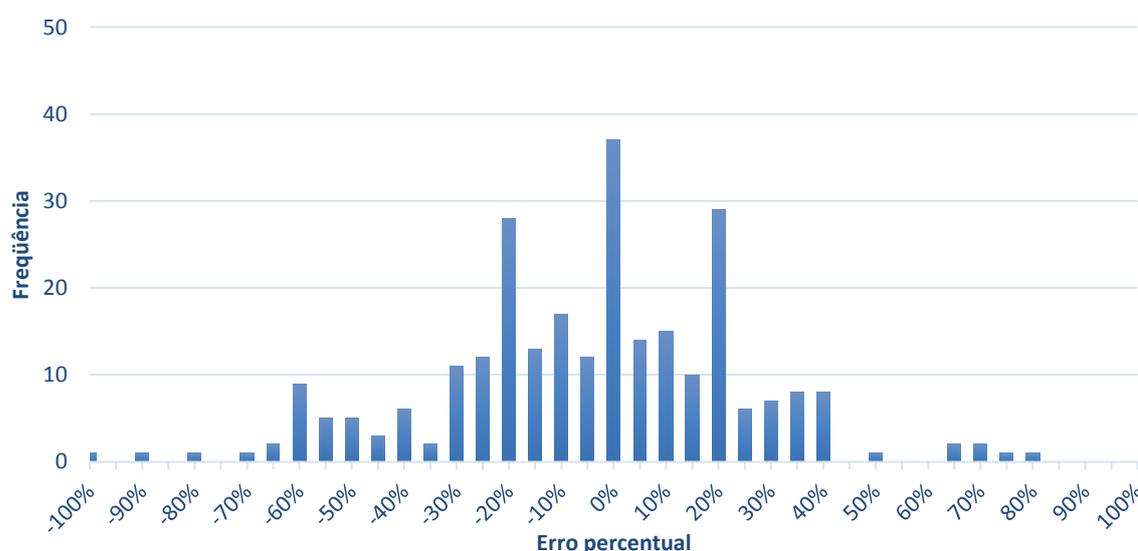
Tabela 30 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral das obras com mão de obra terceirizada.

| Cobrimento de armadura | Antes da concretagem | | Depois da concretagem | |
|------------------------|----------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| | (Frequência) | (%) | (Frequência) | (%) |
| < que o projetado | 173 | 52,42% | 212 | 64,24% |
| ≥ que o projetado | 157 | 47,58% | 118 | 35,76% |
| Total | 330 | 100% | 330 | 100% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 39, é apresentado o histograma com a distribuição das frequências dos erros percentuais nos cobrimentos para as medições antes da concretagem de todas as obras com funcionários próprios. Observou-se que 47,78% das medições ficaram com uma espessura de cobertura menor que o especificado em projeto.

Gráfico 39 – Histograma geral das medições antes da concretagem em obras com mão de obra própria.

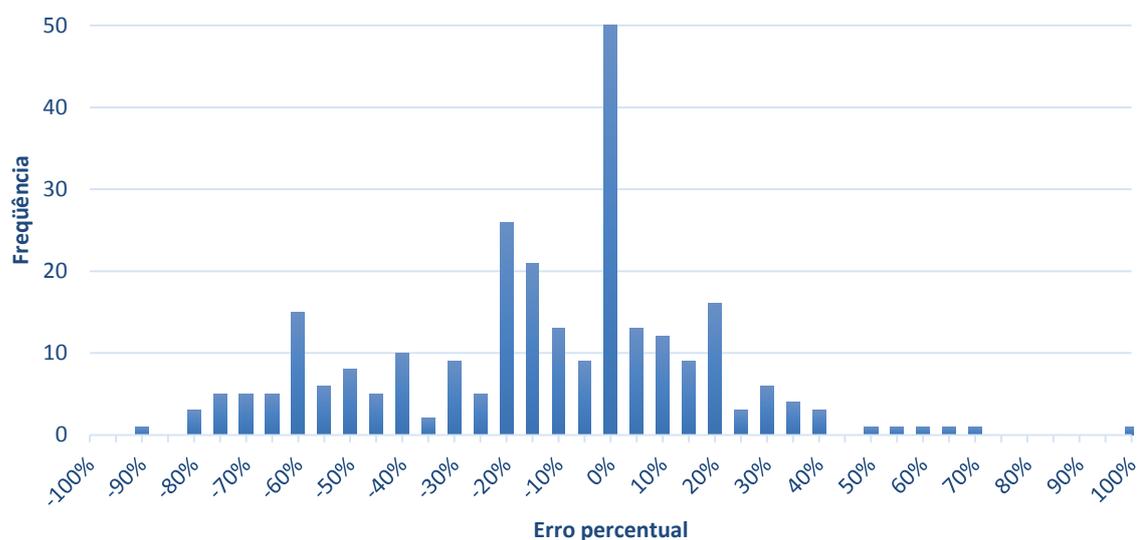


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para as medições após a concretagem de todas as obras com funcionários próprios, é apresentado no Gráfico 40, o histograma com a distribuição das frequências dos erros percentuais nos cobrimentos. Observou-se que 54,81% das

medições ficaram com uma espessura de cobrimento menor que o especificado em projeto.

Figura 40 – Histograma geral das medições após a concretagem em obras com mão de obra própria.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Tabela 31, é apresentado um resumo das frequências observadas nos histogramas acima (Gráficos 39 e 40) para contratação de mão de obra própria, separando-as quanto maior e menor que o valor de cobrimento especificado em projeto (representado por erro percentual igual a zero). Observa-se 7,03% de medições a mais passaram a possuir espessura de cobrimento inferior ao projetado após a concretagem, enquanto que para a mão de obra terceirizada esse aumento foi de 11,82%.

Tabela 31 – Comparação de ocorrências em relação ao valor de projeto. Análise geral das obras com mão de obra própria.

| Cobrimento de armadura | Antes da concretagem | | Depois da concretagem | |
|------------------------|----------------------|-------------|-----------------------|-------------|
| | (Frequência) | (%) | (Frequência) | (%) |
| < que o projetado | 129 | 47,78% | 148 | 54,81% |
| ≥ que o projetado | 141 | 52,22% | 122 | 45,19% |
| Total | 270 | 100% | 270 | 100% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As conclusões foram adotadas em virtude dos dados apresentados exclusivamente pelas amostragens desse trabalho. Os resultados são peculiares de obra para obra, e não devem ser considerados de forma generalizada para todas as construções do Vale do Taquari. Para isso são necessários mais estudos comparativos desse cenário.

O objetivo do trabalho foi analisar a variabilidade das espessuras de cobertura da armadura, em obras do Vale do Taquari, observando os valores medidos antes e após a concretagem, e comparando-os com os projetados. Para análise global de todas as obras verificou-se que durante a medição do cobertura nas fôrmas, 50,33% das amostras não atendiam a espessura projetada e após a concretagem esse percentual subiu para 60,00% das amostras. Desta forma constata-se, de modo geral, o deslocamento das barras de aço após a concretagem, o qual justifica-se, pelo fato das armaduras não estarem totalmente travadas na posição correta, sendo que, em mais da metade das obras não foram utilizados espaçadores. Conseqüentemente, a pressão exercida pelo concreto quando inserido na fôrma, mais a circulação de pessoas e a disposição de objetos sobre os elementos estruturais antes e durante a concretagem, propiciam o deslocamento. Todavia é evidente a falta de controle desse parâmetro construtivo, pois antes da concretagem já apresentam ocorrências com espessura abaixo do projetado.

Com intuito de avaliar a influência dos cenários encontrados nas obras, para execução das estruturas de concreto armado, foram desenvolvidos os objetivos

secundários com o propósito de evidenciar algumas correlações que influenciam na variabilidade do cobrimento em concreto. Assim, além da coleta das espessuras nos elementos estruturais, foram observados a utilização de espaçadores, o nível de controle da obra e o modelo de contratação da mão de obra. Com esses dados foram observados os seguintes resultados: individual para cada elemento estrutural, quanto ao nível de controle da obra, quanto a utilização ou não de espaçadores e em função do tipo de contratação da mão de obra.

Dentre os elementos estruturais estudados, os pilares apresentaram os melhores resultados referente a quantidade de amostras com espessura de cobrimento acima ou igual ao projetado. Notou-se que em pilares de maior seção se obteve melhores resultados, por outro lado, em seções menores as barras de aço encontravam-se próximas a fôrma, constatando um erro percentual negativo maior antes da concretagem e se mantendo posterior a conclusão. Os pilares também apresentaram a maior amplitude de variação do erro percentual, indo de 100% negativo à 200% positivo. Mesmo demonstrando os melhores resultados quanto ao tipo de elemento estrutural, eles apresentaram a maior variação entre as frequências para antes e após a concretagem, isso se justifica pois os valores antes da concretagem foram coletados na parte superior da forma e após foram medidos no centro do pilar, também pode-se atribuir a uma menor eficiência de travamento da armadura dentro da fôrma, devido a posição vertical das barras sujeitas a flambagem.

Para as vigas das obras estudadas, constatou-se que 56,30% das medições apresentaram erro percentual negativo antes da concretagem, e após a concretagem esse valor aumentou em 10%, totalizando 66,30% das medições com cobrimento de armadura abaixo do projetado. Esses valores se justificam pela falta de utilização de espaçadores em dois terços das obras, desta forma as armaduras encontravam-se soltas na forma durante a concretagem.

As medições das lajes apresentaram a maior frequência de erros percentuais abaixo de 60% negativo, caracterizando uma espessura de cobrimento muito abaixo da tolerância de execução (Δc) descrita na NBR 6118. Antes da concretagem 56,67% das medições estavam abaixo do valor de cobrimento projetado, após a concretagem esse percentual subiu para 66,30%. Destaca-se nos histogramas duas ocorrências com erro percentual de 100% negativo, após a concretagem. Os valores negativos

são justificados pela falta de espaçadores em dois terços das obras, a movimentação sobre a laje, e a vibração e peso exercido pelo mangote de bombeamento/elevação do concreto, ainda, na obra B1 foi utilizado um carrinho de mão para transportar o concreto sobre a laje. Destaca-se o fato de nenhuma empresa prever um plano de ação para circulação sobre as ferragens, e tão pouco uma metodologia para posicionamento dos espaçadores.

Analisando separadamente os elementos estruturais quanto a utilização ou não de espaçadores plásticos (industrializados), constatou-se que houve uma pequena diferença de melhora para os elementos que o utilizaram. Justifica-se tão pouca eficiência desses dispositivos ao fato de que em apenas uma obra houve uma padronização para distribuição/posicionamento dos mesmos, sendo que nas demais constavam nichos com a grandes afastamentos entre esses dispositivos. Ainda, as obras C3 e D não foram utilizados espaçadores adequados para o devido elemento estrutural. Assim, constata-se que se empregados de qualquer maneira não apresentam garantia de eficiência, desta forma, observa-se que precisam ser utilizados conforme sua finalidade e superestimando sua distribuição, aumentando a quantidade de dispositivos, uma vez que nenhuma norma técnica especifica a distância ideal entre as peças.

Quanto a comparação entre os níveis de controle da obra, constatou-se que quanto melhor o controle, maior a quantidade de verificações acima ou igual ao cobrimento projetado. Antes da concretagem o número de medições com espaçamento inferior ao estipulado em projeto, para as obras com nível ruim, bom e excelente foi respectivamente de 58,89%, 47,78% e 40,00%. As obras que apresentaram nível de controle ruim, também foram as três obras com os piores resultados individuais. Apenas a obra C, atingiu um nível de qualidade excelente, onde não houve variação no número de amostras com cobrimento abaixo do projetado após a concretagem, sendo a única com metodologia para disposição dos espaçadores. Porém não significa que a armadura permaneceu imóvel, pois é evidenciada variação das medições através das frequências de erros percentuais, apresentadas nos histogramas, e dos valores médios de espessura observados antes e após a concretagem. As obras classificadas com nível de controle bom, tiveram um aumento de frequências abaixo do valor de projeto de 8,38% de amostras após a concretagem. Sendo destas, metade das empresas não utilizaram espaçadores nas obras.

Também foram analisadas as amostras separando-as conforme o modelo de contratação da mão de obra, onde a utilização de colaboradores próprios apresentou melhor resultado em relação a equipes terceirizadas. Conforme observado para determinação do nível de controle das obras, todas as empresas com funcionários próprios apresentaram condições de limpeza e organização no canteiro adequadas, e obtiveram boa classificação quanto ao nível de controle. Enquanto as empreiteiras terceirizadas, foram responsáveis pelas três obras com nível de controle ruim e em nenhuma foi observado a presença de acompanhamento técnico por profissional habilitado.

A partir das análises dos resultados constata-se que, independentemente de qualquer parâmetro observado neste trabalho, é significativa a quantidade de medições com cobrimentos abaixo do valor de projeto. Onde o melhor resultado apresentado em uma obra foi de 40,00% de amostras irregulares, sendo a pior com 76,67% dos cobrimentos aquém do projetado. Ficou evidente a falta de controle desse parâmetro construtivo, através dos péssimos resultados medidos nas fôrmas, mostrando que sua execução é negligenciada. Essa grande frequência de erros, mais esforços provenientes do processo de concretagem, como peso próprio de pessoas, objetos e do material (concreto), provocam deslocamento do aço e contribuem para a grande quantidade de espessuras irregulares. A eficiência dos espaçadores é contestada pela falta de padronização da sua utilização, porém devem ser feitos estudos específicos para essa análise, todavia nota-se uma melhora quanto utilizados. Conforme explanado em revisão bibliográfica, a falta de qualidade e de espessura apropriada do cobrimento, propiciam menos proteção ao elemento estrutural, deixando-o mais suscetível a ação de agentes ambientais agressivos que provocam a deterioração dos materiais constituintes da estrutura, conseqüentemente acarretando em precoces manifestações patológicas.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J.J.O. **Contribuição à previsão de vida útil de estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão da armadura: iniciação por cloretos**. 2001. Tese/ Doutorado em Engenharia – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2001. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10183/2613> >. Acesso em: 21 mai 2014.

ARAÚJO, J. M. de. **Curso de concreto armado**. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR-6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. 170 p.

_____. (ABNT). **NBR-14931**: Execução de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004. 53 p.

_____. (ABNT). **NBR-15575/1**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013. 54 p.

CAMPOS, D. **Cobrimento de armadura em estruturas de concreto armado: análise comparativa entre valores antes, durante e depois da concretagem**. Monografia de conclusão de curso. UFRGS, 2013.

COSTA, A.C. **Construção civil enfrenta gargalo na mão de obra**. Revista Veja. Ed. Abril. Versão digital. 2010. Disponível em: < <http://veja.abril.com.br/noticia/economia/salarios-da-construcao-civil-podem-se-transformar-em-bolha> >. Acesso em: 10 nov 2014.

COUTO, J. A. S. et al. O concreto como material de construção. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT**, v. 1, n. 3, p. 49-58, 2013.

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. Dissertação / Mestrado Engenharia Civil – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 1988.

FREIRE, K. R. R. **Avaliação do desempenho de inibidores de corrosão em armaduras de concreto**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. 2005. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/1884/34720> >. Acesso em: 01 jun 2014.

FUSCO, P. B. **Técnica de armar as estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 2007.

GIRIBOLA, M. **Planejamento: espaçadores para armadura**. Equipe de obra, Edição nº 62, São Paulo. Ed. PINI, 2013.

HELENE, P. R. L. Vida útil das estruturas de concreto. In: **IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções e VI Congresso de Controle de Qualidade**. Anais. Porto Alegre. 1997. p. 1-30. Disponível em:<<http://www.concretophd.com.br/imgs/files/185.pdf> >.

HELENE, P. R.L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: PINI, 1986.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Ibracon, 2008.

MENEZES, L. F.; DE AZEVEDO, M. T. **Análise da influência do cobrimento das armaduras na durabilidade das estruturas de concreto armado**. 2009. S.n.t. Disponível em: < http://info.ucsal.br/banmon/Arquivos/ART_070109.pdf >. Acesso em: 25 Mar 2014.

SILVA, O. S. P. da. **Cobrimento de armaduras em estruturas de concreto armado: análise comparativa entre o valor especificado em projeto eo em execução em obras na cidade de Porto Alegre**. Monografia de conclusão de curso. UFRGS, 2012. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10183/79781>>. Acesso em: 25 Mar 2014.

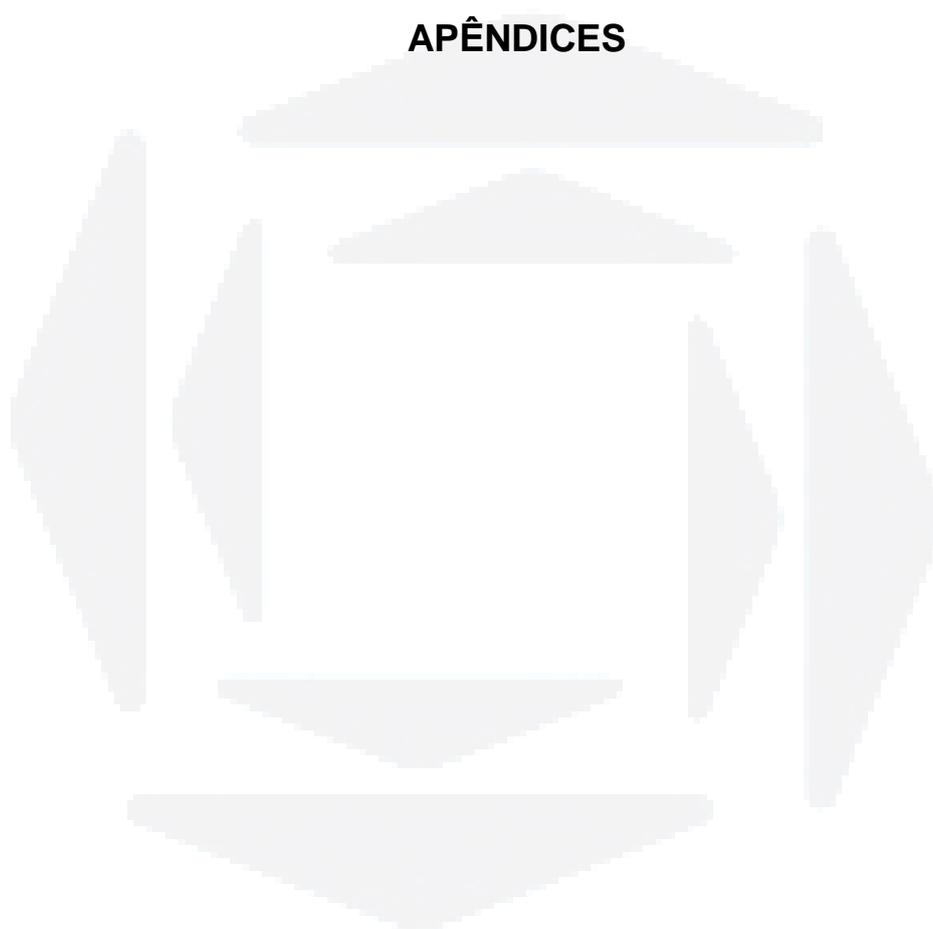
SOUZA, V. C. de; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 2009.

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

TINOCO, H. F. F.; FIGUEIREDO, E.J.P. **Avaliação do desempenho de sistemas de reparos e recuperação para estruturas de concreto com corrosão das armaduras**. In: WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES 2. 2001, São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: ITA, 2002. P312-323. 1 CD.

VILASBOAS, J. M. L. **Durabilidade das edificações de concreto armado em Salvador – uma contribuição para a implantação da NBR 6118:2003**. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo) – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

APÊNDICES



PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS EM CAMPO

| Dados da obra | | |
|-------------------------|------------------|------------|
| Empresa: | Data da medição: | |
| Tipo de empreendimento: | | Pavimento: |
| Croqui: | | |

Nível de controle

Presença de Engenheiro Civil Responsável: Sim () Não ()

Organização do canteiro: Sim () Não ()

Condições de limpeza do pavimento medido: Sim () Não ()

Utilização de EPI: Sim () Não ()

Metodologia na disposição dos espaçadores: Sim () Não ()

Certificação de qualidade: Sim () Não ()

Valores de cobrimento de projeto:

Lajes

Pilares

Vigas

Tipos de espaçadores:

Lajes

Pilares

Vigas

Observações complementares:

| Nº | Valores de cobrimento de armadura | | | |
|----|----------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------|----|
| | Valores do cobrimento medidos antes da concretagem | | Valores de cobrimento depois da concretagem | |
| | Lajes | Vigas | PILARES | Nº |
| | LA | LB | LA | LB |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |
| 6 | | | | |
| 7 | | | | |
| 8 | | | | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| 11 | | | | |
| 12 | | | | |
| 13 | | | | |
| 14 | | | | |
| 15 | | | | |
| 16 | | | | |
| 17 | | | | |
| 18 | | | | |
| 19 | | | | |
| 20 | | | | |
| 21 | | | | |
| 22 | | | | |
| 23 | | | | |
| 24 | | | | |
| 25 | | | | |
| 26 | | | | |
| 27 | | | | |
| 28 | | | | |
| 29 | | | | |
| 30 | | | | |

Realizado por: Luís Fernando Lucca Wieber

APÊNDICE B. Na Obra C1 o espaçador foi utilizado somente no fundo da fôrma para as vigas.



APÊNDICE C. Espaçador utilizado nos pilares da Obra C3.



Anexo D. Espaçador utilizado na Obra D, para as vigas e laje.

