UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

ESTELA JARDIM DE ORNELLAS

Estudo da relação entre as características dos materiais, gestão de obra e patologias em edifícios construídos com o sistema de parede de concreto estrutural

São Carlos

2021

ESTELA JARDIM DE ORNELLAS

Estudo da relação entre as características dos materiais, gestão de obra e patologias em edifícios construídos com o sistema de parede de concreto estrutural

Versão Corrigida

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo do Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de Concentração: Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia

Orientador: Prof. Dr. Bruno Luís Damineli

São Carlos

2021

AUTORIZO A REPRODUCAO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRONICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do Instituto de Arquitetura e Urbanismo
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

OOR74e ORNELLAS, ESTELA JARDIM DE
Estudo da relação entre as características dos
materiais, gestão de obra e patologias em edifícios
construídos com o sistema de parede de concreto
estrutural / ESTELA JARDIM DE ORNELLAS; orientador
Bruno Luís Damineli. -- São Carlos, 2021.
166 p.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Arquitetura e Urbanismo, Arquitetura, Urbanismo e
Tecnologia -- Instituto de Arquitetura e Urbanismo,
Universidade de São Paulo, 2021.

1. Concreto . 2. Manifestações Patológicas. 3.
Conjunto Habitacional de Interesse Social. I.
Damineli, Bruno Luís , orient. II. Título.

Bibliotecária responsável pela estrutura de catalogação da publicação de acordo com a AACR2:
Brianda de Oliveira Ordonho Sígolo - CRB - 8/8229

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): **Estela Jardim de Ornellas**

Título da dissertação: **"Estudo da relação entre características dos materiais, gestão de obra e patologias em edifícios construídos com sistema de parede de concreto estrutural"**

Data da defesa: **09/03/2021**

Orientador: **Prof. Dr. Bruno Luis Damineli**

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Dr. Bruno Luis Damineli
(IAU/USP)

Não votante

Prof. Dr. Javier Mazariegos Pablos
(IAU/USP)

APROVADA

Prof. Dr. Guilherme Aris Parsekian
(UFSCar)

APROVADA

Profa. Dra. Fabiana Lopes de Oliveira
(FAU/USP)

APROVADA

Coordenador e Presidente da Comissão de Pós-Graduação do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo: **Prof. Dr. Tomás Antonio Moreira.**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Vera e Jamil, fontes inesgotáveis de amor, carinho e paciência, os quais me ensinaram valores e princípios fundamentais para me tornar quem sou.

Ao Vinícius, meu namorado e companheiro de vida, que sempre me incentivou e apoiou nesta jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por toda graça concebida e por proporcionar sabedoria e paz nos momentos de angústias.

Agradeço especialmente meu orientador, Prof. Dr. Bruno Luís Damineli, por todo aprendizado, orientações, conselhos e conversas que proporcionaram a evolução deste trabalho e do meu desenvolvimento pessoal e intelectual. Concluo esta etapa carregando todos os ensinamentos por ele passado com tranquilidade e positividade, os quais me motivaram nos momentos de incertezas e inseguranças, e que lembrarei por toda minha vida.

Agradeço aos técnicos do Laboratório de Construção Civil (LCC) do IAU, Sérgio e Paulo, que me auxiliaram nos experimentos desta pesquisa.

Às responsáveis pela secretaria do departamento de Pós-Graduação do IAU, Mara e Flávia, que sempre se mostraram solícitas e pacientes.

Agradeço ainda aos meus pais, Vera e Jamil, e ao meu namorado Vinicius por acreditarem no meu potencial, terem paciência, me apoiarem durante todo este processo e por não me deixarem desistir perante as dificuldades.

A todos que de maneira direta ou indireta colaboraram para que esse trabalho ganhasse forma e se concretizasse.

EPIÍGRAFE

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

(Madre Teresa de Calcutá)

Resumo

ORNELLAS, Estela Jardim de. Estudo da relação entre as características dos materiais, gestão de obra e patologias em edifícios construídos com o sistema de parede de concreto estrutural. 2021. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

Os relatos de manifestações patológicas no sistema construtivo de parede de concreto moldado in loco são recorrentes e de longa data. Fissuras, exposição de armaduras, problemas de interface entre o revestimento, ingresso de água, agentes agressivos, entre outros, são problemas corriqueiros e causam diminuição da durabilidade. A crescente massificação das construções executadas neste sistema construtivo, dentro de habitação de interesse social, vem intensificando a importância do conhecimento e proposição de soluções para tais problemas. O presente projeto de pesquisa objetiva estabelecer a relação entre as manifestações patológicas encontradas em estruturas de paredes de concreto em conjuntos habitacionais de baixa renda com as características dos materiais empregados na construção e, ao mesmo tempo, com aspectos de gestão de projetos e de obra, viabilizando o rastreamento de possíveis erros de projeto, de execução ou de manutenção. A investigação das causas patológicas ocorreu em obras, localizadas no interior do estado de São Paulo, por meio de estudos de caso. Efetuaram-se vistorias em campo, obtenção de dados técnicos e históricos e coletas de amostras para análises laboratoriais. Em seguida, utilizando os resultados e as evidências coletadas nos estudos de caso, um diagnóstico foi criado, no qual estabelece relações de causa e efeito para as ocorrências de manifestações patológicas. Por fim, analisando as causas dessas relações junto à tecnologia construtiva, à gestão da produção, ao controle dos materiais e suas dosagens, foram criadas sugestões de orientações a serem seguidas em diversos momentos do ciclo construtivo visando a melhoria da qualidade das habitações.

Palavras-Chave: Concreto; Manifestações Patológicas; Conjunto Habitacional de Interesse Social.

Abstract

ORNELLAS, Estela Jardim de. Study of the relationship between the characteristics of materials, construction management and pathologies in structural concrete wall buildings. 2021. Dissertation (Master in Architecture and Urbanism) – Institute of Architecture and Urbanism, University of São Paulo, São Carlos, 2021.

The reports of pathological manifestations in the constructive system of cast concrete structural wall are recurrent and long standing. Cracks, exposure of reinforcement, problems with the interface between cladding, water ingress, aggressive agents, among others, are common problems and cause reduced durability. The growing massification of the constructions carried out in this constructive system, mainly social housing, has been intensifying the importance of knowledge and proposing solutions to such problems. The present research project aims to establish the relationship between the pathological manifestations found in concrete wall structures in low-income housing units with the characteristics of the materials used in the construction and, at the same time, with aspects of project and construction management, enabling tracking possible errors or problems in design, execution or maintenance. The investigation of pathological causes occurred in construction sites located in the interior of São Paulo state through case studies. Field surveys were carried out, technical and historical data were obtained, and samples were collected for laboratory analysis. Then, using the results and evidence collected in the case studies, a diagnosis was created, which establishes cause and effect relationships for the occurrences of pathological manifestations. Finally, analyzing the causes of these relationships with construction technology, production management, control of materials and their dosages, suggestions for guidelines were created to be followed at different times in the construction cycle, aiming at improving the housing quality.

Keywords: Concrete; Pathological Manifestations; Social Interest Housing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. - Evolução habitacional no Brasil.....	25
Figura 3.1: Fôrma metálica.....	35
Figura 3.2: Fôrma metálica com compensado.....	36
Figura 3.3: Fôrma plástica.....	36
Figura 3.4: Aplicação tela simples.....	38
Figura 3.5: Aplicação tela dupla.....	38
Figura 3.6: Espaçadores plásticos.....	38
Figura 3.7: Tubulação embutida e fixada nas telas.....	40
Figura 3.8: Tubulação externa.....	41
Figura 3.9: Arranques verticais.....	48
Figura 3.10: Marcação para posicionamento das fôrmas.....	48
Figura 3.11: Armação e reforços no vão da janela.....	49
Figura 3.12: Montagem das placas.....	49
Figura 3.13: Conectores de fôrmas - grampos e pinos.....	50
Figura 3.14: Escoras prumadoras.....	50
Figura 3.15: Bombeamento do concreto.....	51
Figura 3.16: Slump test.....	51
Figura 3.17: Slump flow.....	51
Figura 3.18: Desforma das paredes.....	52
Figura 3.19: Etapas construtivas Sistemas Tradicionais x Parede de Concreto.....	53
Figura 3.20: Recebimento de acabamentos: Sistemas Tradicionais x Parede de Concreto.....	54
Figura 4.1: Origem dos problemas patológicos com relação às etapas de produção e uso das obras civis.....	66
Figura 4.2: Incidências das origens das enfermidades nas estruturas no Brasil (Carmona).....	67
Figura 4.3: Custo relativo da intervenção.....	68
Figura 5.1: Delineamento geral da pesquisa.....	79
Figura 6.1: Demonstração de ciclo de concretagem em Z na obra de São Carlos.....	87
Figura 6.2: Corpos de prova cilíndricos de 10 cm x 20 cm.....	89
Figura 6.3: CP em cura.....	90
Figura 6.4: CP sem cura.....	90

Figura 6.5: Ensaio de compressão.....	91
Figura 6.6: CP em cura.....	91
Figura 6.7: CP sem cura.....	91
Figura 6.8: Medição e pesagem das barras de argamassa prismáticas.....	92
Figura 6.9: Medição superficial das paredes com termômetro de infravermelho.....	93
Figura 6.10: Nomeação das fachadas do bloco 07 na cidade de Araraquara.....	93
Figura 6.11: Nomeação das fachadas do bloco 18 na cidade de São Carlos.....	94
Figura 6.12: Hobo – aparelho de medição de temperatura ambiente e umidade relativa do ar.....	94
Figura 6.13: Resultado ensaio de compressão amostras do 2º e 3º pavimento obra Araraquara.....	96
Figura 6.14: Resultado ensaio de compressão amostras do 1º e 4º pavimento obra São Carlos.....	96
Figura 6.15: Comparação dos ensaios de compressão da obra x autora do 2º e 3º pavimento obra Araraquara.....	97
Figura 6.16: Comparação dos ensaios de compressão da obra x autora do 1º e 4º pavimento obra São Carlos.....	97
Figura 6.17: Resultado ensaio de variação dimensional.....	99
Figura 6.18: Temperatura ambiente do 1º e 4º pavimento – Obra Araraquara.....	104
Figura 6.19: Temperatura ambiente do 1º e 4º pavimento – Obra São Carlos.....	105
Figura 6.20: Umidade relativa do ar 1º e 4º pavimento - – Obra Araraquara.....	106
Figura 6.21: Umidade relativa do ar 1º e 4º pavimento - – Obra São Carlos.....	106
Figura 6.22 – Temperatura superficial das paredes internas em Jan/19 e Dez/19 – Obra Araraquara.....	107
Figura 6.23 – Temperatura superficial das paredes internas em Jan/19 e Dez/19 - Obra São Carlos.....	109
Figura 6.24 – Comparação entre a temperatura superficial das paredes internas e externas - Obra Araraquara.....	111
Figura 6.25 – Comparação entre a temperatura superficial das paredes internas e externas - Obra São Carlos.....	113
Figura 6.26 – Aparência geral da laje pós concretagem.....	117
Figura 6.27 – Aparência geral das paredes pós concretagem.....	118
Figura 6.28: Segregação do concreto na laje.....	119
Figura 6.29: Laje fissurada com eflorescência e com excesso de agente desmoldante.....	119

Figura 6.30: Armadura e conduíte à mostra, além de uso de isopor para tamponar falhas da fôrma.....	119
Figura 6.31: Fissura em canto de janela.....	120
Figura 6.32: Segregação.....	120
Figura 6.33: Fissura em parede.....	120
Figura 6.34: Fissura canto de porta.....	120
Figura 6.35: Parede quebrada.....	121
Figura 6.36: Conduítes e espaçadores à mostra.....	121
Figura 6.37: Desnível de placas – hall.....	121
Figura 6.38: Armadura à mostra.....	121
Figura 6.39 – Aparência geral das paredes dos blocos, antes da entrega aos clientes.....	123
Figura 6.40: Fissura vertical em canto da janela.....	123
Figura 6.41: Fissura 45° em canto da janela.....	123
Figura 6.42: Fissura em canto de porta.....	124
Figura 6.43: Fissura com infiltração canto da janela.....	124
Figura 6.44: Infiltração no canto da janela.....	124
Figura 6.45: Infiltração no shaft da cozinha.....	124
Figura 6.46: Manchas de umidade.....	125
Figura 6.47: Fissura entre parede x teto.....	125
Figura 6.48: Fissura com infiltração no teto do hall do 3º pavimento.....	126
Figura 6.49: Fissura no ponto do ar-condicionado.....	126
Figura 6.50: Vazamento do hidrômetro.....	126
Figura 6.51: Vazamento no vaso sanitário.....	127
Figura 6.52: Infiltração no teto do hall do térreo.....	127
Figura 6.53: Fissura externa na platibanda.....	127
Figura 6.54: Ocorrência de manifestações patológicas na Assistência Técnica.....	130
Figura 6.55: Infiltração no shaft da cozinha.....	131
Figura 6.56: Fissura com infiltração na janela.....	131
Figura 6.57: Infiltração embaixo da janela.....	131
Figura 6.58: Desplacamento de piso.....	132
Figura 6.59: Número de chamados de assistência técnica por pessoa.....	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Premissas básicas para concepção de projeto e dimensionamento descritas pela NBR 16.055:2012.....	33
Tabela 3.2 – Características do CAA usado no sistema paredes de concreto.....	42
Tabela 4.1 (Tabela 6.1 da NBR 6118) – Classe de agressividade ambiental.....	64
Tabela 4.2 – Origem dos problemas patológicos com relação às etapas de produção e uso das obras civis.....	66
Tabela 4.3 (Tabela 7.1 da NBR 6118) – Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto.....	73
Tabela 5.1 – Amostras recolhidas em canteiro de obras.....	85
Tabela 6.1 – Carta traço dos estudos de caso.....	86
Tabela 6.2 – Tempo de descarga do concreto nos estudos de caso.....	88
Tabela 6.3 – Consumos e desvio padrão do concreto autoadensável.....	101
Tabela 6.4 – Clima e tempo do dia da aferição da temperatura e umidade ambiente.....	104
Tabela 6.5 – Classificações térmicas do Sistema Construtivo de Parede de Concreto.....	115
Tabela 6.6 – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas coberturas.....	116
Tabela 6.7 – Área de Abertura de ventilação.....	117
Tabela 6.8 – Comparação entre manifestações patológicas x incidência solar.....	129
Tabela 6.9 – Diagnósticos das manifestações patológicas encontradas e recomendações de conduta.....	133
Tabela 6.10 – Viabilidade do sistema construtivo em PC.....	137
Tabela 6.11 – Vantagens e desvantagens do sistema construtivo em PC.....	138

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

Aa - Área de abertura

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAINC - Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias

BNH - Banco Nacional de Habitação

CAA - Concreto Autoadensável

CCV - Custo do Ciclo de Vida

CEF - Caixa Econômica Federal

COHAB - Companhias de Habitação Popular

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CP - Corpo de Prova

CT - Capacidade Térmica

CV - Ciclo de Vida

D - Durabilidade

DATec - Documento de Avaliação Técnica

DES - Desempenho

Fachada NE - Fachada Nordeste

Fachada NO - Fachada Noroeste

Fachada SE - Fachada Sudeste

Fachada SO - Fachada Sudoeste

FGTS - Fundo de Garantia por Tempo de Serviço

FICAM - Financiamento para Construção, Ampliação e Melhoria

FNHIS - Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social

IAP - Institutos de Aposentadoria e Pensão

IL - Índice de Ligantes

ISO - International Organization for Standardization

LCC - Laboratório de Construção Civil da USP

ONU - Organização dos Direitos Humanos

PBQP-H - Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat

PC - Parede de Concreto

PCD - Pessoa com Deficiência

PMCMV - Programa Minha Casa Minha Vida

PROFILURB - Programa de Financiamento de Lotes Urbanizados

PROMORAR - Programa de Erradicação de Sub habitação

R - Resistência

RCD - Resíduos de Construção e Demolição

Sd - Desvio Padrão

SFH - Sistema Financeiro da Habitação

SGQ - Sistema de Gestão da Qualidade

SiAC - Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras

SINAT - Sistema Nacional de Avaliações Técnicas

SNH - Sistema Nacional de Habitação

SNHIS - Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social

TCU - Tribunal de Contas da União

TI - Temperaturas superficiais internas

Ti - Temperatura do ar interior

TE - Temperaturas superficiais externas

Te - Temperatura do ar exterior

U - Transmitância Térmica

VU - Vida Útil

VUP - Vida Útil de Projeto

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	18
1.1. OBJETIVO	20
1.1.1. Objetivo geral	20
1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	21
CAPÍTULO 2 – HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL	22
2.1. HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NO BRASIL	22
2.2. PROGRAMAS DE QUALIDADE DA HABITAÇÃO	26
2.2.1 Família ISO 9000	27
2.2.2. PBQP-H	28
2.2.3. ABNT NBR 15.575 – Norma de Desempenho	28
CAPÍTULO 3 – SISTEMA CONSTRUTIVO DE PAREDES DE CONCRETO ESTRUTURAL MOLDADAS IN LOCO: PANORAMA BRASILEIRO	30
3.1. SISTEMA CONSTRUTIVO EM PAREDE DE CONCRETO NO BRASIL	30
3.2. NORMATIZAÇÃO	32
3.3. PROJETOS	32
3.4. MATERIAIS	34
3.4.1. Fôrmas e Escoramentos	34
3.4.2. Agentes Desmoldantes	37
3.4.3. Armações	37
3.4.4. Instalações	40
3.4.5. Concreto	41
3.5. CONTROLE TECNOLÓGICO	46
3.5.1. Ensaio de abatimento do tronco de cone	46
3.5.2. Ensaio de espalhamento	46
3.5.3. Ensaio de habilidade passante em fluxo livre	47
3.5.4. Cura	47
3.6. EXECUÇÃO	47
3.6.1. Acabamentos e revestimentos	52
3.7. PRAZO E PRODUTIVIDADE	54
3.8. ÍNDICE DE LIGANTES	56
3.9. MANUTENÇÃO	58
3.10. EVOLUÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO	59
CAPÍTULO 4 – MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	60

4.1. DESEMPENHO DA EDIFICAÇÃO	61
4.1.2. Durabilidade	62
4.1.3. Vida útil	63
4.1.4. Agressividade do ambiente	64
4.2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS X ETAPAS CONSTRUTIVAS	65
4.3. PATOLOGIA NO SISTEMA CONSTRUTIVO DE PAREDE DE CONCRETO	69
4.4. PRECAUÇÕES	72
4.4.1. Planejamento	74
4.4.2. Compatibilização de projetos	74
4.4.3. Execução	75
4.4.4. Operação e manutenção	76
CAPÍTULO 5 - METODOLOGIA	77
5.1. ESTRATÉGIA DE PESQUISA	77
5.2. DELINEAMENTO E ETAPAS DA PESQUISA	78
5.3. ESCOLHA DO SISTEMA CONSTRUTIVO	80
5.3.1. Caracterização da construtora	80
5.3.2. Caracterização dos empreendimentos	81
5.4. VISITA AOS CANTEIROS DE OBRA	81
5.5. INSTRUMENTOS E PROTOCOLOS DE PESQUISA	81
5.5.1. Roteiro de visita em obra	82
5.5.2. Entrevistas	82
5.5.2.1. Entrevista com engenheiro da obra	82
5.5.2.2. Entrevista com os profissionais da assistência técnica	83
5.5.3. Coleta de amostras	83
5.5.4. Equipamentos de medição	83
5.6. AMOSTRAGEM	84
5.6.1. Amostragem de unidades verificadas	84
CAPÍTULO 6 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	86
6.1. CARACTERÍSTICAS DOS EMPREENDIMENTOS	86
6.2.1. Tempo de descarga do concreto	88
6.2.2. Ensaios de consistência do concreto	88
6.2.3. Moldagem dos corpos de prova	89
6.2.4. Cura da estrutura	89
6.3. ENSAIOS	90
6.3.1. Compressão	90

6.3.2. Variação dimensional	91
6.3.3. Temperatura superficial.....	92
6.3.4. Temperatura ambiente e umidade relativa do ar	94
6.4. RESULTADOS	95
6.4.1. Resistência à compressão	95
6.4.2. Variação dimensional	99
6.4.3. Dosagem do concreto	100
6.4.4. Medições térmicas e de umidades	103
6.4.5. Aparência geral das paredes	117
6.4.5.1. Pós concretagem.....	117
6.4.5.2. Com revestimentos	122
6.4.5.3. Análise comparativa	128
6.4.6. Manutenção - Ocorrências Assistência Técnica.....	130
6.4.7. Diagnósticos	133
6.4.8. Custo e Viabilidade	136
6.4.9. Vantagens e desvantagens do Sistema Construtivo - PC	138
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E CONTINUIDADE DA PESQUISA	139
7.1. CONCLUSÃO.....	139
7.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	140
REFERÊNCIAS.....	142

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

O concreto armado surgiu em meados do século XIX, na França, precisamente em 1849. Sua invenção não pode ser diretamente relacionada a uma pessoa, pois muitos foram pioneiros nessa empreitada, entre eles: Lambot, Monier e Coignet que são franceses e, ainda, Hyatt, um norte-americano (FUSCO, 2008). Helene (1992) concorda, parcialmente, com Fusco quando atribui somente a Monier a criação do concreto armado.

De acordo com a definição da NBR 6118, o termo concreto estrutural se refere ao espectro completo das aplicações do concreto como material estrutural. Dentro do conceito de concreto estrutural, dispõe-se de variados elementos estruturais, a saber: concreto simples estrutural, concreto armado, concreto protendido, armadura passiva, armadura ativa (de protensão), entre outros.

Na presente dissertação, define-se a seguir somente os dois elementos relacionados ao objetivo da pesquisa – concreto simples estrutural e concreto armado.

Os elementos de concreto simples estrutural são definidos como os que não possuem qualquer tipo de armadura ou que a possuem em quantidade inferior ao mínimo exigido para o concreto armado. Os elementos de concreto armado são aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura.

Para se produzir concreto simples, basicamente, mistura-se o cimento com água, objetivando a formação da pasta de cimento. Em seguida, adiciona-se o agregado miúdo natural ou artificial, por exemplo, a areia. O próximo e último passo é o acréscimo do agregado graúdo como a pedra britada ou seixos rolados. A partir do concreto simples, pode-se produzir o concreto armado a partir da adição de armaduras de aço. Em ambos os elementos, pode-se ainda utilizar-se de fibras, corantes e aditivos com efeitos aceleradores ou retardadores (PORTO e FERNANDES, 2015).

Devido à sua constituição, o concreto simples não possui resistência a tração utilizável, o que diminui a extensão de possíveis aplicações estruturais. Entretanto, quando reforçado com barras de aço (armadura), seu nome passa a ser concreto armado e seu contingente de aplicações cresce muito, pois as propriedades de resistência à tração do aço são consideradas.

Além disso, as propriedades relativas aos coeficientes térmicos de ambos os materiais são bem próximas, o que possibilita o uso em conjunto dos mesmos. Caso contrário, a partir da variação de temperatura, ocorreria o rompimento. A compatibilidade química também se faz presente, uma vez que o concreto, com sua alcalinidade, protege o aço da corrosão e se liga

fortemente a ele, propiciando um material que deve não somente resistir a compressão, mas também às forças de tração, cisalhamento e flexão (ALLEN e IANO, 2013).

No Brasil, o concreto foi incorporado pela primeira vez no início do século XX e as empresas estrangeiras realizavam seu fornecimento. Somente em 1920 ocorreu a propagação da tecnologia do concreto por meio de cimenteiras implantadas no país. No entanto, o concreto se consolidou somente na década de 40, mediante às normatizações, regulamentações profissionais, inserção em disciplinas escolares – engenharia e arquitetura - e principalmente nas edificações. O concreto passa a ser introduzido em todas as etapas construtivas – projetos e no canteiro de obras (SANTOS, 2008).

A primeira construção de unidades habitacionais de interesse social totalmente em concreto armado – sistema em painéis monolíticos moldados *in loco* - foi em 1979, pela COHAB-MG. Este sistema possibilitou a racionalização da produção, otimização das atividades no canteiro de obra, diminuição dos prazos e dos custos, sem redução da produtividade (SACHT, 2008).

O sistema em concreto armado possibilita infinitas vantagens, porém é inegável que este sistema construtivo acarreta poluição e degradação ambiental principalmente pela extração e consumo de matérias-primas, pelos impactos negativos de sua produção e transporte – emissão de CO₂ – e pela geração de resíduos nos canteiros de obras (SILVA, 2003).

A manutenção sistemática e programada faz com que o concreto armado possa ter sua vida útil prolongada. No entanto, fenômenos patológicos têm ocorrido comumente em estruturas constituídas desse material, sendo de elevadas expressividades e ocorrências. Essa problemática gera custos significativos de reparo, diminuição do apelo estético e, na maioria das vezes, perda de resistência, na qual dependendo da dimensão dos danos pode colapsar a estrutura (HELENE, 1992).

Ainda segundo Helene (1992), “Patologia pode ser entendida como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos nas construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.”

Essas manifestações patológicas podem ocorrer por meio de causas intrínsecas e extrínsecas. Considera-se causas intrínsecas, os danos provocados na parte interior da estrutura, seja por falha humana como falha na concretagem ou armaduras, uso inadequado dos materiais e/ou falha no controle de qualidade ou por causas naturais, por exemplo, estrutura porosa do concreto, fontes químicas, físicas e/ou biológicas. Como causas extrínsecas, pode-se citar os danos provocados na parte externa da estrutura, tendo como fonte da falha, má execução de

projeto, erro na utilização dos materiais, ações mecânicas e ações físicas, químicas e biológicas (HELENE, 1992).

De maneira geral, a origem da manifestação patológica está relacionada com a etapa da vida útil da estrutura em que surgiu a predisposição para que agentes desencadeassem seu processo de formação. As origens das enfermidades do concreto podem ocorrer por meio da concepção de projeto, da execução ou da falta de manutenção. Na etapa de projeto, a concepção do projeto arquitetônico, o cálculo errôneo da estrutura ou a especificação indevida do material ou, até mesmo a falta de compatibilização de projetos complementares podem causar fissuras e trincas na estrutura. Outra etapa que pode originar manifestações patológicas é durante a execução, na qual a deficiência na concretagem (lançamento indevido do concreto até a cura inadequada), escoramento e fôrmas inadequadas e mão de obra não especializada podem resultar em fissuras, desagregação, deslocamento e esfoliação. Além disso, a escolha errada dos materiais (utilização de agregados/aditivos reativos, dosagem e resistência inadequada de concreto) podem resultar em desagregação, corrosão, segregação, porosidade e permeabilidade. A última etapa na qual as manifestações patológicas decorrentes de falhas são susceptíveis de acontecer é durante a manutenção imprópria ou em decorrência da falta de manutenção (SOUZA E RIPPER, 1998 e HELENE, 1992).

Visto que o projeto, a execução e a manutenção são sujeitos a falhas e que essas são as causas das manifestações patológicas, percebe-se que existe a necessidade de entender esses processos de maneira mais aprofundada, visando melhorias de planejamento e desempenho. Esses erros e falhas ganham ainda mais importância quando ocorrem em construções destinadas à população de baixa renda, uma vez que pela condição econômica, pressupõe-se que as manutenções são ainda mais raras e a alta produtividade é enfatizada em detrimento da qualidade.

1.1. OBJETIVO

1.1.1. Objetivo geral

O objetivo principal desta pesquisa é estabelecer a relação entre as manifestações patológicas encontradas em estruturas de paredes de concreto em conjuntos habitacionais de baixa renda com as características dos materiais empregados na construção e, ao mesmo tempo,

com aspectos de gestão de projetos e de obra, viabilizando o rastreamento de possíveis erros de projeto, de execução ou de manutenção.

1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O estudo está estruturado em sete capítulos. Apresenta-se, no Capítulo 1, a introdução ao tema, a problemática e o objetivo da pesquisa.

O Capítulo 2 relata o histórico da habitação social no Brasil, bem como a qualidade dos empreendimentos financiados por programas governamentais. Descreve-se, no Capítulo 3, o histórico brasileiro do sistema construtivo de painéis monolíticos moldados in loco e suas etapas construtivas. O Capítulo 4 compreende possíveis manifestações patológicas, precauções e cuidados com a estrutura.

A metodologia abordada na pesquisa é abordada no Capítulo 5, enquanto o Capítulo 6 compõe-se das análises dos dados coletados em campo e dos resultados obtidos nos ensaios laboratoriais.

O Capítulo 7 é a conclusão do trabalho. Por fim, no Capítulo 8, encontram-se as referências bibliográficas e anexos.

CAPÍTULO 2 – HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

Compreende-se célula habitacional como sendo um invólucro onde o ser humano, desde a pré-história, destina-se a permanência e o adequa conforme suas necessidades. Utiliza-se três elementos, aparentemente semelhantes, mas que possuem significados distintos para denominar célula habitacional, a saber: casa, moradia e habitação (SACHT, 2008).

Segundo Martucci (1999), casa é uma envoltória que distribui e cria espaços internos e externos. Para a casa se tornar moradia deve existir interação entre os hábitos de uso dos moradores com a estrutura da casa. Por fim a habitação, se dá pela a casa (o invólucro) e a moradia (modo de vida) integradas com o espaço urbano.

A partir do conceito de habitação, Bonduki (1998) define habitação social como a construção designada a população de baixa renda a qual é executada e financiada por órgãos públicos.

Sacht (2008) atribui habitação social como sendo a destinada para a classe trabalhadora de baixa renda, construída tanto por instituições privadas quanto por públicas.

Em suma, a célula habitacional junto ao meio social e ambiental que a circunda formam o “*habitat*”, o conceito se relaciona com habitação e habitabilidade. A interação de habitação com habitabilidade – capacidade de ser habitado – deve proporcionar qualidade de vida ao usuário (SACHT, 2008).

Este capítulo discursará a respeito da questão habitacional no Brasil, trazendo sua evolução e enfocando nas habitações de cunho social.

2.1. HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NO BRASIL

A questão habitacional no Brasil se trata de um problema de difícil resolução, principalmente no que diz respeito à habitação de interesse social que acarretam, nas cidades brasileiras, diversas implicações (CUNHA, 2014).

Em 1920, o governo de Epitácio Pessoa incentivou a habitação com a criação de um programa oficial de construção de acomodações para locação, voltado para operários e proletários. Durante o Governo de Arthur Bernardes, em 1923, criou-se a Caixa de Aposentadoria e Pensão direcionado aos funcionários da Estrada de Ferro do país. Esta iniciativa possibilitou a criação de Caixas para outras categorias, totalizando 47 em 1930. A

partir de 1933, cada categoria de Caixa começou a ser substituída pelos Institutos de Aposentadoria e Pensão (IAPs) (Wерна et. al., 2001).

Segundo Bonduki (1998), o Brasil se aproximou de desenvolver uma consolidada política habitacional no final do Estado Novo, quando presumia a reorganização dos Institutos de Aposentadoria e Pensão (IAP), a concepção de uma “superagência nacional” e capacitação técnica. Porém, com o fim do Governo Vargas, encerrou-se também o processo institucional de política habitacional.

Criou-se em 1946, durante a gestão de Eurico Gaspar Dutra, a Fundação da Casa Popular, a qual não atuou como o esperado, produzindo menos unidades que os IAP (BONDUKI, 1998). Em 1964, com o golpe militar, o governo ditatorial criou o Banco Nacional de Habitação (BNH) que tinha como objetivo produzir conjuntos habitacionais para substituir as favelas. O BNH geria o Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS) e controlava o Sistema Brasileiro de Poupança e Empréstimo (SBPE) que juntos formavam o Sistema Financeiro da Habitação (SFH) (Wерна et al, 2001).

Segundo Sacht (2008), em 1965, o BNH passou a agir dentro dos Institutos de Orientação e Cooperativas Habitacionais, o que acarretou nas Companhias de Habitação Popular (COHABs). As COHABs executavam unidades para famílias com renda superior a três salários mínimos. As execuções das habitações foram designadas às empresas privadas, sendo o Estado meramente regulador.

Todavia, constatou-se que grande parte dos fundos eram direcionados para servir as classes média e alta. A fim de contornar a situação e atender realmente a classe necessitada, criaram-se programas direcionados à população de baixa renda, sendo eles: o Programa de Financiamento de Lotes Urbanizados (PROFILURB); o Financiamento para Construção, Ampliação e Melhoria (FICAM); o Programa de Erradicação de Sub habitação (PROMORAR) e o João-de-barro, programa de apoio assistido (Wерна et al., 2001).

Em 1986, não conseguindo mais se sustentar, o BNH entra em falência devido à crise e a falta de retornos (SACHT, 2008).

Com a extinção do BNH, a Caixa Econômica Federal (CEF) assume suas funções. De 1986 a 1990, os assuntos relacionados à habitação estiveram sob responsabilidade de diversas secretaria e ministérios. Em 1993, subordina-se ao Ministério do Bem- Estar, originando o Fundo Especial de Habitação social, o qual criou diversos programas habitacionais direcionados à população de baixa renda sob fiscalização da CEF. Os Programas eram realizados por meio de financiamentos oferecidos aos construtores ou aos proprietários (Wерна et al., 2001).

Segundo Carvalho e Stephan (2016), no final da década de 90, com a estabilidade econômica do país devido ao Plano Real e com os novos seguimentos econômicos – redução de taxas e juros- do governo Luís Inácio Lula da Silva, culminaram no surgimento de novos interesses de investidores e financeiras frente ao mercado imobiliário.

Em 2003, durante o governo Luís Inácio Lula da Silva, criou-se o Ministério das Cidades que era encarregado pelas Políticas de Desenvolvimento Urbano e pela Política de Habitação, aumentando o capital no setor e enquadrando os programas existentes na realidade do déficit habitacional e de infraestrutura urbana do país (CARVALHO e STEPHAN, 2016).

A fim de assegurar que os recursos governamentais destinem-se a população de baixa renda, aprovou-se em 2004, a Política Nacional de Habitação e o Sistema Nacional de Habitação (SNH) e, no ano seguinte, o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social (SNHIS) e o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social (FNHIS) (BRASIL, 2005).

Com a iniciativa de apoiar os setores mais afetados com a crise econômica mundial, o governo brasileiro adotou, em 2008, a expansão de créditos a esses setores, o que inclui o setor imobiliário. Em 2009, com o objetivo de aumentar o mercado habitacional, cria-se o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) (CARDOSO e ARAGÃO, 2011).

O PMCMV, atualmente, consiste no principal programa habitacional do país, o qual tem como finalidade a construção de moradias à população de baixa renda, conforme as classes de rendas. Segundo a CIBIC (2019), vigente desde 2016, a classificação dos valores das rendas de cada faixa no Programa são: Faixa 1 — famílias com renda de até R\$1.800 reais; Faixa 1,5 — famílias com renda de até R\$2.600 reais; Faixa 2 — famílias com renda de até R\$4.000 reais e Faixa 3 — famílias com renda de até R\$7.000 reais.

Para melhor compreensão segue Figura 2.1 com linha do tempo da evolução habitacional no Brasil.

Figura 2.1. - Evolução habitacional no Brasil.

Fonte: Autora (2020).

2.2. PROGRAMAS DE QUALIDADE DA HABITAÇÃO

O direito à moradia foi reconhecido pela Organização dos Direitos Humanos (ONU), em 1948, como item essencial para vida humana. Segundo a Declaração Universal dos Direitos Humanos (2009), o direito à moradia se refere tanto a unidade construída quanto ao bem estar, segurança e habitabilidade da sociedade. Este direito também se encontra na Constituição Federal de 1988, Emenda Constitucional nº26/00, artigo 6º.

Na prática, a aplicação destes direitos por vezes são negligenciadas e não atendem a qualidade material e social aos quais estão inseridos. Segundo auditoria realizada pelo Tribunal de Contas da União (TCU) (2013), um grande número de empreendimentos realizados por programas habitacionais financiados pelo governo, são entregues aos usuários apresentando manifestações patológicas referentes a projetos e execuções das unidades. As principais reclamações são acarretadas por vícios construtivos; incoerência nas dimensões, materiais e instalações; carência de espaços sociais, urbanos e infra estruturados - mobiliários urbanos, equipamentos de lazer, pavimentação asfáltica e sistemas de infra estrutura básica como sistema de esgoto e drenagem - além de inexistência ou inadequação de itens de acessibilidade para pessoa com deficiência (PCD).

Com o intuito de elevar a qualidade e produtividade da construção civil, existem normas, requisitos e certificações que construtoras devem seguir para organizar o setor da construção civil em torno da melhoria da qualidade da habitação e da modernização produtiva, além de estar apta a receber crédito governamental. Além das normativas pertinentes a cada sistema construtivo, descritas na ABNT e no SINAT, pode-se citar certificações como a ISO (International Organization for Standardization) e o PBQP-H (Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat), que tem como objetivo implementar, manter e controlar processos do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) dentro de uma instituição.

Criada em 1940, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estuda e propõe formas de sistematizar processos, a fim de torná-los reproduzíveis de maneira padronizada em diversos setores da sociedade, com o intuito de evitar erros e tornar o conhecimento acessível a sociedade. A ABNT faz parte de comissões internacionais importantes como a International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização) ou popularmente conhecido como ISO, além da Comisión Panamericana de Normas Técnicas (Comissão Pan-Americana de Normas Técnicas - Copant) e da Asociación Mercosur de Normalización (Associação Mercosul de Normalização – AMN).

Diferentemente da ABNT, a ISO 9001:2015 e o PBQP-H são certificações que qualificam a empresa como detentora de processos robustos de gestão de qualidade.

2.2.1 Família ISO 9000

Criada pela Organização Internacional de Padronização (ISO), a série de normas ISO tem como objetivo melhorar a qualidade dos processos da organização, certificando produtos e serviços, podendo ser aplicadas em diversos seguimentos: indústrias, empresas, instituições e afins. No Brasil, essas normas são criadas e gerenciadas pela ABNT e são composta pela sigla NBR (GESTÃO DE QUALIDADE INFO, 2021).

Para a gestão da qualidade, a família ISO 9000 é composta pelas normas ISO 9000, 9001, 9004 e 19011. Estas normas descrevem diretrizes de implantação, desenvolvimento, avaliação e sustentação do SGQ (GESTÃO DE QUALIDADE INFO, 2021).

De acordo com a ABNT (2015), as principais normas e determinações da Família ISO 9000 são:

- **ABNT NBR ISO 9000 – Sistema de Gestão da Qualidade (Fundamentos e Vocabulário):** norma que contempla os conceitos, princípios e termos utilizados no SGQ;
- **ABNT NBR ISO 9001 – Sistema de Gestão da Qualidade (Requisitos):** norma mais específica que explica os requisitos para adquirir a certificação; orienta quanto a qualidade dos projetos, bem como o seu desenvolvimento, produção, instalação e manutenção, ou seja, demonstra como deve ser cada processo da empresa. Engloba as normas 9002 e 9003;
- **ABNT NBR ISO 9004 – Gestão para o Sucesso Sustentado de uma Organização (Uma abordagem de Gestão da Qualidade):** norma com instruções básicas de implementação do SGQ, estabelecendo diretrizes para o sucesso sustentado;
- **ABNT NBR ISO 19011 – Diretrizes para Auditoria de Sistema de Gestão:** norma destinada a orientações para auditorias do SGQ.

Ao aplicar as normas ISO 9000 e apresentar a certificação de um organismo internacional, as empresas demonstram aos seus clientes e concorrentes um sistema de gestão eficiente e sólido, aumentando sua credibilidade e relações comerciais. Além de tornar-se sustentável; aumentar a segurança ao utilizar ou consumir seus serviços ou produtos; reduzir custos e melhorar o processo produtivo (GESTÃO DE QUALIDADE INFO, 2021).

2.2.2. PBQP-H

Ao contrário da ISO 9000 que pode ser aplicada em todos os nichos de mercado, o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PBQP-H), é voltado apenas para o setor da construção civil.

A estrutura do PBQP-H está articulada com o setor privado e envolve entidades representativas do setor, compostas por duas Coordenações Nacionais, que juntamente ao Ministério das Cidades traçam as diretrizes do Programa. O programa estimula o uso de linhas de financiamentos dos recursos de diferentes fontes, como FGTS, Poupança, entre outras. Em contrapartida o setor privado utiliza os recursos do Governo Federal para custeio, estruturação de novos projetos e divulgação (PBQP-H, 2021).

Baseando-se na série de normas ISO 9000, o PBQP-H tem como meta melhorar a qualidade do habitat e a modernização produtiva. Para alcançar esses objetivos, o programa possui um conjunto de ações, entre elas estão: avaliação da conformidade de empresas de serviços e obras, melhoria da qualidade de materiais, formação e requalificação de mão-de-obra, normalização técnica, capacitação de laboratórios, avaliação de tecnologias inovadoras, informação ao consumidor e promoção da comunicação entre os setores envolvidos (PBQP-H, 2021).

O Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras (SiAC), é um dos projetos do PBQP-H, que tem como objetivo avaliar a conformidade do sistema de gestão da qualidade das empresas de serviços e obras para obtenção e manutenção do certificado do PBQP-H (SiAC, 2017).

Ao alcançar a certificação, a empresa espera, além da melhoria da qualidade de produtos e serviços, aumentar a competitividade no setor, reduzir custos e otimizar o uso dos recursos públicos. A longo prazo, o objetivo é reduzir o déficit habitacional do país, criando um ambiente competitivo, proporcionando soluções baratas e com qualidade na produção de habitação de interesse social (PBQP-H, 2021).

2.2.3. ABNT NBR 15.575 – Norma de Desempenho

Criada em 2013, a NBR 15.575 (ABNT, 2013) possui seis partes e busca atender as exigências dos usuários referente ao sistema que compõem as edificações habitacionais, independentemente dos materiais que constituem seu sistema construtivo. A norma determina

critérios mensuráveis para avaliar o desempenho: lumínico, térmico, acústico, estrutural, e segurança contra ao fogo, das habitações brasileiras (ABNT, 2013).

Segundo Carneiro e Oliveira (2020), a escolha de sistemas construtivos racionalizados deve-se à agilidade da execução e tem como finalidade sanar o déficit habitacional de moradias brasileiras, e muitas vezes, os projetos não levam em consideração as condições climáticas ou o atendimento mínimo de desempenho da edificação para a região que será inserida a edificação, principalmente, quando se trata de habitação de interesse social, que apresentam orçamento enxuto.

O objetivo da Norma de Desempenho (NBR 15.575) é impulsionar tecnicamente a qualidade requerida e a oferta de moradias, estabelecendo determinações para avaliação do desempenho das habitações, contribuindo nas análises que determinam o financiamento de imóveis e possibilitando ajustes nos procedimentos, uso e manutenção das edificações (ABNT, 2013).

O cumprimento da NBR 15.575 (ABNT, 2013) se tornou um dos itens exigidos pela certificação do PBQP-H. A obrigatoriedade do requisito foi inserida no regimento do SiAC PBQP-H em 2017 e validada e difundida no regimento de 2018 (LAZZARINI e HIPPERT, 2020).

CAPÍTULO 3 – SISTEMA CONSTRUTIVO DE PAREDES DE CONCRETO ESTRUTURAL MOLDADAS IN LOCO: PANORAMA BRASILEIRO

Sistema construtivo, segundo Weidle (1995), pode ser definido como um conjunto de conhecimentos técnicos e de elementos construtivos que organizados formam um sistema racional capaz de determinar qual a forma de executar uma construção. Os sistemas construtivos são compostos por subsistemas codependentes - estrutura, cobertura, vedações e instalações - os quais são agrupados pelas suas características, tecnologias e funções técnicas e que se compatibilizados junto aos projetos definem-se qual sistema construtivo será mais efetivo para executar a edificação.

No Brasil, são utilizados diversos tipos de sistemas construtivos para a construção de habitações, sendo alguns deles os sistemas convencionais, os racionalizados e os industrializados. O sistema convencional consiste em elementos executados no canteiro de obras e utiliza técnicas construtivas e materiais tradicionais; o sistema racionalizado emprega elementos pré-fabricados montados no local da aplicação - obra - utilizando técnicas convencionais (alvenaria estrutural e painéis monolíticos moldados *in loco*); o sistema industrializado onde a maioria de seus elementos são fabricados e transportados para o local de aplicação, onde se realiza a montagem e acabamento (pré-fabricados em concreto, madeira e aço) (SACHT, 2008).

Esta pesquisa abordará o sistema construtivo racionalizado de painéis monolíticos de concreto moldados *in loco*, popularmente conhecido como parede de concreto (PC). Neste sistema, como o próprio nome indica, a estrutura e a vedação são formados por um único elemento autoportante, os quais são moldados no local da construção (ABNT, 2012).

3.1. SISTEMA CONSTRUTIVO EM PAREDE DE CONCRETO NO BRASIL

Um dos grandes desafios crônico para os administradores públicos brasileiros é o déficit habitacional, visto que, a necessidade de moradias além de estar associada ao crescimento populacional, vem acompanhada pelos novos arranjos familiares e o permanente reordenamento urbano das cidades. Portanto, o principal objetivo do setor da construção civil é descobrir soluções técnicas e políticas para esse déficit (MONGE, MAYOR e SILVA, 2018).

A criação do Banco Nacional da Habitação – BNH, em 1966, alavancou na década de 70 tais iniciativas de programas habitacionais, o que possibilitou o crescimento do mercado construtor. No entanto, na década seguinte, com o redirecionamento das políticas habitacionais e dissolução do BNH, houve queda de produção no setor da construção civil (LORDSLEEN JÚNIOR et al., 1998).

Segundo Lordsleen Junior et al. (1998), esta queda provocou no setor de construção civil - construtoras e fabricantes de materiais - a busca por novas tecnologias e processos construtivos não convencionais que visassem a racionalização da produção e que pudessem otimizar as atividades no canteiro de obra, diminuindo prazos, minimizando custos, sem redução da produtividade.

Diante deste contexto, o sistema de painéis monolíticos moldados *in loco* possuía vantagens construtivas que supriam essas necessidades (SACHT, 2008). Segundo a Coletânea de Ativos (2007-2008), o sistema de parede de concreto é inspirado em experimentos de construções em concreto celular - Sistema Gethal -, em concreto convencional - Sistema Outinord - e em obras com painéis de formas deslizantes.

No Brasil, em 1979, houve o primeiro registro de utilização do sistema construtivo em parede de concreto pela COHAB-MG na construção de 46 unidades no Conjunto Habitacional Carreira Comprida, na cidade de Santa Luzia – MG. Nesta construção, foram adotados concreto celular e fôrma metálica. O uso deste sistema permitiu obter vantagens como a redução de custo por meio de estruturas mais leves que possibilitaram economia com fundação, a otimização de subetapas devido ao bom acabamento superficial e maior conforto térmico e acústico. Entretanto, verificou-se nas unidades manifestações patológicas como trincas e infiltrações entre telhas e paredes (SACHT, 2008).

Conforme Sacht (2008), em 1980, a COHAB-MG aplicou novamente o sistema construtivo na cidade de Poços de Caldas para execução do Conjunto Habitacional Dr. Pedro Afonso Junqueira.

Durante a década de 80, nas cidades de Natal (RN) e Manaus (AM), o sistema em parede de concreto também foi aplicado para execução de habitações sociais (ABCP, 2002). Em 2002, segundo Vieira (2014), cerca de 40.000 casas foram construídas no Brasil com este sistema.

Com os resultados satisfatórios das aplicações de paredes de concreto, o interesse das construtoras em relação a esse sistema construtivo cresceu, aumentando o número de construções habitacionais com esse método (ABESC, 2008).

A seguir, a fim de apresentar o potencial que o sistema proporciona, especifica-se particularidades das etapas da cadeia produtiva.

3.2. NORMATIZAÇÃO

A Norma brasileira que determina os quesitos básicos para a elaboração e execução de parede de concreto moldado *in loco* é a ABNT NBR 16.055:2012. Com o crescente interesse da construção civil, neste sistema construtivo, a Comissão de Estudos CE 02:123.05, da ABNT, sentiu necessidade de elaborar esta norma, uma vez que a ABNT NBR 6118 (antiga NB-1) não atendia aos requisitos de dimensionamento desta nova tecnologia.

Publicada em 10 de abril de 2012, a criação da ABNT NBR 16.055 contou com referências internacionais para embasar o modelo de cálculo do sistema, como a norma norte-americana ACI 318, a norma francesa DTC 23.1, somadas a opiniões de calculistas renomados sustentados por normas técnicas colombianas (Comunidade da Construção, acessado em 03/08/2020).

De acordo com ABNT NBR 16.055:2012, a norma se aplica às paredes sujeitas à carga axial, com ou sem flexão, concretadas com todos os elementos que compõem a estrutura final - sistema monolítico -, tais como lajes, detalhes de fachadas, armaduras, instalações elétricas e hidráulicas (embutidas).

Antes da normatização, as empresas que utilizavam o sistema construtivo seguiam as premissas do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT) e tinham que obter o Documento de Avaliação Técnica (DATec) (Carvalho, 2012).

3.3. PROJETOS

O sistema em parede de concreto tem como característica a agilidade da execução, o que confere à etapa de projeto mais criticidade e importância no ciclo de produção. Dessa forma, as informações e especificações devem ser claras e objetivas para que não surjam dúvidas durante a etapa de execução (COLETÂNEA DE ATIVOS, 2011-2013).

De acordo com a ABNT NBR 16.055:2012, a elaboração de projetos para o sistema construtivo em parede de concreto deve possuir as seguintes premissas:

- a) Sistema estrutural adequado à finalidade da edificação;
- b) Determinação de ações de compatibilidade e representação;

- c) Dimensionamento e verificação dos elementos estruturais;
- d) Especificação de materiais;
- e) Processos de controle de projetos.

Os projetos devem conter as plantas das fôrmas, elevações das paredes, especificações e detalhamento das armações, localização de reforços, detalhes de encontros entre paredes e paredes com laje, juntas de controle ou construtivas, além das etapas construtivas, idades e resistências do concreto (ABNT, 2012). Segue tabela 3.1 com premissas básicas para concepção de projeto e dimensionamento.

Tabela 3.1 - Premissas básicas para concepção de projeto e dimensionamento descritas pela NBR 16.055:2012.

Premissas	
Projetos	Comprimento da parede maior ou igual a oito vezes a sua espessura;
	Espessura da parede maior ou igual a 10 cm, ressalvando que nas construções com até dois pavimentos, podem ser utilizadas paredes com espessura maior ou igual a 8 cm;
	Paredes predominantemente comprimidas com excentricidade geométrica nula;
	Resistência característica à compressão no concreto (f_{ck}) menor ou igual a 40 MPa
	As paredes não são calculadas para retração e dilatação térmica, devendo ser tomadas medidas preventivas no sistema construtivo.
Dimensionamento	Trechos de parede com comprimento menor que oito vezes a sua espessura devem ser dimensionados como pilar ou pilar-parede;
	Trechos de parede que tenham tensão solicitante característica superior a $0,20 f_{ck}$ devem ser dimensionadas como pilar ou pilar-parede;
	Paredes devem ser dimensionadas à flexo-compressão para o maior valor entre as seguintes excentricidades: - $(1,5 + 0,03 h)$ cm, onde h é a espessura da parede;

Pontos Críticos	- excentricidade decorrente da pressão lateral do vento não menos que 1 kN/m ² ;
	Obs.: Paredes com excentricidades maiores deverão ser calculadas pela NBR6118.
	Paredes com excentricidades maiores deverão ser calculadas pela NBR6118.
	Retração e temperatura;
	Extremidades das paredes;
	Caminhamento de esforços ao redor das aberturas;
	Região da transição entre a estrutura e a fundação.

Fonte: Autora, (2020)

3.4. MATERIAIS

Para a produção de edifícios em parede de concreto são utilizados números reduzidos e pouco variáveis de materiais. Os mais importantes são as fôrmas e escoramentos, os desmoldantes, as armações, os espaçadores, as instalações complementares - elétrica e hidráulica - e o concreto.

3.4.1. Fôrmas e Escoramentos

Fôrmas são suportes provisórios com finalidade de moldar o concreto fresco. Elas devem resistir às pressões exercidas pelo lançamento do concreto, serem estanques e não sofrerem deformações em suas peças. Estão disponíveis no mercado diversos tipos de fôrmas, o que torna de suma importância a escolha correta de sua tipologia para que o sistema construtivo em parede de concreto seja eficaz. Outro ponto crucial é o desenvolvimento e detalhamento dos projetos das fôrmas – posicionamento, peças de travamento, escoramento e peças auxiliares - para garantir que o produto final possua qualidade (COLETÂNEA DE ATIVOS, 2007-2008).

A norma que possui especificações para fôrmas e escoramentos de estruturas de concretos moldadas in loco é a ABNT NBR 15696:2009, o que inclui desde os materiais e equipamentos utilizados, até critérios de dimensionamento dos projetos e execução da estrutura.

Juntamente com esta norma, deve-se obedecer às exigências e particularidade da estrutura a ser produzida.

De acordo com a ABNT NBR 15696 (2009) os projetos de fôrma e escoramento devem conter informações referentes aos materiais utilizados; posicionamento dos elementos; critérios adotados para o dimensionamento da fôrma, como a pressão do concreto, a velocidade de lançamento, altura de concretagem e de vibração, consistência do concreto, metodologia de lançamento; além de detalhamento da correta execução da montagem (plantas, cortes, vistas e demais detalhes).

Segundo ABNT NBR 16055 (2012), o material utilizado para o sistema de fôrma deve atender aos requisitos básicos previstos no item 18.2.1 e às normas do produto, mantendo suas características e resistência, possibilitando o reaproveitamento das fôrmas em sua utilização sucessiva.

Segundo a Coletânea de Ativos (2007-2008), os modelos de fôrmas utilizados para a construção de paredes de concreto, são as que seguem:

- a) Fôrmas metálicas: utilizam perfis e chapas metálicas – de alumínio ou aço – tanto para estruturar os painéis quanto para dar acabamento nas peças concretadas. Este tipo de fôrma possui alta durabilidade (Figura 3.1).
- b) Fôrmas metálicas com compensado: constituídas por quadros metálicos – alumínio ou aço – e chapas de madeira compensada ou materiais sintéticos, sendo que os materiais metálicos compõem a estrutura dos painéis e as chapas de madeira ou sintéticos dão o acabamento na peça (Figura 3.2).
- c) Fôrmas plásticas: compostas por chapas e quadros de plásticos – recicláveis – em ambos elementos - estruturas dos painéis e acabamentos. Neste caso, necessita-se de contraventamento em estruturas metálicas. Possuem baixa durabilidade. (Figura 3.3).

Figura 3.1: Fôrma metálica

Fonte: Autora (2019).

Figura 3.2: Fôrma metálica com compensado.

Fonte: Coletânea Ativa (2007-2008).

Figura 3.3: Fôrma plástica.

Fonte: Coletânea Ativa (2007-2008).

Segundo Braguim (2013), cada tipo de fôrma possui características relevantes que devem ser consideradas ao serem escolhidas, como produtividade, peso dos painéis, quantidade de peças que compõem o sistema, durabilidade da fôrma, versatilidade à projetos, viabilidade econômica e de comercialização e suporte técnico do fornecedor.

Outro fator que interfere na escolha da fôrma é a tipologia a ser construída. As tipologias podem ser desde casas convencionais, sobrados, edifícios de térreos mais 3 pavimentos ou até mesmo edifícios acima de 5 pavimentos (ABCP, 2015).

As fôrmas ao serem recebidas no canteiro de obras devem ser conferidas e contabilizadas para garantir que nenhuma peça do sistema esteja pendente. A obra deve garantir também que a fôrma seja armazenada em local protegido de intempéries, produtos químicos ou agentes agressivos até sua utilização (MISSURELLI; MASSUDA, 2009).

3.4.2. Agentes Desmoldantes

Para facilitar a retirada das placas – fôrmas – após a estrutura concretada, aplica-se nas fôrmas agentes desmoldantes. Como mencionado no item 3.4.1, o sistema construtivo em PC admite o emprego de fôrmas em diferentes materiais – metálicas, plásticas e madeiras -, e o tipo de desmoldante escolhido dependerá da compatibilização com este material.

Segundo a ABNT NBR 16055 (2012) e ABNT NBR 15696 (2009), o agente desmoldante precisa ser apropriado para cada superfície garantindo que o concreto não tenha adesão à fôrma, não deixe resíduos na superfície da estrutura ou que comprometa a aderência do revestimento final da parede e não altere as características físicas e químicas do concreto.

A aplicação do produto deve atender as especificações do fabricante, orientações a requisitos ambientais e de saúde (ABNT NBR 16055, 2012).

3.4.3. Armações

A armação no sistema de PC tem o intuito de se integrar com o concreto e promover o aumento da resistência a tração da estrutura moldada (CARVALHO, 2012). Além de resistir a esforços de tração e flexotorção nas paredes, a armação também deve controlar a retração do concreto, estruturar e fixar as tubulações elétricas, hidráulicas e de gás (COLETÂNEA DE ATIVOS, 2007-2008).

Visto que a produtividade e a velocidade na execução são as principais características deste sistema construtivo, o tipo de armadura utilizado possui papel significativo para viabilizar o processo. Assim, adota-se a tela soldada posicionada no eixo vertical da parede como a armadura principal do sistema, sendo distribuída ao longo de toda sua extensão (REIS; BRAGA; NUNES, 2016).

As telas soldáveis possuem dois tipos de aplicações - simples ou dupla – sendo que a escolha dependerá da especificação do projeto estrutural. No caso de projetos com tela simples (Figura 3.4), uma única tela é colocada no eixo da parede. Para as telas duplas (Figura 3.5), como o próprio nome diz, são utilizadas duas telas no qual cada uma é posicionada verticalmente nas faces da parede, atentando-se para o cobrimento mínimo segundo norma e projeto. Para reforçar a estrutura são utilizados vergalhões em pontos específicos, por exemplo, na cinta superior, nas vergas e contravergas, nas bordas

livres ou em áreas que necessitem de maior resistência (MISSURELLI; MASSUDA, 2009).

Figura 3.4: Aplicação tela simples.

Fonte: Autora (2019).

Figura 3.5: Aplicação tela dupla.

Fonte: Coletânea de Ativos (2007-2008)

Para garantir o posicionamento das telas é necessário o uso de espaçadores plásticos (Figura 3.6) (MISSURELLI; MASSUDA, 2009).

Figura 3.6: Espaçadores plásticos.

Fonte: AECWeb (2019).

De acordo com a ABNT NBR 16055 - Parede de concreto moldada no local para construção de edificações – Requisitos e procedimentos (2012) existem algumas premissas básicas a serem cumpridas em relação às telas soldáveis em estruturas de concreto.

Telas simples:

a) para armação vertical, a seção mínima do aço deve corresponder a no mínimo 0,09% da seção do concreto. Permite-se a utilização de armadura mínima equivalente a 66% deste valor para edificações de até dois pavimentos;

b) para armação horizontal, a seção mínima do aço deve corresponder a no mínimo 0,15% da seção do concreto. Para paredes com até 6m de comprimentos horizontal, permite-se a utilização de armadura mínima equivalente a 60% deste valor e para construções de até 2 pavimentos, permite-se utilizar armadura mínima equivalente a 40% destes valores.

Telas duplas:

a) deve-se utilizar telas duplas quando a parede for maior que 15 cm de espessura, principalmente, em pavimento térreo, onde se está sujeito a choque de veículos;

b) na armação vertical, em parede com espessura menor do que 15 cm, a armadura mínima vertical deve ser aplicada a cada uma das faces;

c) armações horizontais permanecem iguais a de tela simples.

Em ambas as telas, o espaçamento mínimo entre as barras das armaduras verticais e horizontais não deve ser maior do que duas vezes a espessura da parede, sendo o máximo de 30 cm.

Reforços horizontais:

a) paredes com bordas superiores livre devem conter armadura horizontal com valor mínimo de 0,5 cm² em toda sua extensão e com uma distância de no máximo duas vezes a espessura da parede;

b) em aberturas com dimensões maiores ou iguais a 40 cm devem ser colocadas armaduras horizontais nas faces superior e inferior, sendo a seção da armadura determinada por modelo elástico ou biela-tirante, respeitando-se o mínimo de 0,5 m² em cada face e o comprimento que ultrapasse a face lateral da abertura em no mínimo o comprimento da ancoragem da barra acrescido de ¼ do vão da abertura.

Outra recomendação importante que a Coletânea de Ativos (2007-2008) se refere é quanto ao armazenamento das armações que deve ser feito de maneira que as mesmas não sofram danos ou perdas de seção do aço. Dessa maneira, pode-se realizar uma estocagem horizontal ou sob cavaletes, mas em ambos os casos, as telas devem ser separadas por tipo e local de aplicação.

3.4.4. Instalações

As instalações elétricas e hidráulicas em PC podem ser embutidas nas paredes, fixando-as nas telas soldadas (Figura 3.7). Entretanto, as tubulações verticais devem atender às condições estabelecidas na ABNT NBR 16055:2012 que determina as regras a seguir:

- a) possuir diâmetro máximo de 50 mm;
- b) possuir diâmetro menor que a metade da largura da parede;
- c) não ultrapassar 15°C de diferença de temperatura no contato entre a tubulação e o concreto;
- d) a pressão interna deve ser menor que 0,3 Mpa;
- e) os tubos metálicos não podem entrar em contato com as armaduras da parede a fim de se evitar a corrosão galvânica.

Figura 3.7: Tubulação embutida e fixada nas telas.

Fonte: Autora (2019).

Quando as tubulações não atenderem as condições citadas, as instalações podem ser feitas externamente às paredes com a utilização de shafts para fechamento (Figura 3.8) (REIS; BRAGA; NUNES, 2016).

Figura 3.8: Tubulação externa.

Fonte: Autora (2019).

Todo material que seja embutido na estrutura deve manter seu formato durante a concretagem e resistir a contaminações que danifiquem sua integridade, a do concreto ou a da armadura (ABNT NBR 16055, 2012).

3.4.5. Concreto

A parede de concreto deve seguir as especificações da ABNT NBR 6188:2007 – Projetos de estruturas de concreto e da ABNT NBR 16055:2012 – Parede de concreto moldado no local para a construção de edificações. Esta última apresenta as seguintes recomendações:

- a) Resistência à compressão para desforma compatível com o intervalo de concretagem;
- b) Resistência à compressão característica aos 28 dias. Especifica-se não ultrapassar 40 Mpa;
- c) Classe de agressividade do ambiente conforme ABNT NBR 12655 – Concreto de cimento Portland;
- d) Trabalhabilidade - medida pelo teste de abatimento do tronco de cone (slump test) conforme ABNT NBR NM 67 ou pelo espalhamento do concreto (slump

flow) de acordo com a ABNT NBR 15823-2. Recomenda-se que o slump test atinja um valor entre 180 a 230 mm e o slump flow entre 660 e 750 mm.

Outro requisito que a ABNT NBR 16055 (2012) menciona é o controle do módulo de elasticidade. Segundo Braguim (2013), a partir deste módulo determina-se o número de dias que as lajes devem permanecer com escoras.

Existem quatro tipos de concretos recomendáveis para o sistema de parede de concreto: o concreto celular; o concreto com alto teor de ar incorporado (até 9%); o concreto com agregados leves ou com baixa massa específica e o concreto autoadensável. O concreto autoadensável é o mais utilizado para este sistema construtivo, pois além de sua aplicação por bombeamento ser rápida, este concreto tem como característica a alta fluidez e plasticidade que evitam o uso de vibradores (CARVALHO, 2012).

A norma específica para concreto autoadensável é a NBR 15823:2010, a qual estabelece a classificação do concreto no estado fresco em relação a sua autoadensabilidade, determinando preceitos de controle por meio de ensaios e do recebimento do concreto. O concreto autoadensável (CAA) pode ser preparado e dosado tanto na obra quanto em centrais das concreteiras.

Tabela 3.2 - Características do CAA usado no sistema paredes de concreto.

Item	Classificação	Observação	Referência
Classe de agressividade ambiental	II (Moderada)	Área urbana	ABNT NBR 12655:2015
Fator água cimento a/c	$\leq 0,6$	-	ABNT NBR 12655:2015
Diâmetro máximo do agregado	12,5 mm	-	ABNT NBR 15823-1:2017
Slump test	180 a 230 mm	Antes da adição do aditivo.	ABNT NBR 15823-2:2017
Flow	700 ± 50 mm	-	ABNT NBR 15823-2:2017
Espalhamento	SF2	Espalhamento: 660 a 750 mm Aplicação: Adequada para a maioria das aplicações correntes.	ABNT NBR 15823-1:2017

Habilidade passante pelo anel J	PJ1	Anel J, 0 a 25 mm com 16 barras de aço. Caixa L $\geq$ 0,80, com três barras de aço. Caixa U até 30 mm. Aplicação: Adequada para a maioria das aplicações correntes; Elementos estruturais com espaçamentos de armadura de 60 mm a 80 mm.	ABNT NBR 15823-1:2017
Viscosidade	VS1	t500 > 2s. Funil V $\leq$ 8s. Aplicação: Adequado para elementos estruturais com alta densidade de armadura e embutidos, mas requer controle da exsudação e da segregação; Concretagens realizadas a partir do ponto mais alto com deslocamento livre.	ABNT NBR 15823-1:2017
Segregação	SR1	Coluna de segregação $\leq$ 15 %. Distância a ser percorrida < 5 m. Espaçamento entre armaduras < 80 mm.	ABNT NBR 15823-1:2017
Resistência de desforma fck	≥ 3 MPa	Após 12 horas.	
Resistência característica (fck)*	≥ 25 MPa	-	ABNT NBR 12655:2015

O tipo de cimento utilizado e seu consumo mínimo, dependerá de cada fornecedor e da definição ideal ao seu traço;

*A resistência característica à compressão no concreto (fck) deve ser menor ou igual a 40 MPa e atender aos requisitos de durabilidade em função da classe de agressividade ambiental;

*A resistência característica à compressão no concreto (fck) também dependerá da especificação do projetista.

Fonte: Autora (2020).

Segundo European Project Group (2005), na produção do CAA são utilizados os mesmos materiais aplicados nos concretos vibrados, sendo, cimento Portland, adições (minerais hidráulicas e pozolânicas, fíleres), aditivos químicos (geralmente superplastificantes e/ou modificadores de viscosidade), água e agregados, além de fibras e pigmentos.

Outros tipos de aditivos como retardadores ou aceleradores, entre outros podem ser relevantes, dependendo da finalidade a ser atingida (PEREIRA, 2010).

Entende-se como aditivo o produto adicionado e misturado ao concreto, em pequena quantidade, não ultrapassando 5 % da massa de ligante total contida no concreto, com o intuito de modificar alguma propriedade do concreto em seu estado fresco ou endurecido (ABNT, 2019).

Existem diferentes tipos de aditivos, como: retardador, acelerador, incorporador de ar, plastificante, superplastificante, modificador de viscosidade, entre outros, e cada um deles possuem influências distintas na resistência do concreto. Nos CAA, os aditivos superplastificantes, geralmente os mais utilizados, possuem propriedades de redução de água e são usados para aumentar a trabalhabilidade sem o acréscimo de água ou reduzir a água mantendo a mesma trabalhabilidade, ou seja, reduzindo a relação água/aglomerante ou mantendo-se a relação, aumenta-se a resistência do concreto devido ao efeito dispersor das partículas de cimento (ACI, 2004). Já os modificadores de viscosidade proporcionam ao CAA maior robustez, tornando-o mais homogêneo e coeso, mesmo sem alto teor de finos - cimento e adições- (COUTINHO, 2011).

De acordo com ABNT NBR 12655 (2015), ao utilizar aditivos recomenda-se algumas precauções para garantir o desempenho e a durabilidade do concreto, como:

- Não ultrapassar a dosagem, máxima, recomendada pelo fabricante;
- A utilização de aditivos, em quantidades menores do que 2 g/kg de cimento: diluir em parte da água de amassamento. Se o total líquido contido no aditivo exceder 3 dm³/m³ de concreto, este conteúdo deve ser considerado no cálculo da relação água/cimento;
- Verificar a compatibilidade entre os aditivos e adições utilizados, bem como os aglomerantes em ensaios prévios em laboratório.

As adições também são produtos adicionados ao concreto, porém em grandes quantidades, e essenciais para tornar o concreto coeso - ter menos tendência à segregação e à exsudação - e limitar o consumo de cimento Portland, com redução do calor de hidratação e retração térmica (EPG, 2005; MEHTA e MONTEIRO, 2008). Adições são materiais muito finos que possuem efeito físico de diminuição de vazios (efeito “fíler”) e efeito químico, no caso de adições reativas, de produção de silicato de cálcio hidratado, que podem substituir parte do cimento (SOUZA et al., 2008).

Usualmente, as adições mais utilizadas são sílica ativa, metacaulim, cinza de casca de arroz, cinza volante, escória de alto forno (adições reativas) e fíler calcário. O efeito nas propriedades do concreto dependerá do teor e reatividade da adição, ou seja, dependerá da

composição química, da superfície específica e da compatibilidade com o cimento e os aditivos utilizados (SOUZA et al., 2008).

De acordo com EPG (2005), a composição do CAA possui referências em valores de consumos, a saber:

- Materiais finos (partículas menores do que 0,125 mm) entre 380 kg/m³ e 600 kg/m³;
- Volume de pasta entre 300 L/m³ e 380 L/m³;
- Consumo de água entre 150 L/m³ e 210 L/m³;
- Consumo de agregado graúdo entre 270 L e 360 L;
- Teor de areia entre 48% e 55% da massa total dos agregados e;
- Relação água/materiais finos, em volume, entre 0,85 e 1,1.

Além das realizações dos ensaios e da escolha do concreto a ser utilizado, o acompanhamento e verificação do transporte, lançamento e cura do concreto são essenciais para a durabilidade da estrutura. A ABNT NBR 16055 (2012) possui as seguintes recomendações:

a) Transporte: o meio de transporte não pode ocasionar desagregação dos componentes ou perda por vazamento ou evaporação de água ou pasta, desta maneira o concreto deve ser transportado em tempo compatível com as condições de lançamento.

Este tempo se dá a partir da primeira adição de água até a entrega do concreto na obra, devendo ser inferior a 90 min. O tempo entre o início da mistura na central e o final da aplicação do concreto na forma não pode ultrapassar 150 min. Esse tempo deve ser respeitado a fim de evitar junta fria por meio do início de pega do concreto (Figura 3.9).

b) Lançamento: antes do lançamento deve-se verificar a trabalhabilidade e abatimento ou espalhamento do concreto. O concreto deve ser lançado de maneira homogênea e uniforme, a altura em queda livre não deve ultrapassar dois metros para evitar segregação. Deve haver cuidados especiais para não deslocar as armaduras, fôrmas e instalações. Em nenhuma hipótese, pode ser lançado concreto após o início de pega ou ocorrer contaminação com solo ou outros materiais.

c) Cura: o concreto deve ser curado e protegido para que agentes deletérios não prejudiquem a estrutura. Deve-se evitar a perda de água da superfície exposta, mudanças bruscas da temperatura, agentes químicos, choques e vibrações. Além disso, deve-se

assegurar uma superfície com resistência adequada e formação de uma capa superficial durável.

3.5. CONTROLE TECNOLÓGICO

A consulta e o cumprimento das normatizações são indispensáveis para execução de edifícios em concreto armado. Para que a estrutura concretada apresente segurança, estabilidade e garantia de vida útil, o controle tecnológico das obras deve respeitar as recomendações da ABNT NBR 12655 (2015) que contempla os itens que seguem:

- a) Ensaios de caracterização dos materiais constituintes do concreto;
- b) Conferência da dosagem utilizada. Todos os constituintes do concreto devem seguir o especificado;
- c) Realização de ensaio de consistência;
- d) Verificação da resistência de acordo com a ABNT NBR 5738 e NBR 5739 – usualmente aos 28 dias.

Durante cada concretagem, o ensaio de consistência é realizado no concreto fresco por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone - slump test – ou, no caso de concreto autoadensável, por meio do ensaio de espalhamento (slump flow).

3.5.1. Ensaio de abatimento do tronco de cone

O Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone deve ser realizado em uma amostra que represente todo o lote do concreto. Este ensaio tem como objetivo determinar a consistência e a fluidez do concreto, proporcionando o controle da homogeneidade do material em betonadas distintas.

O método de realização do ensaio, bem como os resultados a serem atingidos, podem ser encontrados na ABNT NBR NM67 (1998).

3.5.2. Ensaio de espalhamento

A ABNT NBR 15823-2 (2017) rege este ensaio e determina que o concreto a ser analisado seja homogêneo e represente todo o lote do concreto após a adição de aditivos.

Avalia-se nesse ensaio, a estabilidade do concreto por meio de sua fluidez em fluxo livre como efeito de seu peso próprio, avaliando seu espalhamento e tempo de escoamento. Objetiva-se analisar a ocorrência de segregação e exsudação da mistura.

3.5.3. Ensaio de habilidade passante em fluxo livre

A habilidade passante do concreto em fluxo livre de é regida pela ABNT NBR 15823-3 (2017). O ensaio de habilidade passante consiste em avaliar a capacidade da mistura em fluir sem ocasionar obstrução do fluxo ou segregação.

3.5.4. Cura

A cura é fator primordial para o concreto, pois influencia diretamente em sua resistência e durabilidade (METHA E MONTEIRO, 2008). O início da cura deve acontecer após a desforma das paredes para evitar a secagem prematura da estrutura e consequentemente ocorrer a hidratação correta do concreto. Quanto mais cedo iniciar a cura, menor a probabilidade de surgimento de fissuras superficiais na área exposta (ABNT, 2012).

3.6. EXECUÇÃO

As etapas de execução do sistema de parede de concreto são descritas a seguir e estão de acordo com a Coletânea de Ativos (2007-2008):

a) O tipo de fundação dependerá do tipo do solo do empreendimento, porém a mais utilizada é a laje – radier – que devem ser niveladas e impermeabilizadas. Além disso, possuírem arranques verticais e terem definidas as locações das instalações sanitárias (Figura 3.9);

Figura 3.9: Arranques verticais.

Fonte: Autora (2019).

b) antes de iniciar a montagem da armação e das fôrmas, é necessário marcar na fundação as linhas internas e externas das paredes que servirão de guia para o posicionamento dos painéis (Figura 3.10);

Figura 3.10: Marcação para posicionamento das formas.

Fonte: Autora (2019).

c) na montagem das telas soldadas e reforços (Figura 3.11), se faz necessário o uso de espaçadores para manter a armação na posição correta, garantindo o cobrimento das armaduras conforme normas e projeto (Figura 3.6);

Figura 3.11: Armação e reforços no vão da janela.

Fonte: Autora (2019).

d) os eletrodutos, quadros e caixas elétricas devem ser fixados nas telas soldadas e protegidos para se manterem estanques ao concreto (Figura 3.7);

e) a montagem dos painéis deve seguir a sequência executiva descrita em projeto (Figura 3.12). As placas devem ser conectadas por grampos e pinos (Figura 3.13). Posteriormente à conexão dos painéis, é necessário utilizar escoras prumadoras que auxiliem na montagem e possibilitem ajustes no prumo da parede (Figura 3.14);

Figura 3.12: Montagem das placas.

Fonte: Autora (2019).

Figura 3.13: Conectores de fôrmas - grampos e pinos.

Fonte: Autora (2019).

Figura 3.14: Escoras prumadoras.

Fonte: Autora (2019).

f) a concretagem é realizada por bombeamento do concreto (Figura 3.15). Antes de lançar o concreto, os resultados do slump test (Figura 3.16) e/ou do slump flow (Figura 3.17) são

verificados, a fim de atestar se o concreto respeita os padrões normativos. Lembrando que o slump test, será realizado somente se o aditivo for adicionado no local;

Figura 3.15: Bombeamento do concreto.

Fonte: Autora (2019).

Figura 3.16: Slump test.

Fonte: Autora (2019).

Figura 3.17: Slump flow.

Fonte: Autora (2019).

g) após a concretagem, realiza-se a cura da estrutura até que se atinja um endurecimento satisfatório. A cura pode ser úmida, química ou térmica;

h) a desforma é realizada posteriormente ao concreto ter atingido a resistência mínima à compressão, que segundo a ABNT NBR 16055, é de 3 Mpa após 14 horas (Figura 3.18);

Figura 3.18: Desforma das paredes.

Fonte: Autora (2019).

- i) após a desforma, continua-se a cura da estrutura até que o concreto atinja sua resistência característica;
- j) deve-se realizar a estanqueidade dos pontos de conexão das fôrmas - grampos e pinos - com argamassa compatível com o da estrutura
- k) antes da próxima concretagem, as fôrmas devem ser limpas com jatos de água, espátulas ou escovas para a remoção de crostas de concreto;
- l) após a limpeza, aplica-se desmoldante nas placas. A escolha do desmoldante depende do tipo de superfície na qual se aplica.

3.6.1. Acabamentos e revestimentos

A parede de concreto apresenta grande resistência a agentes agressivos e boa estanqueidade à água, além de não necessitar de componentes adicionais para isolamento termoacústico. Outra característica que contribui para agilidade do sistema construtivo são as superfícies lisas e planas, o que propicia na redução das etapas de serviços eliminando a necessidade da preparação da sub-base - chapisco e emboço de regularização (FONSECA JR, 2010).

Segundo Monge (2015) o sistema construtivo em parede de concreto se torna mais produtivo e com menor custo, quando comparado aos sistemas tradicionais, justamente pela diminuição das etapas construtivas (Figura 3.20).

Figura 3.19 - Etapas construtivas Sistemas Tradicionais x Parede de Concreto.

Fonte: Autora, adaptado Rodada do conheCIMENTO 26 (2020).

Como consequência a aplicação dos revestimentos cerâmicos e acabamentos podem ser aplicados diretamente na superfície do concreto sem que ocorra a preparação da sub-base (Figura 3.20). A cerâmica, tanto interna quanto externa, pode ser aplicada diretamente na base com argamassa colante (COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO, 2010). O mesmo ocorre com a aplicação de texturas, gesso ou massa corrida (MONGE, 2015).

Figura 3.20 Recebimento de acabamentos: Sistemas Tradicionais x Parede de Concreto.

Fonte: Autora, adaptado Rodada do conhecimento 26 (2020).

Concorda-se com Monge (2015) e Coletânea de Ativos (2010), quanto as precauções e atenções a serem tomadas antes da aplicação dos revestimentos e acabamentos, a saber:

- Aconselha-se que após a desforma retire as rebarbas dos encontros de formas com uma espátula e preencha os vãos das cunhas que ligam as fôrmas;
- Não deixar na parede resíduos do desmoldante utilizado na fôrma, pois pode comprometer a aderência dos acabamentos;
- Atentar-se para as juntas de movimentação e de dessolidarização.

3.7. PRAZO E PRODUTIVIDADE

A tecnologia em parede de concreto moldada in loco, se aproxima do conceito de industrialização, uma vez que as unidades são geradas em grande escala devido a sua alta velocidade de execução. Com base neste conceito de industrialização sabe-se que qualquer pausa ou imprevisto na produção podem ocasionar prejuízos. Por outro lado, a padronização do produto permite ganhos na produtividade das equipes, redução nos esforços de projeto e validações, além da reutilização de projetos e materiais entre canteiros de obras. Mas sem dúvidas a redução do prazo da construção é a principal razão para a escolha deste sistema construtivo (COLETÂNEA DE ATIVOS 2011/2013).

Contudo, a agilidade da produção apenas é possível se a obra possuir um plano de execução estruturado e validado por profissionais que entendam a tecnologia e suas especificidades, além de um gerenciamento rigoroso (COLETÂNEA DE ATIVOS 2011/2013). Segundo Wendler (2012), o prazo do sistema está relacionado com a concretagem diária das paredes e laje, que de acordo com a Coletânea de Ativos (2011/2013) denomina-se ciclo de concretagem. Entende-se como ciclo o período da montagem da forma, concretagem e desforma de um mesmo jogo de fôrmas, estando inclusas neste período todas as etapas necessárias, desde montagem das armaduras, embutidos e concretagem (COLETÂNEA DE ATIVOS 2011/2013).

Segundo Cione (2016), em condições perfeitas, é possível executar ciclos de concretagens de 2 dias, sendo o primeiro a montagem da armação e instalações elétricas das paredes, o segundo dia o posicionamento e travamento das fôrmas das paredes/lajes e a concretagem. Portanto, um edifício de 4 pavimentos estará completamente concretado em 9 dias.

De acordo com Wendler (2012) um prédio de térreo mais 4 pavimentos tipo com 4 unidades por andar construído em parede de concreto, pode ser concluído em aproximadamente 70 dias, contando desde a fundação ao acabamento, sendo 30 dias para terraplanagem e fundação; 15 dias para toda a estrutura, que já é também a vedação; e por fim, cerca de 20 a 30 dias para o acabamento final.

A competitividade do sistema construtivo em parede de concreto no mercado habitacional é potencializada através da alta produtividade da mão de obra. Esta produtividade pode ser afetada pela escolha da tipologia da obra; por projetos – fôrmas, armaduras e embutidos-; pelas instalações; processos e treinamentos da equipe. (COLETÂNEA DE ATIVOS 2009/2010).

Um dos melhores indicadores para mensurar a eficiência do sistema construtivo e do processo de produção é a produtividade da mão de obra. Por tanto, o conhecimento dos fatores que interferem no ciclo de produção, contribui para a melhoria da produtividade e consequentemente no aperfeiçoamento dos processos construtivos, diminuindo custos e elevando a qualidade do produto (COLETÂNEA DE ATIVOS 2011/2013).

A Coletânea de Ativos (2010) apresenta como referência indicadores produtividade para fôrmas de alumínio. A saber:

- Montagem de fôrmas = 18 a 25 m² /dia/homem (por face de fôrma);
- Armação = 60 m² de parede/dia/homem;
- Instalações elétricas embutidas = 80 m² de parede/dia/homem.

Lembrando que estas referências podem sofrer alterações em função de diversas variáveis.

Uma vez que atrase a produção, diferentemente de outros sistemas construtivos tradicionais, o ciclo não é facilmente recuperado, pois se restringe a quantidade de jogos de fôrmas e sua concretagem. Desta forma, a gestão e o cumprimento do planejamento da obra são primordial para manter o prazo de entrega das unidades (COLETÂNEA DE ATIVOS 2011/2013).

De acordo com a Coletânea de Ativos (2013) para manter-se a produtividade do sistema construtivo em parede de concreto, deve-se definir os ciclos e estratégias de ações da produção, conforme a tipologia do produto, tendo em consideração:

- Produtividade da equipe x ambiente;
- Dimensionamento da equipe;
- Roteiro e sequência de produção;
- Recursos necessários para cada equipe (equipamentos, ferramentas e acessórios).

3.8. ÍNDICE DE LIGANTES

Quando pensamos em sustentabilidade em um sistema construtivo, existem duas vertentes a ser levada em consideração, a primeira é o impacto ambiental da produção dos materiais utilizados no sistema - no caso do sistema mencionado, o concreto – e em segundo, o quanto de resíduos será gerado na execução da edificação.

De acordo com a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, criada pela Organização das Nações Unidas - ONU, define-se sustentabilidade como a capacidade de suprir as necessidades do presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras (NAIK, 2008).

A preservação dos recursos naturais e seu uso consciente são inevitáveis para que o desenvolvimento sustentável seja alcançado. Desta forma, é dever da indústria garantir a sustentabilidade incentivando a implantação de práticas ambientais, a partir da racionalização do uso de matérias primas, energia e água (BORBA, 2009).

No sistema construtivo de parede de concreto o material mais utilizado é o concreto armado. Para a fabricação do concreto o principal aglomerante utilizado é o cimento Portland, o qual, sua produção é considerada um dos maiores poluentes do mundo, tendo como principais impactos ambientais a (BENTO, 2016):

- a) Emissão atmosféricas dos gases: óxidos de nitrogênio ($\text{NO}_x = \text{NO}_2$ e NO), dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de carbono (CO_2), compostos orgânicos voláteis (VOC) entre outros;
- b) Emissões de ruído e vibrações, odores, água de processo, geração de resíduos, etc.;
- c) Consumo de recursos naturais (energia e matéria-prima).

Segundo Metha e Monteiro (2008), são liberados na atmosfera cerca de 1 tonelada de CO_2 para cada tonelada de cimento produzida, isso ocorre devido a reação química da calcinação do calcário, principal componente do cimento, e a combustão dos combustíveis fósseis dos fornos.

Sabe-se que com o estudo de traço, consegue-se diminuir o consumo de cimento utilizado no concreto. O concreto tem a capacidade de incorporar como material constituinte diversos resíduos provenientes da indústria e da agricultura, contribuindo para a redução de impactos ambientais de seu próprio processo produtivo e de diferentes segmentos (SANTOS, 2013).

A substituição do clínquer por adições de subprodutos oriundos de outras cadeias produtivas, como cinzas volantes, originada da queima de carvão mineral de termoeletricas, escória de alto-forno, provinda da produção do ferro-gusa, cinza de casca de arroz, metacaulim e sílica ativa, contribuem efetivamente para redução dos impactos ambientais da utilização do concreto, uma vez que, diminui-se o teor de cimento no concreto preservando seu desempenho mecânico e de durabilidade. (DAMINELI, 2013).

De acordo com Cândido (2018) e Damineli (2013), a otimização da composição do concreto, contendo baixo teor de ligante, apresenta-se como uma alternativa viável e estratégica para a redução de emissões de CO_2 e aumento da sustentabilidade no setor da construção civil. Segundo Damineli (2013), o consumo de ligante na composição do concreto deve ser considerado como um fator importante na medição do impacto ambiental. Desta forma, consegue-se avaliar o desempenho ambiental do concreto por meio do Índice de Ligantes (IL) que resulta da relação entre o consumo de ligantes e a resistência à compressão do concreto. A equação que rege essa relação pode ser observada abaixo:

$$\text{IL} = l/rc \quad (1),$$

Em que:

l = Consumo de ligantes do concreto;

rc = Resistência à compressão aos 28 dias.

Por meio desta equação, permite-se medir o desempenho da dosagem realizada nas construções, em que quanto maior o IL, maior o consumo de ligantes para realizar uma determinada aplicação do concreto, o que menos ecologicamente eficiente (DAMNILENI, 2013).

Concorda-se com Naik (2018), que a sustentabilidade na construção civil deve considerar todo o ciclo de vida do edifício, desde o projeto, construção, manutenção, demolição e reciclagem, no qual, o impacto ambiental deste ciclo seja mínimo. A sustentabilidade engloba também o uso racional dos recursos naturais para mitigar o impacto ambiental do setor da construção civil. Para tanto, a produção de estruturas duráveis é essencial.

3.9. MANUTENÇÃO

As edificações são executadas para atender as necessidades de seus usuários ao longo do tempo e devem resistir aos agentes ambientais e aos usos inadequados que prejudiquem a estrutura (ABNT NBR 5674, 2012).

Em estruturas de concreto, podem ocorrer irregularidades de elementos do sistema ou problemas relacionados a baixa durabilidade, os quais devem ser avaliados e devidamente reparados a fim não haver comprometimento da estabilidade e da segurança da estrutura (AZEVEDO, 2011).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), é preciso prevenir o surgimento e desenvolvimento de manifestações patológicas.

A manutenção deve ser classificada como um serviço técnico programado e percebida como um investimento na preservação patrimonial. Portanto, a implantação de um programa de manutenção preventiva e corretiva nas edificações é indispensável para a segurança, qualidade de vida dos usuários e preservação da vida útil da construção (ABNT NBR 5674, 2012).

De acordo com a ABNT NBR 5674:2012, um programa de manutenção deve prever recursos financeiros, materiais, técnicos e humanos para realizarem os diferentes tipos de manutenções, a saber:

- a) manutenção rotineira: definida por serviços periódicos, como limpeza e lavagem de áreas comuns.
- b) manutenção corretiva: caracterizada por serviços que necessitam de ações imediatas a fim de evitar riscos e prejuízos aos usuários bem como para propiciar a continuidade do uso do sistema.

c) manutenção preventiva: definida por serviços programados que atendam as solicitações dos usuários e promovam maior durabilidade do sistema e elementos em uso. Além disso, tem como função verificar as ocorrências conforme sua gravidade e urgência e gerar relatórios de verificação periódica sobre a condição de deterioração.

3.10. EVOLUÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO

Diante da alta utilização do sistema construtivo de parede de concreto e sua consolidação no mercado habitacional que demonstram as vantagens de aplicabilidade e benefícios econômicos, o desafio atual compete à novas pesquisas e aperfeiçoamentos tecnológicos, proporcionando a evolução contínua do sistema.

Estudos de vanguarda vêm apresentando desempenhos satisfatório para este sistema construtivo. Uma pesquisa realizada na China demonstrou que as paredes de concreto aplicadas em arranha-céus, possuem resistência suficiente para suportar a força de cisalhamento provocado pelo vento e por cargas sísmicas (PAN et al, 2020). Com a mesma linha de raciocínio, Jankovic et al (2019), propõem em seu estudo a necessidade da revisão da Eurocode 8 - norma europeia criada para execução de estruturas que resistam a terremotos - voltada para edifícios altos construídos em concreto armado.

A fim de melhorar a qualidade do sistema construtivo, a pesquisa de Cai et al (2020) analisou o comportamento cíclico das juntas verticais parafusadas nas fôrmas em edifícios baixos. Os resultados demonstraram que o número e as propriedades dos parafusos de aço possuem influência significativa no desempenho das conexões e nos modos de falhas das juntas.

Estes e outros estudos contribuem com o aperfeiçoamento da tecnologia na construção civil e na competitividade do sistema construtivo de parede de concreto moldado *in loco*.

CAPÍTULO 4 – MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Desde o início da civilização, o homem expandiu seu conhecimento, o que o permitiu construir edifícios que suprissem suas necessidades (LICHTENSTEIN, 1985). Estas construções eram guiadas pelo bom senso e a experiência do profissional, sendo a durabilidade mera consequência (HELENE, 1997).

Com o decorrer do tempo, houve preocupações com algumas construções que revelaram desempenho insatisfatório. Contudo, preocupava-se com problemas pontuais, geralmente relacionados a falta de segurança estrutural. Com o avanço das tecnologias contrutivas e com a modernização da sociedade, surge a necessidade de analisar o desempenho das edificações, o que inclui as manifestações patológicas que comprometem a vida útil das construções (LICHTENSTEIN, 1985).

As manifestações patológicas podem surgir entre a reação dos agentes agressivos encontrados nos ambientes com as edificações, gerando uma gama de fenômenos físicos, químicos e biológicos na estrutura (LICHTENSTEIN, 1985).

Outro fator a ser enfatizado para vida útil das estruturas é a abordagem integral e entendimento geral dos fenômenos, ou seja, todas as fases do processo construtivo – projeto; materiais e componentes; execução e etapas de uso - necessitam de planejamento e coordenação (HELENE, 1997).

Segundo Lichtenstein (1997), uma construção não deve ser examinada apenas quando apresentar queda de desempenho ou fenômenos patológicos, mas por meio de inspeções periódicas. Nessas inspeções, pode-se deparar com componentes ou materiais que demonstrem alterações, mas que não se enquadrem até o momento como patologias. Desta forma, a solução da manifestação, geralmente, é superficial e reversível.

Assim, as edificações devem ser projetadas, executadas e utilizadas, respeitando-se as condições ambientais, as manutenções preventivas e mantendo-se a segurança, estabilidade e o aspecto visual aceitável durante o período pré-estabelecido por projeto.

O enfoque deste capítulo será no desempenho da edificação e as possíveis manifestações patológicas encontradas no sistema construtivo de painéis monolíticos de concreto moldados in loco.

4.1. DESEMPENHO DA EDIFICAÇÃO

A utilização do concreto em construções vem de longa data. No início de sua difusão as estruturas eram projetadas por meio da experiência do profissional e a única característica considerada e especificada em projeto era resistência a compressão (R) (POSSAN, 2010).

Ao longo dos anos houve grandes mudanças nas tecnologias e materiais aplicados na construção, bem como, seu ambiente de exposição e parâmetros de cálculos. Assim sendo, constatou-se que o concreto armado apresentava limitações e que os critérios de resistência eram insuficientes para exigências de projeto. Desta maneira, outros quesitos foram determinados para atender as necessidades dos projetos, ressalta-se: a durabilidade (D) da estrutura e de seus insumos, associados aos conceitos de desempenho (D) - o comportamento em uso – e a vida útil (VU) – comportamento com o tempo. Recentemente, fatores como custo, competitividade e sustentabilidade também estão sendo introduzidas nos projetos, para que as construções sejam projetadas de forma holística, pensando no seu ciclo de vida (CV) e nos custos associados (CCV- Custo do Ciclo de Vida) (POSSAN, 2010).

4.1.1. Desempenho

Segundo ABNT NBR 15.575-1 (2013), pode-se definir desempenho como o comportamento em uso. Pensando em desempenho da edificação, entende-se como as condições mínimas de habitabilidade necessárias para que um ou mais indivíduo possa utilizar o ambiente por um determinado tempo, ou seja, condições aceitáveis de conforto térmico e acústico, higiene, segurança, entre outras.

Salienta-se na norma 15.575-1 (2013), que a concepção de desempenho varia de usuário para usuário, pois, dependerá das necessidades de cada indivíduo e/ou dos cuidados de uso (manutenção) dos mesmos. Assim como, as condições de exposição do ambiente onde está inserida edificação - temperatura, umidade, insolação e ações externas.

Determina-se o desempenho de uma edificação mediante a definição de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação, que permitam a mensuração clara do seu atendimento (ABNT, 2013). De acordo com a ABNT NBR 15.575-1 (2013), existem 12 critérios de desempenho, a saber:

- Desempenho estrutural;
- Segurança contra incêndio;
- Segurança no uso e operação;

- Estanqueidade;
- Desempenho térmico;
- Desempenho acústico;
- Desempenho lumínico;
- Durabilidade e Manutenabilidade;
- Saúde, higiene e qualidade do ar;
- Funcionalidade e acessibilidade;
- Conforto tátil e antropodinâmico;
- Adequação ambiental.

Em suma, deve-se entender junto ao usuário os requisitos de desempenho adequados para uma edificação e baseado nestes requisitos qualitativos - segurança, resistência, conforto, boa estética, etc. – determina-se os critérios de desempenho - estabilidade estrutural, resistência ao fogo, conforto térmico e acústico, durabilidade, etc. – sempre consultando as normativas pertinentes.

Recomenda-se como ferramenta para a avaliação /comprovação de desempenho testes laboratoriais e modelagem matemática que estimem a vida útil e analise o desempenho da estrutura (ABNT, 2013).

4.1.2. Durabilidade

A ISO 13823 (2008), define durabilidade como a capacidade de uma estrutura ou de seus componentes de satisfazer – com manutenção planejada - os requisitos de desempenho do projeto, por um período determinado de tempo sob influência das ações ambientais ou como consequência do processo de auto envelhecimento. A durabilidade está diretamente relacionada à vida útil. Segundo Mehta e Monteiro (2008), durabilidade é sinônimo de uma vida útil longa.

De acordo com Possan e Demoliner (2013), a durabilidade não é uma característica intrínseca dos materiais, mas uma função associada com o desempenho dos mesmos sob as condições ambientais onde estão inseridos, uma vez que o envelhecimento da estrutura provém das alterações das propriedades mecânicas, físicas e químicas, muitas vezes decorrentes da agressividade do ambiente. Basicamente a durabilidade é uma visão retrospectiva do desempenho de uma estrutura.

4.1.3. Vida útil

A ISO 13.823 (2008) e a ABNT NBR 15.575 (2013), descrevem vida útil (VU) como o período real de tempo durante o qual uma estrutura ou qualquer um de seus componentes atendam os critérios de desempenho do projeto, sem que haja grandes intervenções de manutenções ou reparos inesperados.

Para projetar uma edificação devem ser considerados valores teóricos calculados como a vida útil de projeto (VUP), o qual serão influenciados pelas ações ambientais e de manutenções do usuários. Segundo ABNT NBR 15575 (2013), vida útil de projeto (VUP) é a estimativa do tempo que constitui o tempo de vida útil da estrutura, podendo ou não ser alcançada em função da eficiência das manutenções, de alterações no entorno da obra, fatores climáticos, etc. A Norma de desempenho salienta a importância da realização de operações de manutenções por parte do usuário, o qual interferirá diretamente no alcance da VUP. Além das ações de manutenção, destaca-se a necessidade da entrega do manual do usuário, com orientações de uso, operação e da frequência destas manutenções.

A vida útil é expressa em anos e determinada na maioria das Normas e Códigos do Concreto uma VUP mínima de 50 anos para a maioria das estruturas (ABNT, 2013).

De acordo com a NBR 15.575 (2013), existem cinco critérios para se alcançar a VUP mínima, a saber:

- a) Emprego de componentes e materiais de qualidade compatível com a VUP;
- b) Execução com técnicas e métodos que possibilitem a obtenção da VUP;
- c) Cumprimento em sua totalidade dos programas de manutenção corretiva e preventiva;
- d) Atendimento aos cuidados preestabelecidos para se fazer um uso correto do edifício;
- e) Utilização do edifício em concordância ao que foi previsto em projeto.

Os itens “a” e “b” são considerados, pela norma, como essenciais para o edifício atingir completamente a VUP, sendo que a inclusão destes dependerá do projetista e construtor. Já os itens “c”, “d” e “e” são primordiais para se atingir efetivamente a VUP e dependerá do usuário.

Perante as incertezas ao processo de degradação da estrutura, a vida útil real de uma estrutura pode não ser a mesma da vida útil de projeto inicialmente especificada. Portanto, para atingir o VUP é preciso uma margem de tempo ou um nível de desempenho adequado,

considerando, além da percepção da engenharia, o aspecto econômico e não técnico (POSSAN e DEMOLIER, 2013).

4.1.4. Agressividade do ambiente

Segundo ABNT NBR 6118 (2014), a agressividade do meio ambiente está associada as reações físicas e químicas atuantes na estrutura de concreto, independentemente das ações mecânicas e alterações volumétricas (térmicas, por retração hidráulica ou por dimensionamento estrutural).

Ao classificar a agressividade do ambiente em que uma edificação está inserida, deve-se considerar o micro e macro clima da região (HELENE, 1997). A Tabela 4.1 encontra-se na ABNT NBR 6118:2014 e exibe a classificação de agressividade ambiental para estruturas em concreto armado e protendido.

Tabela 4.1 (Tabela 6.1 da NBR 6118). Classe de agressividade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Frac	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

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

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

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

Fonte: ABNT NBR 6.118 (2004)

Helene (1997) afirma que os materiais utilizados, suas composições e dosagens são critérios que determinam a resistência do concreto ao meio agressivo em que está inserido. Os critérios considerados na avaliação da resistência são:

- a) Tipo e consumo de cimento;
- b) Tipo e consumo de adições;
- c) Relação água/cimento;

d) Natureza e dimensão máxima do agregado.

A definição da classe de agressividade ambiental (CAA) associada a escolha dos materiais e suas composições, são quesitos fundamentais na concepção do projeto estrutural, pois influenciará na definição de valores mínimos de resistências a serem adotados, bem como, no valor mínimo de cobrimento de armadura e na máxima abertura de fissura permitida.

4.2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS X ETAPAS CONSTRUTIVAS

As manifestações patológicas que são encontradas em estruturas de concreto em até dois anos, normalmente, referem-se as etapas de planejamento, projeto, fabricação e construção, porém, ao longo dos anos com a utilização da edificação esses problemas também podem se manifestar. O concreto armado, por ser um material inerte, está suscetível a alterações pela interação entre os insumos que o constitui - cimento, areia, brita, água e aço -, com os aditivos e com agentes externos - ácidos, bases, sais, gases, vapores e micro-organismos- (SAMPAIO et al., 2016).

Segundo Pedro et al. (2002), as enfermidades encontradas nas estruturas de concreto podem ser classificadas como congênitas, construtivas, adquiridas e acidentais, a saber:

- **Congênitas:** são as que originam-se na fase de projeto, em consequência de omissões de detalhamentos ou por não atendimento as Normas técnicas.
- **Construtivas:** são as relacionadas a fase de execução e ocorrem em razão da mão-de-obra pouco qualificada, materiais não certificados ou de baixa qualidade e ausência de procedimentos para execução dos serviços.
- **Adquiridas:** são as que surgem ao longo da vida útil da edificação, como resultado da exposição da estrutura ao meio ao qual está inserida;
- **Acidentais:** são ocorrências provocadas por fenômenos atípicos, resultado de alguma solicitação incomum na estrutura.

As falhas que ocorrem durante a realização de uma ou mais atividades do processo construtivo originam as manifestações patológicas. De acordo com Helene (2003), divide-se em cinco etapas os processos de construção e uso, sendo elas: planejamento, projeto, fabricação de materiais, execução e uso, conforme Figura 4.03. A etapa de uso corresponde a etapa mais longa, uma vez que são utilizadas por grande período de tempo, geralmente mais de 50 anos, e engloba a operação e manutenção da edificação. Já as demais etapas - planejamento, projeto,

fabricação de materiais e execução -, dispõem de um tempo relativamente curto, em geral menos de dois anos.

Figura 4.1: Origem dos problemas patológicos com relação às etapas de produção e uso das obras civis.

Fonte: Adaptado pelo autor, de Helene (2003, p. 25).

O surgimento de certas manifestações são originadas devido a falta de zelo durante as etapas de produção, ou seja, projeto, execução ou uso. Conforme a Figura 4.03, a maior incidência de manifestações patológicas ocorrem nas fases de planejamento e projeto, as quais, geralmente, advêm da ausência ou carência de detalhamentos e de estudo da estrutura, acarretando durante a execução tomadas de decisões adaptadas e apressadas (HELENE, 2003).

Segundo Silva e Jonov (2018), a incidência da origem das manifestações varia de país para país, conforme tabela a seguir:

Tabela 4.2: Origem dos problemas patológicos com relação às etapas de produção e uso das obras civis.

	CAUSAS (%)			
	Projeto	Materiais	Execução	Utilização
Inglaterra	49	11	29	10
Alemanha	40	14	29	9
Bélgica	46	15	22	8
França	37	5	51	7
Espanha	32	16	39	13
Brasil	18	7	51	13

Fonte: SILVA e JONOV (2018).

Como observado na figura 4.04, no Brasil, a principal causa ocorre na etapa de execução. Segundo análise dos pesquisadores Carmona et al., citados por Silva e Jonov (2018), as incidências de enfermidades nas estruturas estão relacionadas a execução, em seguida projetos, utilização, materiais, fortuitas (causas acidentais), manutenção e outros (Figura 04.05).

Figura 4.2: Incidências das origens das enfermidades nas estruturas no Brasil (Carmona).

Fonte: Adaptado pelo autor, de SILVA e JONOV (2018).

As manifestações patológicas são oriundas de diversas causas, ou seja, os problemas estão associados a falhas que ocorrem durante a realização de algum processo construtivo. Assim sendo, a determinação de qual etapa tem sido responsável, ao longo do tempo, pelos maiores quantidades de erros é de suma importância para que se possa intervir e realizar alterações nos processos, a fim de evitar a recorrência dos mesmos e de novos problemas nas edificações (SAMPAIO et al., 2016)

Segundo Helene (1992), problemas patológicos evoluem e se agravam com o passar do tempo, acarretando outros problemas relacionados ao inicial. Desta forma, quanto mais cedo as correções forem realizadas mais duradouras, efetivas, fáceis de executar e baratas elas serão. A chamada “lei de Sitter” comprova a afirmação anterior, demonstrando através de uma progressão geométrica da evolução do custo sobre a intervenção.

Para construir o gráfico, dividiu-se as etapas construtivas e de uso em quatro períodos: projeto, execução, manutenção preventiva (que ocorre antes dos três primeiros anos) e manutenção corretiva (efetuada com o surgimento dos problemas), onde, cada etapa

corresponderá a um custo seguindo uma progressão geométrica de razão cinco, conforme figura 4.06 (HELENE, 2004).

Figura 4.3: Custo relativo da intervenção.

Fonte: HELENE (2004).

De acordo com Helene (2004), cada etapa possui um significado em relação a intervenção, a saber:

- **Projeto:** medidas tomadas durante o projeto com o intuito de aumentar a segurança e durabilidade da estrutura, implica em um custo associado ao número 01 (um). Ex.: aumentar o cobrimento da armadura, especificação da relação água/cimento, entre outros.
- **Execução:** medidas extraprojeto, ou seja, tomadas durante a execução ou durante a obra recém-construída, implica em um custo 05 (cinco) vezes maior se comparado ao custo a nível de projeto para obtenção do mesmo grau de segurança e durabilidade da estrutura. Ex.: Reduzir em obra a relação a/c do concreto para aumentar a durabilidade e proteção da armadura. Esta alteração feita durante a etapa de projeto redimensionaria automaticamente a estrutura considerando um concreto de resistência elevada, de menor módulo de deformação, de menor deformação lenta e de maiores resistências iniciais, bem como, a redução das dimensões dos componentes estruturais, redução de taxa de armadura, redução de volumes e peso próprio, entre outras.
- **Manutenção preventiva:** medidas tomadas com antecedência e previsão no período de uso e manutenção da edificação. Quando comparada com a manutenção corretiva, seu custo é 05 (cinco) vezes menor. Porém, seu custo passa a ser 25 (vinte e cinco) vezes maior quando associado a etapa de projeto para

obtenção do mesmo grau de segurança e durabilidade da estrutura. Ex.: Estucamento ou reestucamento das superfícies aparentes, pinturas com vernizes e hidrofugantes, renovação ou construção de rufos, pingadeiras, beirais e outras medidas de proteção.

- **Manutenção corretiva:** medidas tomadas para os problemas evidentes, ou seja, trabalho de diagnóstico, prognóstico, reparo e proteção das estruturas que já apresentam manifestações patológicas. Esta etapa corresponde a um custo 125 (cento e vinte e cinco) vezes superior ao custo da etapa de projeto.

Percebe-se que ao adiar a intervenção gera-se um aumento dos custos diretos em progressão geométrica de razão cinco, isto significa que ao postergar as tratativas, o custo da obra aumentará cinco vezes do valor do orçamento inicial (HELENE, 1992).

4.3. PATOLOGIA NO SISTEMA CONSTRUTIVO DE PAREDE DE CONCRETO

A maior preocupação no sistema monolítico de parede de concreto moldado *in loco* é a possibilidade de fissuração, por se tratar de uma estrutura rígida e com alta restrição à variação volumétrica. O sistema consiste em uma estrutura que gera altas tensões quando submetida a deformações, como a retração (WENDLER e MONGE, 2018). Segundo Wendler e Monge (2018), a retração tem direferentes causas, a saber:

- **Retração plástica inicial:** ocorre pela perda de água com o concreto ainda não endurecido;
- **Retração química:** ocorre em função de um menor volume dos cristais formados na reação do cimento;
- **Retração hidráulica (secagem):** ocorre pela perda de água quando o cocnreto já esta endurecido.

Por isso, é primordial a especificação do material em projeto, bem como o estudo de dosagem e ensaios de pré-caracterização para o recebimento e uso do concreto. Retrações acima do normal, podem ocorrer quando algumas cautelas não são tomadas e como consequência potencializam a retração na estrutura, como: a dosagem do concreto autoadensável (com poucos finos e muita água); a falta de cura, o que provoca grande perda de água inicial; desforma com muito impacto, acarretado pelo uso insuficiente de desmoldante ou por utilização de ferramentas impróprias para a retirada das fôrmas; e por qualquer tipo de vibração que ocorra

no terreno, após a concretagem das paredes, como exemplo o uso de rolo vibrador para terraplagem (WENDLER e MONGE, 2018).

Segundo Wendler e Monge (2018), as fissuras, geralmente, aparecem em pontos específicos, como:

- Paredes extensas sem junta de controle;
- Cantos de janelas e portas;
- No primeiro pavimento em função da restrição de movimentação imposta pela fundação;
- No último pavimento por efeito da dilatação térmica da laje de cobertura;
- Posicionamento de eletrodutos, seja pela má disposição, falta de espaçador entre tela x eletroduto ou tela e fôrma;
- Juntas frias:
 - Horizontal: entre pavimentos;
 - Vertical: entre concretagem de dias consecutivos;
 - Inclinado: entre concretagens de caminhões subsequentes com intervalo após o início de pega.

Além de detectar a fissura, deve-se classificá-la como ativa (viva ou instável) ou inativa (morta ou estável) para determinação do correto tratamento. As fissuras identificadas como ativas são as que apresentam variação de abertura e as inativas são as que a variação está estabilizada, ou seja, não ocorrem (NBR 15.575:2013). A variação pode ser medida através de “selos” rígidos (de gesso ou plaquetas de vidros) colados, que são rompidos caso haja variação de abertura da fissura, ou por medição direta utilizando fissurômetro (SAMPAIO et al., 2016).

De acordo com Piancastelli (1997), a posição em relação a peça estrutural, a abertura, a direção, profundidade e a forma de evolução das fissuras indicam suas possíveis causas.

Segundo Sampaio et al. (2016), além das fissuras, outras manifestações patológicas podem ser comumente encontradas no sistema construtivo em parede de concreto, seguem:

- **Infiltração:** ocorre através da ação de um fluído que permeia espaços vazios de um corpo sólido. Este fluído pode ser a água da chuva ou de vazamentos nas redes hidráulicas;
- **Manchas:** ocorre quando a água fica aderente por atravessar uma barreira;
- **Bolor ou mofo:** originados em locais úmidos, o bolor ou mofo é a colonização de fungos filamentosos sobre algum substrato. A proliferação de fungos ocasionam

manchas escuras com tonalidades preta, marrom e verde, causando alteração estética da superfície onde se encontram;

- **Eflorescência:** são formações salinas, com aspecto esbranquiçado, que surgem nas superfícies das paredes, trazidas de seu interior pela umidade;
- **Criptoflorescência:** também é a formação de sais, porém no interior da estrutura, o que com o tempo podem aumentar de volume e ocasionar rachaduras e até a queda da parede;
- **Gelividade:** é a ação de congelamento da água depositada nos poros e canais capilares dos materiais, aumentando seu volume e causando desagregação;
- **Corrosão da armadura:** a corrosão ocorre por reação química ou eletroquímica, por meio da interação destrutiva da armadura com o ambiente. Os dois principais processos são a oxidação e a corrosão;
- **Esbojamento da fôrma:** ocorre pela abertura das placas, devido a pressão do concreto exercida durante a concretagem da fôrma e pela falta de travamento das mesma;
- **Brocas ou vazios e nichos de concretagem:** são falhas que ocorrem na concretagem decorrente da desagregação dos componentes do concreto.

As manifestações patológicas em sistemas construtivo de concreto armado, segundo Mesomo (2018), estão diretamente ligadas a execução e correspondem a cinco causas principais, são elas:

- **Deficiência nas fôrmas e escoramentos:** podem acarretar vazios ou nichos (bicheiras), devido à segregação ou fuga de nata por meio das juntas da fôrma; destacamentos do concreto por aderência à forma (falta de desmoldante); deficiência no alinhamento por movimento das fôrmas (mau escoramento); deformação da fôrma pela carga do concreto fresco e abertura da fôrma durante a concretagem;
- **Deficiência na execução de elementos estruturais:** A má interpretação dos projetos, equívocos e falhas de execução de elementos estruturais podem ocasionar em complicações graves para a estrutura.
- **Junta fria:** é o resultado do lançamento do concreto quando o mesmo entra em processo de pega, isso ocorre pelo pausa e demora entre uma concretagem e outra ou por alguma interrupções durante a concretagem do mesmo caminho;

- **Deficiências nas armaduras:** igualmente a deficiência de elementos estruturais, as falhas na execução na colocação da armadura, emendas, transpasses e cobrimento de concreto, provocam zonas com insuficiência de armadura comprometendo a resistência da peça;
- **Erro na concretagem:** os erros e negligências nas fases de aplicação e cura do concreto, são as principais causas de surgimento de manifestações patológicas. O lançamento do concreto deve respeitar a altura máxima de 2 metros (ABNT NBR 16055, 2012) para que não haja segregação do concreto e surgimento de “bicheiras”. Quanto ao adensamento do concreto, quando vibrado incorretamente ocasiona segregação no interior do concreto e retira as bolhas de ar incorporadas no lançamento. A falta de cura provoca a perda de água na superfície das peças, podendo gerar aumento da porosidade, surgimento de fissuração o que torna a estrutura suscetível a infiltrações e entrada de agentes agressivos, bem como perda de resistência.

4.4. PRECAUÇÕES

A fim de garantir a qualidade da edificação e evitar ocorrências de manifestações patológicas, existem precauções que devem ser tomadas. Segundo Helene (1997), há quatro fatores determinantes para a durabilidade da estrutura de concreto, conhecida como a regra dos 4C:

- a) Composição do concreto;
- b) Compactação e adensamento do concreto na estrutura;
- c) Cura efetiva do concreto;
- d) Cobrimento das armaduras.

A utilização de cimentos e a escolha de aditivos e adições apropriados ao ambiente em que a estrutura é inserida também impacta na qualidade do concreto.

A NBR 6188 (2012), por meio da tabela 3.3, apresenta os requisitos entre a relação água/cimento e a resistência à compressão com a durabilidade do concreto escolhido frente à classe de agressividade em que a estrutura será exposta.

Tabela 4.3 (Tabela 7.1 da NBR 6118): Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
NOTAS 1 O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655. 2 CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado. 3 CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

De acordo com Wendler e Monge (2018), para o sistema construtivo de parede de concreto, a composição do concreto deve conter: consumo de finos maior, relação a/c menor, compensador de retração e adição de fibras têxteis, além de executar a cura corretamente. Desta maneira, aumentará a resistência do concreto nas primeiras idades, quando ainda não possui aderência entre a armadura e o concreto, e conseqüentemente diminuirá a fissuração.

Para que o concreto superficial de cobrimento e proteção das armaduras tenha qualidade satisfatória, a obra necessitará de fôrmas em bom estado de conservação, de agente desmoldantes adequados e, principalmente, de cura (HELENE, 1997).

De acordo com Helene (1997), além da cautela com as escolhas e cuidados com os componentes do concreto armado, existem precauções especiais para evitar ou retardar o surgimento de manifestações patológicas, a saber:

- a) Uso de hidrofugantes, de vernizes ou de sistemas duplos para proteger a superfície de concreto aparente;
- b) Uso de chapisco, reboco, pintura, revestimento cerâmico ou revestimentos reforçados com fibra de vidro, de poliéster, de mantas de náilon ou similares para proteger o concreto não aparente;
- c) Uso de revestimentos de zinco – galvanizado- ou de base epóxi para proteger a armadura. Deve-se ter cautela ao manusear as barras para não danificar a proteção superficial;
- d) Uso de proteção catódica por corrente impressa para proteger as armaduras contra corrosão.

As precauções devem ser realizadas em todas as etapas da construção – planejamento, projetos, execução, operação e manutenção, para que o resultado do produto seja satisfatório e possua qualidade para receber o usuário.

4.4.1. Planejamento

O planejamento de um sistema estrutural em parede de concreto, necessita de alguns cuidados e estudos aprofundados na logística a ser aplicada, treinamento da mão de obra, plano de ataque e plano de controle da qualidade. A organização da produção é fundamental neste sistema construtivo, devido a sua alta velocidade de execução. Por esta razão, deve-se montar um plano de produção detalhado e completo (WENDLER e MONGE, 2018).

De acordo com Wendler e Monge (2018), a escolha do sistema de fôrma, permite programar os ciclos de produção em função da facilidade na montagem e desmontagem, peso dos painéis e números de peças soltas existentes. Em função da rápida execução dos ciclos é exigido que haja uma ágil e estruturada dinâmica nos departamentos de logística e suprimentos, para que não falte insumos e estes sejam bem locados na obra para facilitar a operação.

4.4.2. Compatibilização de projetos

O sucesso da construção das paredes de concreto dependerá diretamente da compatibilização dos projetos, justamente por ser um sistema monolítico e possuir elementos embutidos, onde qualquer interferência compromete o funcionamento estrutural. Os projetos devem garantir a estrutura portante e solucionar interferências das aberturas e embutidos, que geram impacto na distribuição das cargas da estrutura (WENDLER e MONGE, 2018).

Segundo a NBR 16055:2012 Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos, os projetos de fôrmas e escoramentos, detalhamento de embutidos e vazados e projetos de instalações (elétricas e hidráulicas) devem ser validados pelo projetista. Projeto de instalações hidráulicas possuem diversas restrições, como: não serem locados internamente nas paredes, devido a manutenibilidade das tubulações.

A NBR 16055 (2012) define a espessura mínima de 10 cm para paredes com pé direito de até 3 metros e espessura de 8 cm apenas para paredes internas em edificações de até 2 pavimentos. Para a armadura, deve-se seguir as orientações normativas para atender aos requisitos de desempenho da NBR 15575.

Referente ao desempenho acústico, deve-se evitar a locação de quadros de distribuição em paredes de divisa e colocação de caixinhas de elétrica fundo a fundo, desta forma, evitará a criação de um vazio de passagem de som entre ambientes (WENDLER e MONGE, 2018).

De acordo com Wendler e Monge (2018), os projetos deste sistema construtivos são voltados diretamente para produção, desta forma, o projetista estrutural e a obra devem atuar conjuntamente e estabelecer critérios de detalhamentos que sejam de fácil entendimento em todas as frentes de trabalhos, evitando imprevistos que afetariam a qualidade e velocidade da produção.

4.4.3. Execução

Possuir projetos compatibilizados é tão importante quanto uma boa execução da construção. Cuidados adicionais devem ser tomados em relação aos embutidos, pois sofrerão diretamente a pressão da concretagem. Portanto, o correto posicionamento e boa vedação do sistema são essenciais. É necessário utilizar componentes elétricos (caixinhas elétricas e eletrodutos) com vedações especiais, resistentes e com conexões próprias, a fim de evitar danificações pela entrada de nata de cimento. O uso de espaçadores garantirá o correto posicionamento (WENDLER e MONGE, 2018).

O tempo de escoramento permitirá que não ocorra deformações no sistema e será fundamental para a alta velocidade da produção (WENDLER e MONGE, 2018).

Segundo Wendler e Monge (2018), seguindo onze preceitos, nomeado por eles como os “11 Mandamentos”, a qualidade da execução da parede de concreto moldada in loco é assertiva. A saber:

1. Seguir rigorosamente as diretrizes de projeto estrutural, de armadura, reforços, juntas, entre outros;
2. Utilizar fôrmas específicas e não fazer adaptações;
3. Seguir as diretrizes de montagem/desmontagem das fôrmas, bem como escoras e travamentos;
4. Colocar números de espaçadores plásticos suficiente para as armaduras (paredes: 6 unidades/m² e lajes: 4 unidades/m²);
5. Colocar números de espaçadores plásticos suficiente para os eletrodutos (2 unidades/m de eletroduto);
6. Não posicionar 2 caixas elétricas uma “de costas” para outra;

7. Não encostar dois ou mais eletrodutos dentro da parede;
8. Não interromper a concretagem;
9. Não provocar impactos nas paredes durante a desforma;
10. Não permitir vibrações próximas as paredes de concretos (ex.: compactação de ruas, etc.);
11. Realizar cura adequada por pelo menos 3 dias.

Caso ocorra algum erro durante qualquer etapa produtiva, podem surgir manifestações patológicas e o seu tratamento, geralmente, custa mais do que a correta execução.

4.4.4. Operação e manutenção

Por se tratar de um sistema estrutural monolítico, além das paredes e lajes serem estruturais elas ainda compõem um único elemento, desta maneira, não podem ser demolidas em nenhuma hipótese (WENDLER e MONGE, 2018).

Toda obra deve conter projetos que possuam procedimentos de inspeção e manutenção da construção. As construtoras devem produzir e entregar ao usuário um manual informativo de utilização, inspeção e manutenção da edificação (HELENE, 1997).

CAPÍTULO 5 - METODOLOGIA

Este capítulo apresenta e descreve o método de pesquisa empregado para a realização desta dissertação. Inicialmente, apresenta-se a estratégia de pesquisa utilizada para investigação de recorrência de manifestações patológicas em habitações de interesse social. Em seguida, se define as etapas da pesquisa, a sequência cronológica e a relação entre o estudo de caso e os conceitos adotados. Por fim, se faz a descrição das etapas que constituem os estudos empíricos.

5.1. ESTRATÉGIA DE PESQUISA

De acordo com Gil (2008), pesquisa é uma ciência de caráter objetivo, racional, sistemático, verificável e por vezes falível, tendo como objetivo apresentar caminhos e respostas aos problemas discutidos. Cada tipo de pesquisa apresenta diferentes estratégias para coleta e análise dos dados. Além disso, cada uma apresenta vantagens e desvantagens que decorrem de três premissas: “[...] a) o tipo de questão da pesquisa; b) o controle que o pesquisador possui sobre os eventos comportamentais efetivos; c) o foco em fenômenos históricos, em oposição a fenômenos contemporâneos.” (YIN, 2001, p.19)

Na contextualização e investigação dos fenômenos que envolvem esta pesquisa, verificou-se que existem questionamentos associados a como e porque determinado fenômeno patológico acontece. A seguir, cita-se alguns exemplos:

“Como são elaborados os projetos para esse tipo de habitação?”; “Como estão sendo executados esses edifícios?”; “Como estão sendo realizadas as manutenções?”; “Por que neste tipo de habitação ocorrem tantas incidências de manifestações patológicas?”; “Por que existem tantos chamados na assistência técnica?”.

Soma-se a esses questionamentos o inexistente controle da pesquisa perante os eventos. Esses fatos indicam que nesta dissertação o método de estudo de caso se configura como o mais apropriado.

Conforme Godoy (1995) afirma, os estudos podem demandar dois ou mais sujeitos ou instituições - denominados casos múltiplos. Há ainda a possibilidade de incorporar táticas de outros tipos de pesquisa como a inserção de dados quantitativos e estatísticas simplificadas para esclarecer alguma questão investigada – técnica denominada bricolagem.

Nessa perspectiva, a proposta desta pesquisa é analisar a relação causal entre o surgimento de manifestações patológicas e as etapas de projeto, execução e manutenção. Os

locais para estudo empírico são dois conjuntos habitações de interesse social executados em parede de concreto. Sendo assim, o estudo de caso será feito com múltiplos casos e necessitará da incorporação de dados quantitativos para que os resultados sejam mais completos.

5.2. DELINEAMENTO E ETAPAS DA PESQUISA

O delineamento da pesquisa se faz necessário para confrontar a visão teórica do problema abordado com os dados reais coletados (GIL, 2008).

O desenvolvimento da dissertação compõe-se de três etapas de pesquisa. A primeira corresponde à preparação e sua finalidade é compreender o ambiente pesquisado, delimitando o objetivo e elaborando os protocolos de coleta de dados.

As atividades desenvolvidas nesta primeira etapa foram: definição do sistema construtivo dos empreendimentos objetos da pesquisa; elaboração de protocolo para coleta de dados –roteiros de visita -; agendamento de visitas em obras na fase de execução.

A segunda etapa compreende a coleta de dados, a observação da rotina de trabalho e a análise dos dados relacionados aos empreendimentos objetos da dissertação, sendo subdividida em duas fases nomeadas Fase Execução e Fase Uso e Operação.

A Fase Execução refere-se ao estudo empírico do processo de produção dos empreendimentos, estágio em que se compara o especificado em projeto, as normas e o executado em campo. O foco é verificar se ocorrem erros de projeto, de interpretação de especificações de projeto/normas ou de instruções de trabalho que possam culminar em manifestações patológicas.

A Fase Uso e Operação refere-se ao estágio de utilização do imóvel pelo usuário final, período em que o imóvel está sob garantia de assistência técnica. O foco é acompanhar chamados de assistência técnica relacionados a incidências de manifestações patológicas, compilando os dados coletados em referências bibliográficas de empreendimentos de cunho social e em visitas em campo com profissionais de assistência técnica.

As atividades desenvolvidas na segunda etapa estão a seguir:

Fase Execução:

- a) Acompanhamento da execução de todas as etapas – da estrutura ao acabamento - utilizando o roteiro de visita elaborada na primeira etapa;
- b) Coleta de amostras de concretos e argamassas para análise laboratorial;
- c) Medições térmicas e de umidade nas unidades durante a construção;

Fase Uso:

- a) Acompanhamento de chamados de assistência técnica;
- b) Medições térmicas e de umidade após a entrega do edifício.

A terceira e última etapa relaciona-se a análise dos dados, inicialmente de forma individual para cada Fase – Execução, Uso e Operação - e em seguida cruzando-se os dados obtidos em ambas as fases. Com a análise cruzada, verificou-se a correlação entre os fatores da Fase de Execução que podem originar patologias na Fase de Uso e Operação em habitações de interesse social. Abaixo segue (figura 5.1) delineamento geral da pesquisa:

Figura 5.1: Delineamento geral da pesquisa.

Fonte: Autora (2019)

5.3. ESCOLHA DO SISTEMA CONSTRUTIVO

No Brasil, o uso de sistemas construtivos não tradicionais foi alavancado em 1986 com o fim do Banco Nacional de Habitação (BNH), período em que buscava-se tecnologias inovadoras que racionalizassem a produção, otimizassem as atividades e reduzissem os custos. Um dos sistemas construtivos utilizados nesta época foi o sistema de painéis monolíticos moldados in loco (SACHT, ROSSIGNOLO e BUENO, 2011).

Segundo Vieira (2014), este sistema também conhecido como parede de concreto, existe no Brasil desde a década de 70, porém popularizou-se recentemente por demonstrar vantagens que agradam o mercado construtor. Programas governamentais que incentivaram a construção habitacional como o “Minha Casa Minha Vida” impulsionaram este método construtivo devido a sua agilidade (NUNES, 2011).

Segundo a Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias - ABRAINC (2019), o déficit habitacional brasileiro, em 2017, foi cerca de 7,7 milhões de unidades. Em decorrência disso, para diminuir o déficit habitacional é imprescindível apoiar estratégias de produção da construção civil que sejam mais ágeis e que possibilitem suprir eficientemente a necessidade de moradias para a população de baixa renda.

Diante da importância histórica e futura, buscou-se construtoras que empregassem esse método construtivo e que tenham como público alvo famílias de baixa renda. Além disso, foram utilizados mais dois critérios para a seleção dos empreendimentos, a localização e a classificação da moradia. Desta forma, os empreendimentos estudados estão localizadas na região de São Carlos/SP e Araraquara/SP e são classificados como multifamiliares.

5.3.1. Caracterização da construtora

A construtora estudada - que não será nomeada no decorrer da dissertação - atua no setor da construção civil há mais de quatro décadas, sendo uma das maiores construtoras da América Latina, seus empreendimentos são direcionados para o público de classe média e média baixa e possuem financiamento pelo Programa Minha Casa Minha Vida.

Os estudos de caso serão efetuados em dois empreendimentos da mesma construtora nas cidades de Araraquara/SP e São Carlos/SP, o que possibilitará verificar distinções de especificações de projeto, execução, fiscalização e controle tecnológico de qualidade entre as obras.

5.3.2. Caracterização dos empreendimentos

O parâmetro de seleção dos empreendimentos da construtora estudada foram distintos nas duas Fases - Execução e Uso e Operação.

Os empreendimentos escolhidos para a Fase Execução foram construídos nas cidades de Araraquara/SP e São Carlos/SP. Em Araraquara, a obra localiza-se em zona urbana e possui 14.530,48 m², sendo 2.928 m² de área construída. Distribui-se em 16 blocos, com quatro pavimentos cada, que totalizam 256 apartamentos. O empreendimento de São Carlos está inserido em zona urbana e possui área de 38.398,00m², sendo 5.673 m² de áreas construídas. Constitui-se de 31 blocos, com quatro pavimentos cada, totalizando 496 apartamentos. Os apartamentos de ambas as obras possuem área de 39,3 m² e tipologia padrão com dois dormitórios, sala, cozinha com área de serviço e banheiro.

O acompanhamento da Fase Execução foi realizado em um dos blocos de cada obra - desde a estrutura até os acabamentos.

Para a Fase Uso, visitou-se imóveis construídos em parede de concreto, que estavam no período de garantia da Construtora e que possuíam chamados de assistência técnica.

5.4. VISITA AOS CANTEIROS DE OBRA

Além de acompanhar as fases da construção dos empreendimentos em parede de concreto, o objetivo desta etapa consiste em verificar a importância dada pela construtora e pelo órgão financiador às normas e procedimentos de qualidade na construção dos imóveis objetos desta dissertação.

A observação direta foi adotada como ferramenta para as visitas técnicas nos canteiros de obra, utilizando-se do roteiro estruturado (anexo A). A partir das observações, efetuou-se registros fotográficos, anotações e croquis.

5.5. INSTRUMENTOS E PROTOCOLOS DE PESQUISA

Elaborou-se protocolos - roteiros de visita- para guiar as visitas em campo e garantir maior número de dados coletados.

Os instrumentos que utilizados para a coleta de dados técnicos - aparelho de medições térmicas e de umidade e equipamentos para análises laboratoriais - pertencem ao Instituto de

Arquitetura e Urbanismo da USP – São Carlos. As análises e medições foram feitas conforme as normas pertinentes e recomendações dos manuais de uso dos equipamentos.

5.5.1. Roteiro de visita em obra

O roteiro para às visitas em canteiros de obra foi desenvolvido para guiar o acompanhamento do processo de construção de modo que durante a observação fosse mais fácil identificar alterações que caracterizem a possibilidade de surgimento futuros de patologias (anexo A).

5.5.2. Entrevistas

Gil (2008) define entrevista como

[...] a técnica em que o investigador se apresenta frente ao investigado e lhe formula perguntas, com o objetivo de obtenção dos dados que interessam à investigação. A entrevista é, portanto, uma forma de interação social. Mais especificamente, é uma forma de diálogo assimétrico, em que uma das partes busca coletar dados e a outra se apresenta como fonte de informação. (GIL, 2008, p.109)

De acordo com Gil (2008) e Yin (2001), a entrevista é uma das técnicas mais importantes utilizadas em estudos de caso, uma vez que proporcionam interação social.

Espera-se que as entrevistas que serão realizadas neste estudo de caso possibilitem a percepção da cultura da construtora perante o sistema construtivo, os procedimentos de qualidade e o nível de conhecimento dos profissionais envolvidos tanto na gestão e execução quanto manutenção do empreendimento.

5.5.2.1. Entrevista com engenheiro da obra

Realizou-se entrevistas com os engenheiros das obras em cada etapa da construção - estrutural, serviços secundários e acabamento (anexo B). As entrevistas foram estruturadas tendo como objetivos:

a) Entender o nível de conhecimento e a proximidade do engenheiro com a obra e com os procedimentos de execução;

- b) Coletar dados técnicos definidos em projetos para usar como referência durante as análises laboratoriais;
- c) Verificar se os processos e materiais utilizados na execução podem gerar futuras manifestações patológicas.

5.5.2.2. Entrevista com os profissionais da assistência técnica

As entrevistas direcionadas à assistência técnica serão de natureza estruturada com o propósito de perceber como este departamento funciona, em que normas se baseiam e, por fim, coletar dados referentes aos chamados (anexo C).

5.5.3. Coleta de amostras

Coletou-se amostras de concreto e argamassa das obras objetos da pesquisa da seguinte forma:

- a) Amostras em corpos de prova cilíndricos de 10 cm x 20 cm de concreto autoadensável;
- b) Corpos de prova prismáticos de 4 cm x 4 cm x 28 cm de argamassa do concreto autoadensável para ensaios de expansão.

5.5.4. Equipamentos de medição

Utilizou-se equipamentos para medição de temperatura e umidade e para ensaios dos corpos de provas de concreto e argamassas, seguindo os preceitos das normas e equipamentos a seguir:

Normas:

- a) ABNT NBR 15261: 2005 - Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos: Determinação da Variação Dimensional (retração ou expansão linear);
- b) ABNT NBR 5738:2015 - Concreto - Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova;
- c) ABNT NBR 5739:2018 - Concreto – Ensaio de Compressão em Corpos de Prova Cilíndricos.

Equipamentos:

- a) Prensa de compressão para ensaios de corpos de prova cilíndricos de 10 cm x 20 cm de concreto autoadensável;
- b) Câmara úmida onde os corpos de provas ficaram imersos em tanques de água durante os 28 dias para cura;
- c) Câmara seca para assegurar o mínimo possível de variações de dimensões para a medição e pesagem acuradas das barras de argamassas prismáticas 04 cm x 04 cm x 28 cm;
- d) Aparelho comparador de comprimento com relógio – resolução de 0,001mm para medição do comprimento das barras de argamassas prismáticas;
- e) Balança para pesagem das barras prismáticas durante a realização do ensaio variação dimensional;
- f) Termômetro de infravermelho para mensurar a temperatura superficial das paredes;
- g) HOBO para mensurar a temperatura e a umidade relativa do ar.

5.6. AMOSTRAGEM

Concorda-se com Lokatos e Marconi (2003, p. 223) quanto ao conceito de amostra sendo: “[...] uma porção ou parcela, convenientemente selecionada do universo (população); é um subconjunto do universo.” que proporcionará informações relevantes para caracterizar a totalidade.

Em decorrência disso, escolheu-se a amostragem não probabilística, uma vez que se trata de um método que aceita o julgamento do pesquisador e não se aplica a seleção aleatória (HONORATO, 2004). Segundo Honorato (2004), não é permitido em amostras não probabilísticas a escolha ou a inclusão de elementos. A estratégia não probabilística para esta pesquisa é a pôr julgamento ou quotas, na qual as amostras se fazem em dois estágios. O primeiro designa cotas de controle de elementos da população e o segundo, conforme opinião do pesquisador em questão, elege elementos da amostra.

5.6.1. Amostragem de unidades verificadas

Os estudos de caso ocorreu em um único bloco em cada obra a partir da fase estrutural do primeiro ao quarto e último pavimento, onde foi acompanhada a execução do bloco por inteiro.

Ambos possuem quatro pavimentos com quatro apartamentos por lâmina de mesma tipologia.

As amostras foram distintas para as etapas de concretagem, pós-concretagem e manutenção, a saber:

a) Concretagem:

Tabela 5.1: Amostras recolhidas em canteiro de obras:

Corpo de Prova	Tipo de mostra	Nº de caminhão	Nº de amostras/ caminhão	Nº de pavimentos acompanhados	Total de amostras/ pavimentos	Total de amostras recolhidas/obra
Cilíndrico	Concreto	3	4	2	12	24
Prismático	Argamassa	1	6	1	6	6

Objetivos

CP Cilíndrico (10 x 20cm):

- 1 - Avaliar a curva do concreto ao decorrer da execução;
- 2 - E verificar a resistência para desforma e a resistência final do concreto.

CP Prismático (04 x 04 x 28cm):

- 1 - Ensaio de variação linear para verificação de retração e expansão do concreto.

Fonte: Autora (2019).

b) Pós-concretagem:

- Observou-se a aparência geral de todos os 16 apartamentos de cada bloco, totalizando 32 apartamentos. Realizou-se medição térmica e de umidade relativa do ar do primeiro e último pavimento dos dois blocos estudados.

c) Manutenção:

- Acompanhou-se os profissionais da assistência técnica da construtora em empreendimentos recém entregues, coletando dados e observando as principais ocorrências em diferentes empreendimentos no sistema construtivo de parede de concreto.

CAPÍTULO 6 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo tem como finalidade apresentar os dados coletados durante as visitas nos empreendimentos – estudos de caso – bem como os resultados obtidos em análises laboratoriais.

6.1. CARACTERÍSTICAS DOS EMPREENDIMENTOS

A caracterização dos empreendimentos ocorreu no cap. 5 item 5.3.2, porém, serão apresentados neste item outras informações pertinentes para melhor compreensão das análises dos resultados.

Ambos os empreendimentos estão localizados em perímetro urbano e possuem área de 14.530,48 m² e 38.398,00 m² na cidade de Araraquara e São Carlos, respectivamente. De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014) Projeto de Estrutura de Concreto – Procedimento, a classe de agressividade ambiental é II para áreas urbanas e está classificada como agressividade moderada com pequeno risco de deterioração da estrutura.

Os empreendimentos disponibilizaram as cartas traços dos concretos utilizados para a execução das paredes de concreto. Por se tratar de obras em cidades distintas, seus fornecedores de concreto também são diferentes e, mesmo se tratando da mesma construtora, as obras possuem traços com consumos e componentes diferenciados. A saber:

Tabela 6.1 – Carta traço dos estudos de caso.

Cidade	Carta traço				
	Cimento	Agregado Fino	Agregado Grosso	Água	Aditivos
São Carlos	385 kg Cimento Portland CPV ARI RS	666 kg Areia fina; 410 kg Areia artificial.	778 kg Brita 0	200 l	0,200 a 0,600 kg Aditivo 1 - Polifuncional; 2,150 a 2,860 kg Aditivo 2 - Superplastificante; 0,600 kg Aditivo 3 - Fibra de polipropileno.
	Observações: • Relação a/c: 0,52 • Slump Test: 70 $\pm$ 20 mm • fck aos 28 dias: 20 MPa • Slump Flow: 700 $\pm$ 50 mm				
Araraquara	321 kg Cimento Portland CPII E 40 - CSN	262 kg Areia fina; 607 kg Areia média.	1017 kg Brita 0	192 l	0,642 kg Aditivo 1 - Polifuncional; 2,408 kg Aditivo 2 - Superplastificante; 0,300 kg Aditivo 3 - Fibra de polipropileno.
	Observações: • Relação a/c: 0,60 • Slump Test: 80 $\pm$ 10 mm • fck aos 28 dias: 20 MPa • Slump Flow: 700 $\pm$ 50 mm				

Fonte: Autora (2019).

Em ambas as obras não foram realizadas nenhum tipo de validação prévia do traço do concreto, ou seja, a construtora apenas informou a concreteira os requisitos básicos solicitados em projeto – resistência para desforma, resistência final e slumps (test e flow).

O desmoldante utilizado nas fôrmas é a base de óleo vegetal e possui a finalidade de facilitar a desforma, melhorar o acabamento das peças de concreto, além de prolongar a vida útil das fôrmas sem interferir em qualquer propriedade do concreto.

6.2. COLETA DE DADOS NOS CANTEIROS DE OBRA

Durante o acompanhamento da execução dos blocos dos estudos de caso, coletou-se amostras do concreto e verificou-se informações relevantes para a garantia da qualidade e durabilidade da estrutura, como: o tempo de descarga do concreto, dosagem, ensaios de consistência - abatimento e espalhamento - e cura.

Os blocos dos empreendimentos são duplos e possuem quatro pavimentos cada. Por lâmina, cada bloco, é composto por quatro apartamentos mais acessos – escadas e provisão do fosso do elevador.

O ciclo de concretagem das obras analisadas é feita em Z (Figura 6.1) entre os blocos duplos, onde realiza-se a montagem e concretagem de uma lâmina completa de um bloco e, após a desforma, é realizada a montagem e concretagem do bloco ao lado – geminado. Terminado a concretagem do pavimento de ambos os blocos, inicia-se um novo ciclo para o pavimento acima.

Figura 6.1: Demonstração de ciclo de concretagem em Z na obra de São Carlos.

Fonte: Autora (2019).

Realizou-se a coleta de amostras em dois pavimentos de cada bloco – 07 e 18.

6.2.1. Tempo de descarga do concreto

Segundo a ABNT NBR 7212 (2012) Execução de concreto dosado em central — Procedimento, o tempo entre a adição de água na concreteira até o lançamento na obra deve ser realizado dentro de um período estipulado para evitar segregação ou perda dos componentes, manter a trabalhabilidade e homogeneidade prevista bem como o uso do concreto antes do início de pega.

Constatou-se que as concreteiras e as obras respeitaram os tempos de transportes e descargas previstos na norma em todas as concretagens. A saber:

Tabela 6.2 – Tempo de descarga do concreto nos estudos de caso

Cidade	Pavimento	Amostras	Tempo			
			Transporte	Transporte - ABNT NBR 7212:2012	Descarga	Descarga - ABNT NBR 7212:2012
Araraquara	2ª	1	31 min	90 min	60 min	150 min
		2	32 min		60 min	
		3	40 min		70 min	
	3ª	1	15 min		74 min	
		2	25 min		72 min	
		3	10min		79 min	
São Carlos	1ª	1	29 min		79 min	
		2	34 min		92 min	
		3	36 min		100 min	
	4ª	1	40 min		81 min	
		2	45 min		90 min	
		3	41 min		80 min	

Fonte: Autora (2019).

6.2.2. Ensaio de consistência do concreto

O controle tecnológico das obras é executado por empresas terceirizadas que instalam um laboratório provisório dentro dos canteiros de obra, facilitando a realização dos ensaios de consistência, moldagem dos corpos de provas e ensaios de compressão.

A obra de Araraquara efetua tanto o teste de abatimento - slump - quando o de espalhamento - slump flow - em razão da concreteira acrescentar um dos aditivos no canteiro de obra. A dosagem do aditivo na obra é realizada pelo funcionário da concreteira - dosador - utilizando-se apenas de sua experiência, sem a utilização de equipamento de medição e sem proporções definidas para atingir o slump flow de 700 ± 50 mm.

No entanto, na obra de São Carlos, realiza-se apenas o teste de espalhamento - slump flow - visto que o concreto chega previamente dosado da concreteira.

Observou-se a realização dos ensaios de consistência e em todas as concretagens o laboratório obedeceu às dimensões de abatimento e espalhamento conforme carta traço e projeto estrutural, bem como a realização dos ensaios conforme norma (Tabela 6.1).

6.2.3. Moldagem dos corpos de prova

Coletou-se amostras de concreto fresco moldados em corpos de prova cilíndricos de 10 cm x 20 para ensaios de compressão. Para ensaios de expansão, moldou-se corpos de prova prismáticos de 4 cm x 4 cm x 28 cm, utilizando somente a pasta do concreto. Para separar a pasta do agregado graúdo utilizou-se peneira granulométrica metálica com malha de 2,75 mm. As moldagens dos corpos de provas foram distintas, conforme mencionada na tabela 5.1 do capítulo 5. Em ambos os CP, as amostras coletadas respeitaram os critérios da NBR 5738 (2015) Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova e NBR NM 33 (1998) Concreto – Amostragem de concreto fresco.

Figura 6.2: Corpos de prova cilíndricos de 10 cm x 20 cm.

Fonte: Autora (2019).

6.2.4. Cura da estrutura

Durante o acompanhamento da concretagem não verificou-se qualquer tipo de cura feita na estrutura, descumprindo requisitos mínimos descritos nas normas ABNT NBR 5738 (2015), ABNT NBR 16055 (2012) e ABNT NBR 6188 (2007).

6.3. ENSAIOS

Os ensaios foram realizados conforme procedimentos das normas ABNT NBR 5739 (2018) e ABNT NBR 15261 (2005) e orientações dos equipamentos – termômetro de infravermelho e HOBOT. Os ensaios laboratoriais foram realizados no LCC – Laboratório de Construção Civil da USP na cidade de São Carlos.

6.3.1. Compressão

Como mencionado no item 6.2.4, não houve cura da estrutura após a concretagem. Dessa forma, optou-se por realizar dois procedimentos para os corpos de prova coletados. O primeiro sendo conforme ABNT NBR 5739 (2018), em que metade dos CP foram mantidos sob cura em tanques depositados em câmara úmida e o segundo, igualmente o padrão da obra, permanecendo sob condições ambientes. Ambos CP respeitaram o tempo de 28 dias para o ensaio de compressão.

Figura 6.3: CPs em cura.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.4: CPs sem cura.

Fonte: Autora (2019).

Executou-se os ensaios dos corpos de provas cilíndricos - 10 cm x 20 cm - respeitando a norma e utilizando a prensa de compressão.

Figura 6.5: Ensaio de compressão.

Fonte: Autora (2019).

6.3.2. Variação dimensional

Do mesmo modo que o ensaio de compressão, as amostras de variação dimensional foram divididas em dois grupos - CP que obtiveram cura e CP que se mantiveram em condições ambientes. Realizou-se os ensaios de todos os corpos de prova prismáticos em câmara seca, a fim de evitar o máximo possível de variação dimensional das amostras durante a aferição.

O ensaio de variação dimensional consiste em verificar a expansão e retração do concreto. Utiliza-se balança para pesagem da massa e aparelho comparador de comprimento para a medição do comprimento das barras de argamassas prismáticas. Os ensaios foram realizados após a desforma dos CP, com 4, 7, 14 e 28 dias.

Os ensaios foram realizados de acordo com a NBR 15.261.

Figura 6.6: CP em cura.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.7: CP sem cura.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.8: Medição e pesagem das barras de argamassa prismáticas.

Fonte: Autora (2019).

6.3.3. Temperatura superficial

Verificou-se a temperatura superficial das paredes utilizando para medição o termômetro de infravermelho (Figura 6.9). Realizou-se a medição em todos os pavimentos em paredes específicas no interior do bloco, a fim de mensurar todas as fachadas que o circundam. Como cada empreendimento possui diferentes localizações, nomeou-se as fachadas para cada estudo de caso conforme figura 6.10 e 6.11.

A temperatura superficial das paredes em fachadas distintas proporcionará avaliar se a variação térmica ao decorrer do ano provocará expansão e retração suficiente no concreto para originar manifestações patológicas.

Efetuuou-se 2 medições ao decorrer do ano, a primeira em janeiro/2019, aferindo as estruturas ‘cruas’, sem nenhum tipo de revestimento. A segunda medição foi realizada em dezembro/2019, com as edificações prontas para serem entregues aos clientes, ou seja, possuíam todos os revestimentos e acabamentos internos e externos. Na aferição do mês de dezembro/2019, realizou-se medições internas e externas com o intuito de verificar a condutividade térmica do sistema construtivo.

Figura 6.9: Medição superficial das paredes com termômetro de infravermelho.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.10: Nomeação das fachadas do bloco 07 na cidade de Araraquara.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.11 Nomeação das fachadas do bloco 18 na cidade de São Carlos.

Fonte: Autora (2019).

6.3.4. Temperatura ambiente e umidade relativa do ar

A temperatura ambiente e a umidade relativa do ar foram aferidas no primeiro e quarto pavimentos com o intuito de verificar se a variação térmica e de umidade de um pavimento em relação a outro pode influenciar no surgimento de manifestações patológicas.

Ambas as medições foram aferidas – temperatura e umidade – com o dataloggers HOBO (Figura 6.12) duas vezes ao longo do ano, sendo em: janeiro e dezembro/2019, igualmente a medição da temperatura superficial das paredes (item 6.3.3).

Figura 6.12: Hobo – aparelho de medição de temperatura ambiente e umidade relativa do ar.

Fonte: Autora (2019).

6.4. RESULTADOS

Os resultados obtidos das amostras recolhidas durante a concretagem, bem como, resultados de análises térmicas, de umidades, de consumo e composição dos traços utilizados nos estudos de caso apresentam-se a seguir.

6.4.1. Resistência à compressão

Os resultados dos ensaios de compressão das três amostras recolhidas durante cada concretagem estão apresentados nas Figuras 6.13 e 6.14, sendo divididos em CP com cura, que foram mantidos em processo de cura durante os 28 dias e CP sem cura, que permaneceram em condições ambientes.

Conforme mencionado no item 6.2.2, os ensaios da Construtora são realizados por empresas terceirizadas em laboratórios provisórios locados dentro do canteiro de obras. A fim de realizar a comparação entre as amostras coletados pela autora e as coletadas pela obra, a Construtora disponibilizou os resultados dos CP efetuados pelo seu laboratório, os denominados CP obra, conforme as figuras 6.15 e 6.16. Os resultados obtidos foram comparados a seguir:

Figura 6.13: Resultado ensaio de compressão amostras do 2º e 3º pavimento obra Araraquara.

Figura 6.14: Resultado ensaio de compressão amostras do 1º e 4º pavimento obra São Carlos.

Figura 6.15: Comparação dos ensaios de compressão da obra x autora do 2º e 3º pavimento obra Araraquara.

Figura 6.16: Comparação dos ensaios de compressão da obra x autora do 1º e 4º pavimento obra São Carlos.

Os resultados adotados em todos os ensaios de resistências são referentes aos CPs que obtiveram maior valor durante os ensaios. Verifica-se nas Figuras 6.13 e 6.14 que os corpos de prova que permaneceram em cura durante o processo de hidratação do cimento apresentaram um aumento de resistência em média de 9% na obra de Araraquara e 19% na obra de São Carlos quando comparados aos corpos de prova que ficaram expostos às condições ambientes - sem cura.

Observa-se ainda nas Figuras 6.13 a 6.16 que as amostras obtiveram variação de resistência de um pavimento para outro utilizando o mesmo traço de concreto. A obra de Araraquara apresentou um aumento na resistência de 25% nos CP sem cura, 38% nos CP com cura e 42% nos CP de obra do 2º para o 3º pavimento. Na obra de São Carlos, houve variância, porém em escala menor, sendo 13% nos CP sem cura, 7% nos CP com cura e 6% nos CP de obra entre o 1º e 4º pavimento.

As amostras disponibilizadas pela Construtora obtiveram maiores resultados durante o ensaio de compressão aos 28 dias. O CP médio de obra em Araraquara é 22% maior quando comparado ao CP médio sem cura. Para São Carlos, essa relação é de 26%. O mesmo ocorre, quando se compara os CP de obra com os CP com cura, uma vez que os CP com cura demonstraram uma queda na resistência de 11% em Araraquara e em São Carlos. É necessário lembrar que os CP de obra, ao contrário do que ocorre na estrutura, obedecem à ABNT NBR5739 (2018) e permanecem submersos em tanques até sua data de rompimento.

As altas resistências dos CP de obras podem ser ocasionadas pela variação do equipamento utilizado (prensa de compressão) ou pelo transporte dos corpos de provas.

Embora os CP de obra apresentem resistência superiores, tais resultados não refletem o realizado em obra, pois após a concretagem não há o processo de cura da estrutura. Dessa forma, os CP sem cura são os que realmente representam a resistência das paredes das obras analisadas.

Como esperado, mesmo havendo divergência entre as resistências dos CP com cura em relação aos de obra, ambos apresentaram maiores resistências quando comparados aos CP sem cura.

A resistência elevada de todos os CP analisados em relação aos 20 Mpa exigidos em projeto demonstra a falta de controle das concreteiras diante do consumo dos componentes, acarretando em desperdícios de materiais e aumento dos custos, conforme análise no item 6.4.3 e apresentado nas Figuras 6.13 a 6.16, em que os CP médio com cura, sem cura e o de obra são 56%, 42% e 74% maiores, respectivamente, quando comparado à resistência solicitada em projeto na cidade de Araraquara. Para São Carlos, essa relação é de 51%, 26% e 69%, respectivamente.

6.4.2. Variação dimensional

A Figura 6.17 apresenta os resultados das medições e pesagens das barras prismáticas de argamassa que igualmente as amostras do ensaio de compressão se encontravam metade sob cura e a outra metade sem cura. Lembrando que as amostras possuem somente a pasta do concreto sem os agregados graúdos, o que diminuirá o módulo de elasticidade do concreto. De acordo com Metha e Monteiro (2008), o módulo de elasticidade do agregado determina o módulo de elasticidade do concreto, ou seja, quando o módulo de elasticidade do agregado faz parte da expressão matemática, deve-se relacionar a retração à fração do agregado e não à fração da pasta do concreto. Desta forma, o módulo de elasticidade do agregado controlará a magnitude das deformações do concreto em até 2,5 vezes. Os agregados graúdos das amostras representam cerca de 34, 3% e 41,2% da composição do concreto nos traços de Araraquara e São Carlos, respectivamente.

Outro material existente na composição de ambos os traços de concreto é a fibra de polipropileno. Conforme mencionado no Cap. 4, o sistema parede de concreto é um sistema monolítico e possui alta restrição a variação volumétrica, como a retração. Por isso, a fim de evitar fissuração causada pela retração do concreto foi utilizado como adição a fibra de polipropileno.

Observa-se que em ambas as obras, as barras que estiveram sob cura obtiveram menos variação dimensional - retraíram menos. Entretanto, as amostras expostas as condições ambientais apresentaram alto índice de retração.

Figura 6.17: Resultado ensaio de variação dimensional.

Fonte: Autora (2020).

Deve-se ter em consideração que os valores obtidos nos ensaios realizados não podem ser adotados como valores absolutos, visto que, conforme anteriormente descrito na metodologia, os ensaios foram realizados apenas sobre a fração fina dos concretos – estes foram peneirados, em seu estado fresco, na peneira 4.75mm e moldados apenas com o material passante, que excluiu, portanto, os agregados graúdos em suas respectivas proporções dentro do traço. Considerando que os agregados graúdos são aproximadamente metade dos traços nas duas obras estudadas, e que estes não sofrem qualquer tipo de retração, estima-se, de forma aproximada, que os valores de retração dos concretos em seus traços originais e completos devem ser algo perto da metade dos valores encontrados.

A análise aqui realizada, porém, tem importância em termos comparativos entre as duas obras estudadas. Os CP sem cura da obra de Araraquara apresentaram valores de retração, após os 28 dias, menores do que os CP sem cura da obra de São Carlos. De acordo com a Tabela 6.3, a obra de Araraquara também apresenta um teor de cimento menor na composição do concreto para a produção da estrutura, resultando em melhor desempenho frente à retração. Isto demonstra que, em estruturas de paredes de concreto estrutural, um dos possíveis fenômenos patológicos, que está relacionado à fissuração, causada em parte pela retração das paredes e consequente abertura de espaços para ingresso de agentes agressivos, pode ser minimizado se houver uma dosagem do concreto consciente da atuação do teor de cimento sobre a retração. Desta forma, no sistema de paredes de concreto estrutural, a utilização de concretos com o menor teor possível de cimento tem importância para reduzir os fenômenos patológicos ao longo da vida útil.

Dessa forma, há um indicativo de que os valores retração nos CP sem cura resultam principalmente do alto teor de cimento e da falta de cura – retração autógena- da estrutura.

6.4.3. Dosagem do concreto

Sabendo-se os traços dos concretos utilizados nas obras e suas resistências à compressão, elaborou-se a Tabela 6.3, onde se detalha o consumo dos componentes por m³ de concreto e define-se o desvio padrão (Sd) e índice de ligantes (IL) para as amostras com cura, sem cura e de controle da obra.

Tabela 6.3 – Consumos e desvio padrão do concreto autoadensável.

			Resistência (Mpa)							Índice de ligante (kg·m³·MPa⁴)				Antes aditivo	
			Controle Obra	CP com cura			CP sem cura			IL sem cura	IL com cura	IL controle	Ilfck	Slump (mm)	
Cidade	Pavto	Caminhão		CP 1	CP 2	Sd de cada caminhão	CP 1	CP 2	Sd de cada caminhão						
Araraquara	2	1	43,50	30	37,1	3,55	34,7	34,8	0,05	9,22	8,65	7,38	16,05	85	650
		2	36,90	33,2	33,9	0,35	30,9	31,5	0,3	10,19	9,47	8,70	16,05	80	700
		3	42,50	37,90	38,30	0,2	28,4	28,8	0,2	11,15	8,38	7,55	16,05	90	670
	3	1	30,00	25,99	26,89	0,45	25,56	26,1	0,27	12,30	11,94	10,70	16,05	100	720
		2	28,00	24,34	24,9	0,28	23,07	24,62	0,775	13,04	12,89	11,46	16,05	90	680
		3	28,00	24,39	26,96	1,285	24,03	25,05	0,51	12,81	11,91	11,46	16,05	70	750
				Sd entre caminhões = 5,30				Sd entre caminhões = 3,69							

Constantes

fck = 20 MPa
 Cimento = 321 kg/m³
 Água = 192 l/m³

Aditivo 1 = 0,642 kg
 Aditivo 2 = 2,408 kg
 a/c = 0,60

			Resistência (Mpa)							Índice de ligante (kg·m³·MPa⁴)				Antes aditivo	
			Controle Obra	CP com cura			CP sem cura								
Cidade	Pavto	Caminhão			CP 1	CP 2	Sd de cada caminhão	CP 1	CP 2	Sd de cada caminhão	IL sem cura	IL com cura	IL controle	Ilfck	Slump (mm)
São Carlos	1	1	32,95	29,30	30,40	0,55	21,3	26,6	2,65	14,47	12,66	11,68	19,25	já dosado	72
		2	34,28	30,10	31,80	0,85	26,90	27,2	0,15	14,15	12,11	11,23	19,25	já dosado	72
		3	37,77	31,50	31,80	0,15	26,40	26,9	0,25	14,31	12,11	10,19	19,25	já dosado	62
	4	1	36,80	32,25	33,07	0,41	26,53	27,33	0,4	14,09	11,64	10,46	19,25	já dosado	66
		2	30,50	25,63	26,98	0,675	19,87	22,49	1,31	17,12	14,27	12,62	19,25	já dosado	65
		3	31,00	27,59	27,66	0,035	21,42	21,6	0,09	17,82	13,92	12,42	19,25	já dosado	72
					Sd entre caminhões = 2,24				Sd entre caminhões = 2,36						

Constantes

fck = 20 MPa
 Cimento = 385 kg/m³
 Água = 200 l/m³

Aditivo 1 = 0,200 a 0,600 kg
 Aditivo 2 = 2,150 a 2,860 kg
 a/c = 0,52

Fonte: Autora (2019).

Observa-se na Tabela 6.3 que todas as amostras apresentaram resistências superiores a 20 MPa, valor mínimo aceitável especificado em projeto. Algumas amostras resultaram no dobro da resistência especificada. Evidencia-se também o elevado consumo de cimento nos traços, presumindo como sendo o fator determinante para as altas resistências das amostras à compressão.

O consumo elevado de cimento em ambos os traços associado à falta de cura ocasionou o aumento da retração nos CP analisados, conforme análise do item 6.4.2.

Devido à alta resistência, o desvio padrão (Sd) de todas as amostras também é grande, promovendo diferentes resistências por toda a estrutura, o que a longo prazo poderá gerar patologias como fissuras.

Por meio da Tabela 6.3, fez-se duas análises distintas de desvio padrão (Sd). A primeira, refere-se ao Sd de cada caminhão, na qual analisou-se a diferença de resistência entre os 2 CPs coletados do mesmo caminhão. A segunda análise corresponde ao Sd entre caminhões, em que considerou-se para cálculo o CP com maior resistência, ou seja o CP nomeado como CP2.

Verifica-se no Sd de cada caminhão que a variação de resistência dos CPs coletados é elevada, demonstrando o descontrole e falta de constância do traço. O mesmo ocorre quando analisamos o Sd entre caminhões. Nota-se que o Sd entre caminhões na cidade de São Carlos são menores, logo sua estrutura se torna mais homogênea quando comparada a de Araraquara.

Conforme mencionado no item 6.2.2, por mais que contenha no traço a dosagem para cada aditivo, a obra de Araraquara acrescenta o aditivo no canteiro de obra sem equipamento de medição e sem proporção, provocando diferenças de dosagem em cada carga dos caminhões betoneiras utilizados na concretagem e consequentemente resistências distintas na estrutura.

Sabendo-se que nos concretos analisados o único ligante da composição é o cimento, calculou-se o índice de ligantes (IL) para cada categoria – amostras com cura, sem cura e de obra.

Segundo Damineli (2013), o concreto torna-se eficiente quando se mantém o teor de cimento, aumentando sua resistência ou por manter-se a resistência, diminuindo o teor de cimento.

Comparando-se a Tabela 6.3 com a Figura 6.17, a obra de Araraquara que possui um teor de cimento de 321 Kg/m³ apresenta retração de 0,332 mm/m menor do que a obra de São Carlos que em seu traço consome 385 Kg/m³ de cimento. Em outras palavras, a obra de Araraquara tem menor consumo de cimento com uma resistência maior, possuindo o IL mais baixo e obtendo uma dosagem mais eficiente, um concreto com menos retração e mais sustentável.

No entanto, observa-se que ambos os traços utilizados pela Construtora não são eco eficientes, pois possuem IL de $16,05 \text{ kg}\cdot\text{m}^3\cdot\text{MPa}^1$ e $19,25 \text{ kg}\cdot\text{m}^3\cdot\text{MPa}^1$, considerados elevados para atingirem a resistência de 20 Mpa e maiores que o IL dos CP de obra, com cura e sem cura.

Sem se realizar a cura, o IL aumentou 6,6% e 22%, nas obras de Araraquara e São Carlos, respectivamente, comparando-se com o IL dos CP com cura. Desta forma, o aumento do teor de cimento na dosagem torna-se fator compensador para a perda de desempenho do concreto.

Na escolha do sistema construtivo - parede de concreto - as paredes são esbeltas – 10 cm – e fortemente armadas, o concreto autoadensável torna-se a melhor opção, pois este tem a capacidade de fluir e preencher toda a forma. Porém, o excesso de aditivo pode provocar segregação entre a pasta e os agregados. A dosagem dos aditivos sem utilização de equipamento de medição provoca a diminuição na tensão de escoamento do concreto.

Segundo Damineli (2013), quando se aumenta o consumo de água, se promove o aumento da fluidez do concreto, porém se diminui a viscosidade e a densidade da pasta, ocorrendo a segregação entre a pasta e o agregado. O mesmo ocorre para a dosagem sem proporção dos aditivos em que para se alcançar o slump flow de 700 mm pode-se usar diferentes dosagens, tornando o concreto mais fluido. Essa maior fluidez não significa um concreto apto para lançamento, pois um slump flow atingido pelo uso excessivo de aditivo facilita a segregação dos componentes - pasta e agregados - tornando a estrutura não homogênea devido à variação da resistência nas paredes.

6.4.4. Medições térmicas e de umidades

Realizou-se medições térmicas da superfície das paredes e do ambiente, além da medição da umidade relativa do ar nos blocos. Os ensaios foram efetuados nos meses de janeiro, e dezembro de 2019, aferiu-se a temperatura na estrutura “crua” e com todos os revestimentos – internos e externos. As medições foram realizadas com intervalos de 10 minutos, iniciando às 10h:20min e encerrando às 16h:40min. Segue abaixo, Tabela 6.4 com informações do clima e tempo dos dias que foram realizados os ensaios:

Tabela 6.4 – Clima e tempo do dia da aferição da temperatura e umidade ambiente.

Cidade	Pavimento	Mês da medição	Estação do ano	Temperatura do dia	Clima	Vento	Umidade do dia
Araraquara	1° e 4°	jan/19	Verão	27 °C	Ensolarado	09 km/h	55%
	1° e 4°	dez/19	Primavera	22 °C	Chuva - Nublado	10 km/h	85%
São Carlos	1° e 4°	jan/19	Verão	27 °C	Ensolarado	13 km/h	50%
	1° e 4°	dez/19	Primavera	26 °C	Nublado	11 km/h	80%

Fonte: Autora (2019).

As Figuras 6.18 e 6.19 apresentam os resultados das medições da temperatura ambiente do 1° e 4° pavimentos dos blocos analisados, indicando que as temperaturas ambiente se elevaram ao decorrer do dia e conforme aumenta-se a altitude. Ou seja, os pavimentos superiores são em média 2° C mais quentes do que os pavimentos térreos.

Figura 6.18: Temperatura ambiente do 1° e 4° pavimento – Obra Araraquara.

Fonte: Autora (2020).

Figura 6.19: Temperatura ambiente do 1º e 4º pavimento – Obra São Carlos.

Fonte: Autora (2020).

De acordo com NBR 15.575-Parte 1 (2013), as edificações localizadas na zona bioclimática 04, devem considerar em ambientes de longa permanência – sala e quartos- no verão, o valor máximo da temperatura do ar interior (T_i , máx.) sempre sendo o valor menor ou igual ao valor máximo da temperatura do ar exterior (T_e , máx.). Para o inverno, considera-se os valores mínimos da temperatura interior (T_i , mín.) maior ou igual a temperatura mínima externa (T_e , mín.) acrescida de 3° . O sistema construtivo em parede de concreto apresentou um desempenho térmico deficiente quanto a temperatura interna e externa do ar, não atendendo a temperatura intermediária no verão (medição realizada em janeiro), conforme Tabela 6.4 e Figuras 6.18 e 6.19.

A umidade relativa do ar, no entanto, se comporta inversamente a temperatura ambiente, onde os térreos são em média 6% mais úmidos do que os pavimentos superiores. Os dados podem ser observados na Figuras 6.20 e 6.21.

Figura 6.20: Umidade relativa do ar 1º e 4º pavimento - – Obra Araraquara.

Fonte: Autora (2020).

Figura 6.21: Umidade relativa do ar 1º e 4º pavimento - – Obra São Carlos.

Fonte: Autora (2020).

As medições da temperatura superficiais das paredes internas referentes as incidências solares nas fachadas foram efetuadas nos quatros pavimentos, conforme figuras a seguir.

Figura 6.22 – Temperatura superficial das paredes internas em Jan/19 e Dez/19 – Obra Araraquara.

Fonte: Autora (2020).

Figura 6.23 – Temperatura superficial das paredes internas em Jan/19 e Dez/19 - Obra São Carlos.

Fonte: Autora (2020).

Observa-se nas Figuras - 6.22 e 6.23 - que nas duas obras a temperatura superficial das paredes tanto no verão, quanto na primavera, aumentaram conforme avançou-se para os pavimentos mais altos. Além disso, as faces mais quentes são as Fachadas SE da obra Araraquara e a Fachada NE da obra de São Carlos que recebem por mais tempo a incidência direta do sol e onde a média de temperatura superficial ao decorrer do dia é de 35,6°C no verão e de 26,3°C na primavera.

Observou-se que na obra de São Carlos a Fachada SE quando comparada com a Fachada SO é mais quente na parte da manhã, medição às 10 horas – sendo que o inverso ocorre na terceira e última medição – final da tarde, às 16h. Diferentemente da obra de São Carlos, a obra de Araraquara permanece com a Fachada NE mais quente durante todo o dia se comparada à Fachada NO.

No verão, a Fachada NO na obra de Araraquara e a Fachada SO na obra de São Carlos, diferentemente das demais fachadas, continuaram a aumentar a temperatura até o final do dia. O mesmo evento ocorreu na Fachada NE na obra de São Carlos, durante a primavera.

A temperatura superficial das paredes de concreto atingiu o máximo de 37,8°C e 38,8°C e umidade relativa do ar média de 45% e 53%, em Araraquara e São Carlos, respectivamente

no verão. Durante a primavera, as obras alcançaram temperatura máxima de 24,9°C e 30,7°C e umidade relativa do ar média de 59% e 75%.

Com a alta temperatura superficial das paredes em concreto a taxa de evaporação da estrutura aumenta. Conforme ábaco de perda de umidade para o ambiente do ACI 305R - Hot Weather Concreting (1999), com a temperatura médio do ambiente próxima a 26°C, umidade do ar de 48%, temperatura do concreto a cerca de 38°C e supondo-se a velocidade do vento de 10 Km/h, a estrutura perde água para o ambiente rapidamente. Além disso com base no ábaco, esta situação se agrava nos pavimentos superiores que possuem menores umidades, conforme Figuras 6.20 e 6.21.

Analizou-se também durante a visita e ensaio no mês de dezembro/2019 a temperatura externa (TE), a fim de averiguar o comportamento térmico interno/externo do sistema de parede de concreto e verificar se o mesmo se enquadra dentro dos preceitos de conforto do ambiente da ABNT NBR 15.575.

Figura 6.24 – Comparação entre a temperatura superficial das paredes internas e externas - Obra Araraquara

Fonte: Autora (2020).

Figura 6.25 – Comparação entre a temperatura superficial das paredes internas e externas - Obra São Carlos.

Fachada Sudoeste (TI x TE) - Obra São Carlos

Fonte: Autora (2020).

Ao comparar as temperaturas superficiais internas (TI) e externas (TE), observou-se que na obra de Araraquara em todas as fachadas a TI durante o período da manhã são maiores que a TE, ao longo do dia, a TE aumenta-se e ao final da medição se equipara a TI. Por sua vez, na obra de São Carlos, as TE no período da manhã são maiores que a TI, atingem seu ápice as 14h e começam a decair, ficando com a temperatura inferior a TI em sua medição final.

De acordo com a norma NBR 15.220 (ABNT, 2005), as cidades de Araraquara e São Carlos estão localizadas na zona bioclimática 04 e devem seguir preceitos para que o sistema construtivo implantados neste zoneamento tenha conforto térmico satisfatório. A saber:

- Abertura para ventilação: Aberturas médias;
- Sombreamento das aberturas: Sombrear as aberturas;
- Vedações externas:
 - a. Paredes: Pesada;
 - b. Cobertura: Leve isolada;

A transmitância (U) de um sistema dependerá da resistência térmica (R) da superfície de cada elemento que compõe a superfície, isto é, o quanto que o elemento se restringe a passagem de calor do meio externo para o interno. Leva-se em consideração a espessura de cada camada e a condutividade térmica do material. Já a capacidade térmica (CT) é a quanto será necessário de calor para que o material varie uma unidade de temperatura (ABNT, 2005). Foram considerados os valores da Tabela 6.5:

Tabela 6.5 – Classificações térmicas do Sistema Construtivo de Parede de Concreto.

	Resistência térmica interna (Rsi)	Resistência térmica externa (Rse).	Densidade massa aparente (ρ)	Condutividade térmica (λ)	Calor específico (c)	Absortância (α)
Parede	0,13 (m ² .K)/W	0,04 (m ² .K)/W	2200 kg/m ³	1,75 W/(m.K)	1 J/(kg.K)	0,7
Cobertura	-	-	1800 kg/m ³	0,95 W/(m.K)	0,84 J/(kg.K)	-

*Resistência térmica horizontal

*Material: parede - concreto convencional / cobertura - telha de fibrocimento

Fonte: Adaptado de NBR15220-2, 2005.

Segundo a ABNT NBR 15575-4 (2013), a adequação de paredes externas de uma edificação deve apresentar os valores máximos admissíveis de transmitância térmica (U) e os mínimos de capacidade térmica (CT). De acordo com a tabela 13 ABNT NBR 15575-4 (2013), a zona bioclimática 04, deve possuir uma transmitância térmica (U) de $\leq 3,7$ W/m².K e capacidade térmica (CT) de ≥ 130 kJ.

A ABNT NBR 15.220- 3 (2005) possui valores pré-estabelecidos dos cálculos de transmitância (U), capacidade térmica (CT) e atraso térmico (φ) para parede de concreto com espessura de 10 cm e para coberturas de fibrocimento. A saber:

Tabela 6.6 – Transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico para algumas coberturas.

Tipo	Descrição	U W/(m ² .K)	CT kJ/(m ² .K)	φ h
Parede	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 10,0 cm	4,4	240	2,7
Cobertura	Cobertura de telha de fibrocimento com forro de laje mista Espessura da telha: 0,7 cm Espessura da laje: 12,0 cm Rt (laje) = 0,0900 (m ² .K/W) CT(laje) = 95 kJ/(m ² .K)	1,93	106	3,6

Fonte: Adaptado de NBR15220-3, 2005.

Conforme verificado na tabela acima, a parede de concreto possui uma transmitância térmica (U) acima do recomendado pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013), demonstrando que a superfície do sistema em parede de concreto é termicamente deficiente. Porém sua capacidade térmica (CT) está dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma, de maior ou igual a 130 kJ/m²*k, ao qual corresponde a vedações pesadas, como é apresentado para a zona bioclimática 4. Já a cobertura em fibrocimento, atinge o recomendado para transmitância térmica e está abaixo do recomendado para a capacidade térmica.

Em ambientes de permanência – quartos e sala - a abertura para ventilação deve dispor de dimensões adequadas proporcionando ventilação interna dos ambientes. Estas dimensões devem atender as legislações de obra locais, mas quando não houver, aplica-se os valores da tabela 15 da ABNT NBR 15575-4 (2013). Para a zona 04, a área de abertura (Aa) para ventilação nas edificações devem ser $\geq 7\%$ (ABNT, 2013).

Durante a visita *in loco*, mediu-se os cômodos e as esquadrias para verificação da área de abertura de ventilação dos ambientes de longa permanência. Conforme Tabela 6,7, as áreas de abertura são maiores ou igual a 7% da área do piso.

Tabela 6.7 – Área de Abertura de ventilação.

Cômodos	Dimensão do Cômodo	Área do Piso (Ap) m ²	Dimensão da Esquadria	Área de Abertura (Aa) m ²	Área de Ventilação [A= 100 x (Aa/Ap)(%)]
Sala	4,10 x 2,68 m	10,99	0,90 x 2,15 m	1,94	17,61
Quarto 1	3,00 x 2,60 m	7,80	1,20 x 1,20 m	1,44	18,46
Quarto 2	3, 00 x 2,40 m	7,20	1,20 x 1,20 m	1,44	20,00

Fonte: Autora (2020).

6.4.5. Aparência geral das paredes

6.4.5.1. Pós concretagem

Logo após a concretagem, houve avaliação da aparência geral das paredes, possibilitando a constatação de manifestações patológicas e indícios de erros de procedimento durante a execução. Os resultados averiguados nos 32 apartamentos foram compilados e divididos em anomalias encontrados na laje e nas paredes. Estes dados encontram-se nas Figuras 6.26 e 6.27, respectivamente.

Figura 6.26 – Aparência geral da laje pós concretagem.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.27 – Aparência geral das paredes pós concretagem.

Fonte: Autora (2019).

Encontraram-se nove tipos de anomalias nas lajes. Os 32 apartamentos verificados apresentaram imperfeições. Destaca-se que dentre as nove anomalias encontradas, segregação e fissura com eflorescência respondem em conjunto por 38% das anomalias e são os principais causadores de manifestações patológicas.

As paredes apresentaram 15 tipos de anomalias, número mais expressivo se comparado à laje. Igualmente as lajes, todas as paredes dos apartamentos apresentaram alguma imperfeição. Destaca-se que 36% das anomalias são fissuras que variam de local – paredes, cantos de porta, cantos de janela e ligações entre tetos e paredes. Lembrando que os projetos de armação apresentavam os reforços necessários para as aberturas e cantos.

Figura 6.28: Segregação do concreto na laje.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.29: Laje fissurada com eflorescência e com excesso de agente desmoldante.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.30: Armadura e conduíte à mostra, além de uso de isopor para tamponar falhas da forma.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.31: Fissura em canto de janela.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.32: Segregação.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.33: Fissura em parede.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.34: Fissura canto de porta.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.35: Parede quebrada.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.36: Conduítes e espaçadores à mostra.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.37: Desnível de placas – hall.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.38: Armadura à mostra.

Fonte: Autora (2019).

Entre paredes e lajes, o problema de segregação resultou em 14% das anomalias verificadas e as fissuras em 31%, número ainda mais significativo. Estas manifestações podem surgir pelo método dosagem do aditivo, pelo alto teor de cimento encontrado nos traços dos concretos, pela perda de água para o ambiente por falta de cura da estrutura, pelo lançamento do concreto ou pelo sistema construtivo ser monolítico. Processos que envolvem tanto as especificações de projetos quanto a gestão e execução dos procedimentos.

As anomalias relacionadas a falta de gerenciamento de obra e má execução do processo construtivo atingem 26% do total. Nessa porcentagem estão contidos desalinhamento de prumo e esquadro das paredes, desnível das placas e uso de isopor e plásticos para tamponar falhas da forma.

6.4.5.2. Com revestimentos

Após a execução dos revestimentos internos e externos, realizou-se mais duas visitas nas obras para verificação visual das paredes, ou seja, para analisar se as manifestações patológicas encontradas pós-concretagem foram tratadas corretamente, em sua causa raiz, ou superficialmente.

As visitas ocorreram em dezembro de 2019. Durante a visita os blocos estavam completos, ou seja, com revestimentos internos e externos finalizados. Os apartamentos já possuíam revestimentos internos, como: cerâmica no piso/parede e pintura interna, onde utilizaram como material cerâmica esmaltada, massa corrida, tinta e grafiato.

Observou-se que a maioria das manifestações patológicas encontradas pós-concretagens foram tratadas, porém, as manifestações patológicas consideradas sistêmicas, como fissuras, prevaleceram mesmo após seu tratamento. Outras manifestações patológicas encontradas foram, manchas causadas por infiltração de água em pontos fissurados, o desaprumo e ondulação das paredes. As Figuras de 6.39 a 6.53 apresentam as anomalias encontradas durante a visita de dezembro de 2019, antes da entrega do empreendimento aos clientes.

Figura 6.39 – Aparência geral da paredes dos blocos, antes da entrega aos clientes.

Fonte: Autora (2020).

Figura 6.40: Fissura vertical em canto da janela.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.41: Fissura 45° em canto da janela.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.42: Fissura em canto de porta.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.43: Fissura com infiltração canto da janela.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.44: Infiltração no canto da janela.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.45: Infiltração no shaft da cozinha.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.46: Manchas de umidade.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.47: Fissura entre parede x teto.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.48: Fissura com infiltração no teto do hall do 3º pavimento.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.49: Fissura no ponto do ar condicionado.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.50: Vazamento do hidrômetro.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.51: Vazamento no vaso sanitário.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.52: Infiltração no teto do hall do térreo.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.53: Fissura externa na platibanda.

Fonte: Autora (2019).

6.4.5.3. Análise comparativa

Com o intuito de analisar o surgimento de manifestações patológicas com a incidência solar nos blocos e com o traço utilizado nas obras, criou-se a Tabela 6.8. As informações existente na tabela, foram coletadas visualmente e verificadas durante três visitas realizadas nas obras, a primeira em janeiro de 2019, com a estrutura “crua”; a segunda em setembro de 2019, onde os apartamentos possuíam apenas revestimento interno; e a terceira e última visita em dezembro de 2019, com os blocos prontos para serem entregues aos clientes, ou seja, com revestimentos internos e externos finalizados.

Tabela 6.8 – Comparação entre manifestações patológicas x incidência solar

Cidade	Status Estrutura	Fachada Nordeste				Fachada Noroeste				Fachada Sudeste			
		1º Pavto.	2º Pavto.	3º Pavto.	4º Pavto.	1º Pavto.	2º Pavto.	3º Pavto.	4º Pavto.	1º Pavto.	2º Pavto.	3º Pavto.	4º Pavto.
Araraquara	Estrutura "Crua"	Fissura no meio da parede; Janela com fissura (45°) no canto; Falha de concretagem (bicheira).	Janela com fissura (45°) no canto; Segregação.	-	Janela com fissura (45°) no canto.	Janela com fissura (45°) no canto; Parede porosa.	Janela com fissura (45°) no canto.	Segregação.	Janela com fissura (45°) no canto.	Janela com fissura (45°) no canto.	Janela com fissura (45°) no canto.	Janela com fissura (45°) no canto.	Janela com fissura (45°) no canto.
	Estrutura com revestimento interno	Shaft hidráulico com manchas marrom.	-	Janela com fissura (45°) no canto.	Janela com fissura (45°) no canto.	Fissura (45°) no canto da porta; Fissura no meio da parede; Janela com fissura (45°) no canto.	Janela com fissura (45°) no canto.	Janela com fissura (45°) no canto.	Janela com fissura (45°) no canto; Fissura meio da parede.	Fissura canto porta; Janela com fissura (45°) no canto.	Fissura (45°) no canto da porta; Janela com fissura (45°) no canto; Fissura parede x parede.	Janela com fissura (45°) no canto.	Janela com fissura (45°) no canto.
	Estrutura completa (revestimento interno e externo)	-	-	-	Janela com fissura (45°) no canto.	-	-	Janela com fissura (45°) no canto.	Fissura no ponto do ar condicionado; Janela com fissura (45°) no canto.	Janela com fissura (45°) no canto.	-	Fissura no ponto do ar condicionado.	Fissura parede x parede; Janela com fissura (45°) no canto.
		Fachada Sudeste				Fachada Nordeste				Fachada Sudoeste			
		1º Pavto.	2º Pavto.	3º Pavto.	4º Pavto.	1º Pavto.	2º Pavto.	3º Pavto.	4º Pavto.	1º Pavto.	2º Pavto.	3º Pavto.	4º Pavto.
São Carlos	Estrutura "Crua"	Segregação; Desnível de fôrma; Janela com fissura (45°) no canto.	-	Parede fora de prumo.	Janela com fissura (45°) no canto.	Janela com fissura (45°) no canto; Parede porosa; Desnível de fôrma.	Desnível de fôrma; Janela com fissura (45°) no canto.	Junta fria do concreto; Parede porosa; Janela com fissura (45°) no canto.	Janela com fissura (45°) no canto.	Janela com fissura (45°) no canto.	Segregação; Quebra da parede ao deformar; Janela com fissura (45°) no canto; Desnível de fôrma.	Janela com fissura (45°) no canto.	Janela com fissura (45°) no canto.
	Estrutura apenas com revestimento interno	-	-	Mancha amarelada no shaft hidráulico.	-	Janela com fissura (45°) no canto; Mancha amarelada no canto da janela	-	Janela com fissura (45°) no canto; Mancha amarelada na parede.	-	Janela com fissura (45°) no canto; Fissura na massa corrida do teto.	Janela com fissura (45°) no canto.	Janela com fissura (45°) no canto.	Janela com fissura (45°) no canto.
	Estrutura completa (revestimento interno e externo)	Fissura horizontal embaixo da janela.	-	Fissura horizontal embaixo da janela com mancha de umidade.	-	Fissura vertical no canto da janela.	Mancha de umidade no canto da janela.	Janela com fissura (45°) no canto.	-	Janela com fissura (45°) no canto.	Mancha de umidade no canto da janela.	-	Janela com fissura (45°) no canto.

Fonte: Autora (2020).

De acordo com a Tabela 6.8, observa-se que em ambas as obras, a manifestação patológica recorrente é a fissura, onde foi encontrada em todas as fachadas e pavimentos. Verificou-se que as fissuras foram corrigidas superficialmente, pois, retornaram com o tempo, estando aparente nos apartamentos nas três visitas realizadas no empreendimento. Porém, através dos dados coletados, não pode-se afirmar o vínculo entre o surgimento das manifestações patológicas com a incidência solar das fachadas. Uma vez que o surgimento das fissuras são generalizadas.

6.4.6. Manutenção - Ocorrências Assistência Técnica

A fim de coletar as principais ocorrências no sistema construtivo de parede de concreto, acompanhou-se os profissionais da assistência técnica da Construtora em 12 chamados em empreendimentos recém entregues nas cidades de Araraquara e de São Carlos. Os dados foram compilados e encontram-se nas Figuras 6.54 a 6.59.

Figura 6.54: Ocorrência de manifestações patológicas na Assistência Técnica.

Fonte: Autora (2020).

Figura 6.55: Infiltração no shaft da cozinha.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.56: Fissura com infiltração na janela.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.57: Infiltração embaixo da janela.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.58: Desplacamento de piso.

Fonte: Autora (2019).

Figura 6.59: Número de chamados de assistência técnica por pessoa.

Fonte: Autora (2020).

Os chamados foram abertos por moradores que residem nos empreendimentos entre 3 meses a 2 anos. O chamado acompanhado não foi o primeiro aberto por esses moradores. Observa-se na Figura 6.61, que dentre os 12 chamados acompanhados, 67% deles já haviam acionado pelo menos 2 vezes a Construtora para efetuar algum tipo de manutenção em seus apartamentos em menos de 2 anos residindo no empreendimento.

6.4.7. Diagnósticos

Com base nas manifestações patológicas que surgiram na estrutura e nas análises dos resultados acima, criou-se a Tabela 6.9 com os possíveis diagnósticos e recomendações de conduta.

Tabela 6.9 – Diagnósticos das manifestações patológicas encontradas e recomendações de conduta.

Manifestações patológicas	Diagnóstico				Definição de conduta
	Projeto	Gestão de obra	Execução	Manutenção	
Excesso de desmoldante		X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar a inspeção durante a execução do serviço; • Orientar a mão de obra, quanto a aplicação do desmoldante.
Presença de isopor ou plástico para estancar falhas da forma	X	X	X		<ul style="list-style-type: none"> • Antes da execução verificar se todas as peças da fôrma estão descritas em projeto; • Antes da execução verificar se todas as peças da fôrma estão no canteiro de obras; • Melhorar a inspeção durante a execução do serviço.
Conduítes ou espaçadores amostra	X		X		<ul style="list-style-type: none"> • Verificar em projeto nº de espaçadores e espaçamento mínimo, bem como a maneira de fixar os embutidos; • Melhorar a inspeção durante a execução do serviço; • Respeitar número de espaçadores mínimos, espaçamento e fixação dos embutidos.
Poros (parede com muitos poros ou poros grandes)	X				<ul style="list-style-type: none"> • Ter projeto com especificação de traço ou realizar estudo de traço.

Parede quebrada			X	<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar a inspeção durante a execução do serviço; • Orientar a mão de obra quanto aos cuidados com a desforma.
Ponto elétricos obstruídos			X	<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar a inspeção durante a execução do serviço; • Orientar a mão de obra quanto aos cuidados com a concretagem.
Desnível das placas (fôrmas)		X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar a inspeção durante a execução do serviço; • Orientar a mão de obra quanto as travas e posicionamentos das fôrmas.
Armação à mostra		X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar a inspeção durante a execução do serviço; • Respeitar número de espaçadores mínimos e espaçamento entre as armações.
Parede fora de prumo e/ou esquadro		X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar a inspeção durante a execução do serviço; • Orientar a mão de obra quanto as travas e posicionamentos das fôrmas
Junta fria			X	<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar a inspeção durante a concretagem.
Segregação	X		X	<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar a inspeção durante a concretagem; • Ter projeto com especificação de traço ou realizar estudo de traço.
Fissura com eflorescência			X	<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar a inspeção durante a concretagem; • Efetuar cura do concreto.
Fissura cantos janela	X		X	<ul style="list-style-type: none"> • Ter e seguir projeto de armação, reforços e transpasses para vãos; • Ter projeto com especificação de traço ou realizar estudo de traço; • Melhorar a inspeção durante a execução do serviço.
Fissura canto porta	X		X	<ul style="list-style-type: none"> • Ter e seguir projeto de armação, reforços e transpasses para vãos; • Ter projeto com especificação de traço ou realizar estudo de traço; • Melhorar a inspeção durante a execução do serviço.
Fissura com infiltração	X		X	<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar a inspeção durante a concretagem; • Efetuar cura do concreto.

Fissura entre parede x teto	X		X	<ul style="list-style-type: none"> • Ter e seguir projeto de armação, reforços e transpasses para vãos; • Ter projeto com especificação de traço ou realizar estudo de traço; • Ter e seguir projeto de pontos de dilatação da edificação; • Melhorar a inspeção durante a execução do serviço.
Fissura no ponto do ar condicionado	X		X	<ul style="list-style-type: none"> • Ter e seguir projeto de armação, reforços e transpasses para vãos; • Ter projeto com especificação de traço ou realizar estudo de traço; • Ter e seguir projeto de pontos de dilatação da edificação; • Melhorar a inspeção durante a execução do serviço.
Vazamento em tubulação hidráulica	X		X	<ul style="list-style-type: none"> • Ter e seguir projeto de embutidos; • Seguir especificação de armazenamento e manuseio do material; • Melhorar a inspeção durante da execução do serviço.
Mancha de umidade	X		X	<ul style="list-style-type: none"> • Ter e seguir projeto de estanqueidade e calafetação da estrutura; • Melhorar a inspeção durante da execução do serviço.
Infiltração no shaft da cozinha	X		X	<ul style="list-style-type: none"> • Ter e seguir projeto de embutidos; • Seguir especificação de armazenamento e manuseio do material; • Melhorar a inspeção durante da execução do serviço.
Infiltração no forro do banheiro	X		X	<ul style="list-style-type: none"> • Ter e seguir projeto de embutidos; • Seguir especificação de armazenamento e manuseio do material; • Melhorar a inspeção durante da execução do serviço.
Desplacamento de piso, rodapé ou azulejo	X	X	X	<ul style="list-style-type: none"> • Ter e seguir projeto de paginação e especificação de cerâmica; • Seguir especificação de armazenamento e manuseio do material; • Melhorar a inspeção durante da execução do serviço.
Piso e azulejo oco			X	<ul style="list-style-type: none"> • Ter e seguir projeto de paginação e especificação de cerâmica; • Seguir especificação de armazenamento e manuseio do material;

					<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar a inspeção durante da execução do serviço.
Estufamento da pintura			X		<ul style="list-style-type: none"> • Seguir especificação de armazenamento e manuseio do material; • Melhorar a inspeção durante da execução do serviço.

Fonte: Autora (2020).

Verifica-se na Tabela 6.09, que as manifestações patológicas surgiram em decorrência da má execução, mas também está vinculada a ausência de informações e detalhamentos em projetos, pela falta de gestão no acompanhamento e inspeção da execução.

Conforme visto anteriormente neste capítulo, a maioria das manifestações patológicas são sistêmicas e aparentes da execução até a entrega dos empreendimentos. Desta maneira, não considerou que o surgimento das manifestações foram devido à ausência de manutenções periódicas e/ou preventivas nos empreendimentos recém entregues, porém, não pode-se concluir que as manutenções corretivas aplicadas nos edifícios estão sendo eficazes, pois há recorrências de chamados dos clientes para o tratamento da mesma manifestação patológica.

6.4.8. Custo e Viabilidade

De acordo com a Construtora analisada, a estrutura, que no sistema de parede de concreto engloba a estrutura e vedação, representa cerca de 36% do custo total da construção. Portanto, a viabilidade e otimização dos processos no sistema construtivo é de suma importância na construção de edificações de cunho social, onde as margens de lucro nas vendas são reduzidas.

Os custos de obras podem ser classificados como diretos e indiretos. Segundo Góes (2013), define-se custo direto como a soma de todos os custos dos insumos que integram diretamente o produto, sendo gastos com mão de obra, equipamento e materiais. O custo indireto se enquadra aos insumos que não agregam ao produto, como despesas com a administração e seus equipamentos, com o consumo de água e energia etc.

As obras analisadas, tanto a de Araraquara, quanto a de São Carlos possuem um custo direto de R\$ 29.395,00 por apartamento mais hall finalizados, sendo R\$10.561,58 somente custo com a estrutura.

Para verificar a viabilidade do sistema construtivo em relação aos principais materiais (fôrma, aço e concreto), produtividade, qualidade e custo, elaborou-se a Tabela 6.10.

Tabela 6.10 – Viabilidade do sistema construtivo em PC.

Item	Fôrma	Aço/Telas	Concreto	Produtividade	Qualidade	Custo
Modulação	Redução do número e dos tipos de painéis; Facilidade de adaptação a outros projetos.	Menor número de formatos (posições); Melhor logística de estocagem e transporte.	Maior precisão na montagem, volumes conhecidos, menor perda de concreto.	Menor número de painéis, maior velocidade de montagem	Padronização, melhor controle e maior qualidade.	Menor investimento na adaptação dos painéis de fôrmas a outros projetos.
Simetria	Redução/eliminação de painéis ou de "ciclos".	Padronização da armação em todos os trechos.	Volumes conhecidos, menor perda de concreto.	Ciclo de montagem/concretagem mais rápidas.	Padronização, melhor controle e maior qualidade.	Redução/eliminação de painéis especiais ou de "ciclo".
Alinhamento das paredes	Facilidade na montagem.	Facilidade na montagem.	Maior precisão na montagem, volumes conhecidos, menor perda de concreto.	Facilidade na montagem, ciclos constantes e mais rápidas.	Maior precisão na geometria e posicionamento das paredes.	Ciclos constantes, garantia de prazo, custos previstos.
Padronização vertical	Redução /eliminação de fôrmas complementares e ou transição.	Menor número de formatos (posições); Melhor logística de estocagem e transporte.	Volumes conhecidos, menor perda de concreto.	Utilização da mesma fôrma desde o primeiro pavimento, chegada ao ritmo de ciclo mais rapidamente.	Padronização, melhor controle e maior qualidade.	Redução/eliminação de fôrmas complementares e/ou de transição.
Instalações elétricas e hidráulicas	Ausência de furos e inserções nas fôrmas.	Melhoria da interface "armação x eletrodutos".	Melhor preenchimento do concreto.	Atividades independentes, melhor controle, maior produtividade.	Minimização de retrabalhos.	Minimização de retrabalhos.
Vãos	Menor quantidade de painéis.	Menor número de formatos (posições); Melhor logística de estocagem e transporte.	Melhor preenchimento do concreto em todos os trechos de paredes.	Menor número de painéis, maior velocidade de montagem	Minimização do risco de "bicheiras".	Menor investimento na adaptação dos painéis de fôrmas a outros projetos.

Fonte: Adaptado de Coletânea de Ativos de 2009 - 2010.

Constata-se que o sistema construtivo em Parede de Concreto não é o mais econômico em relação ao custo direto da obra, contudo, atende a industrialização da construção civil, reduzindo o tempo de execução da obra e otimização dos processos, e consequentemente, a redução de custos indiretos e diretos, além de reduzir entulhos, mau uso de material e potencialização do uso da mão de obra.

6.4.9. Vantagens e desvantagens do Sistema Construtivo - PC

A tecnologia do sistema construtivo em Parede de Concreto, como qualquer outro sistema construtivo, apresenta vantagens e desvantagens em sua aplicabilidade. Este sistema construtivo é indicado para execução de construções em larga escala, com alta repetitividade, prazos enxutos e mão de obra otimizada. A fim de classificar as vantagens e desvantagens do sistema construtivo, criou-se a Tabela 6.11 com tais itens.

Tabela 6.11 – Vantagens e desvantagens do sistema construtivo em PC.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - Fôrmas com grande precisão dimensional; - Materiais com produção controlada (concreto, aço e tela); - Velocidade de execução; - Garantia do cumprimento de prazos; - Racionalização do processo; - Maior controle da qualidade; - Redução da mão de obra; - Padronização; - Reaproveitamento das fôrmas e peças. 	<ul style="list-style-type: none"> - Investimento inicial alto; - Pouca mobilidade para personalização das unidades; - Escassez na mão de obra qualificada; - Utilização e perda de peças pequenas (pinos e cunhas).

Fonte: Autora (2020).

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E CONTINUIDADE DA PESQUISA

7.1. CONCLUSÃO

Ao utilizar o sistema em parede de concreto, verifica-se a necessidade de melhorias e atualizações do sistema construtivo, englobando as reais necessidades e dificuldades em sua aplicabilidade, bem como normas e manuais claros para a execução. Contudo, a crescente demanda por empreendimentos de cunho social proporcionado por investimentos de programas governamentais tem demonstrado que o sistema em parede de concreto possui vantagens frente aos outros sistemas construtivos devido a sua racionalização de processos, alta produtividade, prazos de execução reduzidos, mão de obra otimizada e diminuição de custos indiretos e diretos, além de redução na geração de entulhos.

Na realidade, a escolha desse sistema construtivo se faz pela sua agilidade e não para alcançar melhor desempenho. A título de exemplos, tem-se uma equipe de gestão e mão de obra despreparada e sem treinamento para gerir e executar a obra; a escolha do sistema de parede de concreto que não considera-se a localização dos empreendimentos, tornando conforto térmico do ambiente deficiente e necessitando de equipamento condicionante de aquecimento, no inverno, e de resfriamento no verão, entre outros quesitos descritos ao decorrer da conclusão.

A ausência de informações, detalhamentos e/ou projetos afetam diretamente a qualidade e o desempenho da edificação, pois a falta de especificidade de materiais, montagem, localização e fixação de embutidos ou equipamentos prejudicam a execução e influenciam no comportamento do sistema como um todo.

A escolha do sistema construtivo em parede de concreto permite uma rápida execução, porém não garante uma construção com qualidade, principalmente quando não se possui fiscalização rígida por parte dos órgãos financiadores, bem como inspeções e incertas durante a execução do serviço na obra.

Para a execução do sistema em parede de concreto, opta-se pela utilização do concreto autoadensável que possui recomendações específicas para sua aplicação. No entanto, ao não se respeitar tais recomendações, a obra perde o controle das reais especificidades do material, o que ocasiona diferentes anomalias na estrutura. Outro fator observado que desencadeia anomalias na estrutura é a ausência da cura que impede as reações iniciais de hidratação do cimento, fazendo-o perder água da pasta para o ambiente.

A dosagem de aditivos, sem utilização de equipamento de medida efetuada nas obras para atingir o espalhamento de 700 mm necessários para o lançamento do concreto, provoca a

diminuição da tensão de escoamento e consequentemente a segregação do concreto. O desvio padrão elevado das resistências dos concretos utilizados na concepção da estrutura é um segundo fator provocado pela falta de controle ao dosar o concreto na obra.

A ausência da validação prévia do traço do concreto e de incertezas na concreteira ao decorrer da execução do empreendimento, ocasionou oscilações de resistência do concreto, elevado consumo de cimento e aditivos nos traços, acarretando segregação, vazios de concretagem, retração da pasta do concreto e consequentemente fissuração, tanto pelo teor de cimento utilizado quanto pela falta de cura. Além da retração, o consumo excessivo de cimento aumenta o custo do concreto e os impactos ambientais.

Constata-se que a falta de especificação do traço do concreto nos projetos faz com que o consumo de cimento elevado se torne um fator compensador para se atingir alta fluidez mantendo-se a resistência, i.e., aumenta-se o teor de pasta (cimento + água) – além de garantir rápida resistência para desformar e concretar o próximo pavimento. Portanto, a etapa de projeto, especialmente a especificação do material, tem influência direta e crucial na falta de desempenho do empreendimento.

Desta forma, conclui-se que a execução é a etapa que apresenta maiores vícios e erros e consequentemente desencadeia a maioria das manifestações patológicas. Seguida das etapas de projeto e gestão de obras, ou seja, as obras realizam a concretagem de suas estruturas sem compreender o sistema construtivo e a aplicação do material. Melhorias no gerenciamento das três etapas têm grande potencial para melhorar o desempenho das habitações de interesse social construídas com este sistema construtivo, conforme demonstrado nas análises realizadas neste trabalho.

7.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Em função dos estudos realizados neste trabalho, observou-se que alguns pontos merecem uma análise mais aprofundada.

Há a necessidade de mais estudos sobre as manifestações patológicas encontradas no pós-ocupação em empreendimentos que passaram por um período maior de uso e que não possuem mais a garantia da assistência técnica da construtora, bem como há necessidade de verificação da ocorrência – ou não – de manutenções preventivas nestas edificações.

Outra linha de trabalho a ser explorada é o levantamento de custos de manutenção após a entrega e sua comparação ponderada com o custo de uma execução mais correta no sentido de se preocupar, preventivamente, com as patologias constatadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INCORPORADORAS IMOBILIARIAS (ABRAINCO). **Necessidades habitacionais:** Tendências para os próximos dez anos. Publicado em 28 de janeiro de 2019. Disponível em: <<https://www.abrainco.org.br/mercado-imobiliario/2019/01/28/necessidades-habitacionais-tendencias-para-os-proximos-dez-anos/>>. Acessado em: 10/06/2019.

ALLEN, E.; IANO, J. **Fundamentos da engenharia de edificações:** materiais e métodos. 5ª ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2013.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 305R.** Hot Weather Concreting, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM (ABESC). **Projeto paredes de concreto:** um grande desafio. In: Revista Concreto e Construções, 2008. Ano XXXVI, nº 51.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Manual técnico para Implementação:** habitação 1.0 bairro saudável. São Paulo: Editora ABCP, 2002.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **História da normalização brasileira / Associação Brasileira de Normas Técnicas.** – Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 112 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM67** Concreto – Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 5674.** Manutenção de Edificações – Requisitos para o Sistema de Gestão de Manutenção. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 5738.** Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 5739.** Concreto – Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 6188.** Projetos de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 6492**. Representação de projetos de arquitetura. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 7212**. Execução de Concreto Dosado em Central – Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 12655**. Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação- Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 13531**. Elaboração de projetos de edificações – Atividades Técnicas. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13532**. Elaboração de projetos de edificações – Arquitetura. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 14037**. Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações – Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 15146 – 1**. Controle tecnológico de concreto – Qualificação de Pessoal – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 15146-2**. Controle tecnológico de concreto – Qualificação de Pessoal – Parte 2: Pavimentos de concreto. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 15220**. Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15261**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto – Determinação da variação dimensional (Retração ou Expansão Linear). Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15696**. Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 15575**. Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15577-4**. Agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 15823-2**. Concreto auto adensável Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual — Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 15823-3**. Concreto Autoadensável - Parte 3: Determinação da Habilidade Passante — Método do Anel J. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 16055**. Parede de concreto moldado no local para a construção de edificações. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR ISO 9000**. Sistema de gestão da qualidade – Fundamentos e Vocabulários. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR ISO 9001**. Sistema de gestão da qualidade: Requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR ISO 9004**. Gestão da qualidade – Qualidade de uma organização – Orientação para alcançar o sucesso sustentado. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR ISO 19011**. Diretrizes para auditoria de sistema de gestão. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR NM 33**. Concreto – Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro 1998.

ACI COMMITTEE 212, Guide for the use of high-range water-reducing admixtures (superplasticizers) in concrete, ACI 212.4R-04, American Concrete Institute, 2004, 13p.

ACI COMMITTEE 237, Self-consolidating concrete, ACI 237R-07, American Concrete Institute, 2008, 30p.

ACI COMMITTEE 305, Hot Weather Concreting, ACI 305R, American Concrete Institute, 1999.

AZEVEDO, M. T. **Patologia das estruturas de concreto**. 1ª ed. São Paulo: In ISAIA, G. C. Ed. Concreto: ciência e tecnologia. Volume 2, 2011. p. 1095-1128.

BENTO, R. C. **Análise do desempenho ambiental de estruturas de concreto armado: uso da avaliação do ciclo de vida (ACV) no processo decisório do dimensionamento.** Tese doutorado. IAU USP. São Carlos, 2016.

BRAGUIM, T. C. **Utilização de modelos de cálculo para projetos de edifícios de parede de concreto armado no local.** 2013. 227f. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BRASIL. Política Nacional de Habitação (Caderno Mcidades, No. 4). **Ministério das Cidades**, Brasília, 2005.

BRASIL. **Tribunal de Contas da União.** Relatório de Auditoria Operacional no Programa Minha Casa Minha Vida. TC 033.568/2012-0 – Fiscalis: 1073/2012. Brasília, 2013.

Brasileiro, L. L.; Matos, J. M. E. **Revisão bibliográfica: Reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil.** Cerâmica vol.61 no.358 São Paulo Apr./June 2015.

BONDUKI, N. **Origens da habitação social no Brasil:** arquitetura moderna, lei do inquilinato e difusão da casa própria. São Paulo: Estação Liberdade/FAPESP, 1998.

BORBA, A. E.O. **Proposta de indicadores de sustentabilidade para o setor da construção civil.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UPE. Recife, 2009.

CAI, G.; CHEN, W.; LARBI, A.S.; MALLA, P.; XIONG, F.; XU Y. **Numerical study on the behaviour of vertical bolted joints for precast concrete wall-based low-rise buildings.** Jun 2020 Elsevier Ltd.

CÂNDIDO, T. G. **Desempenho de concreto com baixo consumo de ligante.** Dissertação mestrado, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa -PB, 2018.

CARDOSO, A. e ARAGÃO, T.A. “A reestruturação do setor imobiliário e o Programa Minha Casa Minha Vida”. In: MENDONÇA, J.G. e COSTA, H.S. de M.(orgs.). **Estado e capital imobiliário: convergências atuais na produção do espaço urbano.** Belo Horizonte: C/Arte, 2011.

CARDOSO, A.; ARAGÃO, T.A.; ARAÚJO, F. S. Habitação de Interesse Social: política ou mercado? Reflexos sobre a construção do espaço metropolitano. **In Anais** do XIV Encontro Nacional da ANPUR (pp.14). Rio de Janeiro: ANPUR. 2011.

CARNEIRO, P. C. S. e OLIVEIRA, R. D. **Desempenho termo acústico de sistemas construtivos: estudo de ferramentas aplicáveis a verificação da conformidade de habitação multifamiliar segundo requisitos da NBR 15.575/2013**. Matéria (Rio J.) [online]. 2020, vol.25, n.1, e-12556. Epub Apr 06, 2020.

CARVALHO, A.W.B; STEPHAN, I.I.C. **Eficácia social do Programa Minha Casa Minha Vida: discussão conceitual e reflexões a partir de um caso empírico***. Cad. Metrop. 2016, vol.18, n.35, pp.283-307, 2016.

CARVALHO, L. F. **Sistema construtivo em paredes de concreto para edifícios: dimensionamento da estrutura e aspectos construtivos**. 2012. 130f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

CASTRO, A. L.; CARRAZEDO, R. **O concreto nas primeiras idades**. Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Estruturas, SET 5879 – Fundamentos do concreto estrutural. São Carlos, 2018.

CII – CIBIC. **Governo reduz subsídios da faixa 1,5 do Minha Casa, Minha Vida em 2019**. 21/01/2019. Disponível em: <<https://cbic.org.br/industrialmobiliaria/2019/01/21/governo-reduz-subsidios-da-faixa-15-do-minha-casa-minha-vida-em-2019-5/>>. Acessado em: 02/09/2019.

CIONE, J. G. C. **Comparativo de viabilidade física e econômica entre sistemas de parede de concreto e alvenaria estrutural para edifícios de 4 pavimentos**. Conclusão de curso, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de São Carlos. São Carlos, 2016.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. **Coletânea de ativos Parede de concreto**, 2007-2008.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. **Coletânea de ativos Parede de concreto**, 2009-2010.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. **Coletânea de ativos Parede de concreto**, 2011-2013

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307 de 2002 – Gestão de resíduos e produtos perigosos**. Diário Oficial da União, nº 136, de 17 de julho de 2002 – Seção 1.

CONSULTORIA EM REABILITAÇÃO DO EDIFICADO E PATRIMÔNIO (NCR EP) - **Determinação da profundidade de carbonatação de betões**. Disponível em: <<http://www.ncrep.pt/section.php?id=1436>>. Acessado em: 13/08/2019.

COUTINHO, B. S. **Propriedades e comportamento estrutural do concreto auto adensável**. Dissertação de Mestrado a Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2011.

CUNHA, G. R. **O Programa Minha Casa Minha Vida em São José do Rio Preto/SP: Estado, Mercado, Planejamento Urbano e Habitação**. 2014. 340f. Tese de Doutorado – Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

DAMINELI, B. L. **Conceitos para formulação de concretos com baixo consumo de ligantes: Controle Reológico, Empacotamento e Dispersão de Partículas**. 2013. 265f. Tese de Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

ECYCLE. **Como ocorre o processo de produção do cimento e quais são seus impactos ambientais?** Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/35/1569-processo-de-producao-do-cimento-gera-emissoes-e-pode-diminuir-biodiversidade.html>> Acessado em: 27/08/2019.

ESPAÇADOR CIRCULAR PARA PAREDE DE COCNRETO. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/prod/e/espacador-circular-para-parede-de-concreto_3453_49513>. Acessado em: 07/08/2019.

EUROPEAN PROJECT GROUP. **The European Guidelines for Self-Compacting Concrete**, 2005. <http://www.efnarc.org/publications.html>, acesso em 22 de Agosto de 2020.

FERREIRA, G. G. et al. **Política habitacional no Brasil: uma análise das coalizões de defesa do Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social versus o Programa Minha Casa, Minha Vida**. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 2019.

FONSECA JR, A. – **Coletânea de Ativos – Parede de Concreto (2009/2010)**. Comunidade da construção – Sistema a base de cimento, pag 63.

FREITAS JR. J. A. **Materiais de Construção: Propriedades do Concreto fresco (TC-031)**. 2013. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/7/7c/TC031_Propriedades_fresco_.pdf>. Acessado em: 01/08/2019.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do Concreto Estrutural**. 1ª ed. São Paulo: Editora Pini, 2008.

Gestão de Qualidade. **Gestão de Qualidade Info**. Disponível em: <<https://gestao-de-qualidade.info/>>. Acesso em 18/01/2021.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. Ed. – São Paulo: Editora Atlas, 2008.

GÓES, B. P. **Paredes de concreto moldadas “in loco”, estudo do sistema adotado em habitações populares**. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

GODOY, A. R. **Introdução a pesquisa qualitativa e suas possibilidades**. São Paulo: ERA – Revista de administração de empresas, 1995, vol.35 no.3. p. 20-29.

HELENE, P. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo, Pini: 1992.

HELENE, P. R.L. **Manual para reparo, reforços e proteção de estruturas de concreto**. 2ª ed. São Paulo: Editora Pini, 1994.

HELENE, P. Vida útil das estruturas de concreto. **Anais: 4º Congresso Ibero-americano de Patologia das Construções e 6º Congresso de Controle da Qualidade, CON-PAT 97**. Porto Alegre, pg. 21 a 24, out. 1997.

HELENE, P. R. L. **Manual de reabilitação de Estruturas de Concreto – Reparo, Reforço e Proteção**. São Paulo: Red Rehabilitar, editores, 2003.

HELENE, P. R. L. **A Nova NB 1/2003 (NBR 6118) e a Vida Útil das estruturas de Concreto**. II Seminário De Patologia Das Edificações Do Leme/UFRGS. 2004.

HONORATO, G. **Conhecendo o marketing**. Barueri, SP: Editora Manole, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **General Principles on the Design of Structures for Durability**. ISO 13823. Geneva: ISO/TC, 2008.

JANKOVIC, S.; PEJOVI, J.; PEJOVIC, R.; SERDAR, N. **Shear force magnification in reinforced concrete walls of high-rise buildings designed according to Eurocode 8**. 2019 Elsevier Ltd.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2003.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das construções: procedimento para a formulação do diagnóstico de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações**. Boletim Técnico 06/86 – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

LORDSLEEM JUNIOR, A. C. et al. (1998a). Estágio atual do uso de paredes maciças moldadas no local em São Paulo. In: Congresso Latino Americano Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios – Soluções para o Terceiro Milênio. São Paulo. **Anais...** São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Civil – PCC, nov.1998.

LAZZARINI, S.; HIPPERT, M. A. S. Diretrizes para controle de informação documentada gerada pela implantação da NBR 15575: edificações habitacionais: desempenho em empresas construtoras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 181-196, jan./mar. 2020.

MARICATO, E. O. "Minha Casa" é um avanço, mas segregação urbana intocada. **Carta Maior**, 27/05/2009. Disponível em:< <https://www.cartamaior.com.br/?/Editoria/Politica/O-Minha-casa-e-um-avanco-mas-segregacao-urbana-fica-intocada/4/15160.%25253E>>. Acesso em: 02/09/2019.

MARICATO, E. **O impasse da política urbana no Brasil**. Petrópolis- RJ:Vozes, 2011.

MARINI, A. et. al. **Ataque por sulfatos em estruturas de concreto**. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/0/0a/02_Sulfatos.pdf>. Acessado em: 13/08/2019.

MARTUCIL, R. Porque Analisar e Avaliar Habitações e Tecnologias para Sistemas Construtivos Habitacionais. In: Habitação 2: tecnologias em debate. **Anais...** Brasília: Starprint., 1999, 132 p.

MAZZOTTI, A.J.A. **Usos e abusos dos estudos de casos**. v. 36. Rio de Janeiro: Cadernos de Pesquisa - Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Estácio de Sá, set./dez. 2006, n. 129,

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 1ª ed. São Paulo: Editora Ibracon, 2008.

MISSURELLI, H.; MASSUDA, C. **Como construir Paredes de Concreto**. Revista Técnica, Ed. 147, 2009, pg. 74 a 80, 2009.

MONGE, R.; MAYOR, A.V. e SILVA, J. B. R. **A construção de um sistema de sucesso**. CONCRETO & Construções | Ed. 90 | Abr – Jun • 2018 pág 42.

MESOMO, M. F. **Manifestações patológicas em unidades habitacionais construídas com parede de concreto moldadas in loco com formas metálicas: análises das falhas observadas na etapa de execução**. Monografia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2018.

NAIK, T. R. **Sustainability of Concrete Construction**. PRACTICE PERIODICAL ON STRUCTURAL DESIGN AND CONSTRUCTION © ASCE / MAY 2008.

NUNES, V.Q.G. **Análise estrutural de edifícios de paredes de concreto armado**. 2011. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

ORNSTEIN, S. W. **Avaliação pós-ocupação (APO) do ambiente construído**. (Colab. Marcelo Romero). São Paulo: Studio Nobel/EDUSP, 1992.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Declaração Universal dos Direitos Humanos**. 2009. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2018/10/DUDH.pdf>>. Acessado em: 03/09/2019.

PAN, W.; WANG, Z.; ZHANG, Z. High-rise modular buildings with innovative precast concrete shear walls as a lateral force resisting system. 2020 Institution of Structural Engineers. Published by Elsevier Ltd.

PAREDE de concreto – **Especificações**. Comunidade da Construção, 2020. Disponível em <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/sistemas-construtivos/2/especificacoes/qualidade/28/especificacoes.html>> Acesso em: 28/08/2020.

PEDRO, E.G.; CORRÊA, L. E. F.; ROCHA, M. M. O.; CHAVES, M. V. **Patologia em revestimento cerâmico de fachada**. Trabalho monográfico apresentado ao Curso de Pós-Graduação do CECON. Belo Horizonte, 2002.

PEREIRA, T. A.C. **Concreto auto adensável, de alta resistência, com baixo consumo de cimento Portland e com adições de fibras de lã de rocha ou poliamida**. Dissertação Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos 2010.

PIANCASTELLI, É. M. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. 1997. 160f. Monografia - Bacharelado em Ed. Departamento de Estruturas da – EEUFMG. Minas Gerais, 1997.

PORTO, T. B; FERNANDES, D. S. G. **Curso básico de concreto armado**: segundo NBR 6118/2014. 1ª ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2015.

POSSAN, E.; DEMOLINER, C. A. **Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral**. Revista Técnico-Científica do CREA-PR - ISSN 2358-5420 - 1ª edição – Outubro de 2013.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre, 2010.

PROGRAMA BRASILEIRO DE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE NO HABITAT. **Projetos - Sistema de Avaliação da Conformidade de Serviços e Obras** - SiAC. Brasília. Disponível em: http://pbqph.cidades.gov.br/projetos_siac.php. Acesso em: 18 jan 21.

REIS, D. S. N.; BRAGA, A. C. S.; NUNES, N. M. S. **Paredes de concreto**: a importância da sua utilização. Vol. 3. Revista Científica Interdisciplinar, 2016, Nº 2, artigo nº 9.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de construção civil**. 2ª ed. Belo Horizonte: Editora UFMG e Escola de Engenharia da UFMG, 2006.

ROLNIK, R. e KLINK, J. **Crescimento econômico e desenvolvimento urbano**: por que nossas cidades continuam tão precárias? São Paulo: Novos Estudos-Cebrap, 2011, n. 89, pp. 89-109.

SACHT, H. M. **Painéis de vedação de concreto moldado in loco**: Avaliação de Desempenho Térmico e Desenvolvimento de Concretos. 2008. 286f. Dissertação de Mestrado – Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SACH, H.M.; ROSSIGNOLO, J.A.; BUENO, C. **Vedações verticais em concreto moldadas in loco**: avaliação do conforto térmico de habitações térreas no Estado de São Paulo. V.4. São Paulo: Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, p.31-48.

SANTOS, A. **Ataque por íons cloreto custa R\$ 800 milhões por ano para o Brasil**. 2012. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/ataques-por-ions-de-cloreto-custa-r-800-milhoes-por-ano-ao-brasil/>>. Acessado em: 13/08/2019.

SAMPAIO, G.G.S; COUTINHO, G.C.; NOGUEIRA, M.S.; MANIER, R.J. **Patologia em parede de concreto**. Revista de Trabalhos Acadêmicos Universo – São Gonçalo, Nº 1 – Trabalhos Acadêmicos Universo. São Gonçalo/RJ, 2016.

SANTOS, R. E. **A armação do concreto no Brasil**: história da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia. 2008. 338f. Tese de Doutorado – Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SANTOS, S. **Concreto com sustentabilidade**. CREA, 2013. Disponível em <<http://www.crea-sc.org.br/portal/index.php?cmd=artigos-detalle&id=2660#.X2bTpGhKjDd>>. Acesso em 21/09/2020.

SILVA, A. P.; JONOV, C.M.P. **Falhas e Patologias dos materiais de construção**. Curso de Mestrado em Construção Civil - UFMG. Minas Gerais, 2018. Disponível em: <http://www.demc.ufmg.br/adriano/Falhas_Patologias_2018.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2020.

SILVA, M. A. **Diretrizes para projeto de alvenaria de vedação**. 2003. 274f. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil - SiAC. **Regimento Geral Regimento Específico da Especialidade Técnica Execução de Obras Brasília**, 06 de janeiro de 2017.

SOUSA, F.B. et al., Dosagem e caracterização de concreto de alto desempenho com escória de alto forno moída. In: **Anais**. 50º Congresso Brasileiro do Concreto, Salvador, BA, São Paulo: IBRACON, 2008

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1ª ed. São Paulo: Editora Pini, 1998.

TRAÇO DE CONCRETO: **CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO**. 2017. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/traco-de-concreto-controle-de-qualidade-do-concreto/>>. Acessado em: 01/08/2019.

TRINCAS DECORRENTES DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADOS: O FENÔMENO. 2011. Disponível em: < <http://www.ebanataw.com.br/roberto/trincas/caso39.htm> >. Acessado em: 13/08/2019.

VIEIRA, L. B. **Projeto de paredes de concreto armado**: apresentação das recomendações normativas e avaliação da influência das aberturas. 2014. 128f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

WERNER, E et. al. **Pluralismo da habitação**. São Paulo: Annablume/EPUSP, 2001, 300p.

WEIDLE, E. P. S. **Saúde & Tecnologia**: textos de apoio à programação física dos estabelecimentos assistenciais de saúde - sistemas construtivos na programação arquitetônica de edifícios de saúde. Ministério da Saúde, Brasília, 1995.

WENDLER, A. **Paredes de concreto – um sistema normalizado**. Concreto & Construções. São Paulo, v.68, p. 44-48, 2012

WENDLER, A; MONGE, R. Paredes de concreto – como ter uma obra sem patologia. CONCRETO & Construções | Ed. 90 | Abr – Jun • 2018.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Trad. Daniel Grassi – 2.ed.- Porto Alegre: Bookman, 2001.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Roteiro de Obra

Universidade de São Paulo - USP Instituto de Arquitetura e Urbanismo - IAU Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo
<u>Roteiro de obra - Parede de Concreto - Execução</u>		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Empresa: _____</p> <p>Engenheiro: _____</p> <p>Acompanhada por: _____</p> <p>Obra: _____ Cidade: _____</p> <p>Área: _____ Área construída: _____</p> <p>Número de blocos: _____ Número de pavimentos: _____</p> <p>Total de unidades: _____</p> <p>Estudo realizado no bloco: _____ Pavimento: _____</p> </div>		
<u>PARTE I</u>		
<p>1. Armazenamento dos materiais:</p> <p>Data da verificação: _____</p> <p>Aço: _____</p> <p>_____</p> <p>Cimento: _____</p> <p>_____</p> <p>Areia: _____</p> <p>_____</p> <p>Brita: _____</p> <p>_____</p> <p>Desmoldante: _____</p> <p>_____</p> <p>Tipo de Desmoldante: _____</p>		
<p>2. Montagem da estrutura:</p> <p>a) Aço</p> <p>Bitola: _____ Emendas: _____</p> <p>Reforços: _____</p> <p>Data da montagem: Início: _____ Término: _____</p> <p>Tempo: _____</p>

Universidade de São Paulo - USP
Instituto de Arquitetura e Urbanismo - IAU
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

b) Forma

Aparência da forma: _____

Desmoldante: _____

Travas: _____ Escoras: _____

Data da montagem: Início: _____ Término: _____

3. Concretagem:

Resistência em projeto: _____ Abatimento em projeto: _____

Traço do Concreto: _____

Tipo de concreto: ☐ Usinado ☐ In loco

Concreteira: _____

Quantidade de concreto utilizado: _____ Quantidade de caminhão utilizado: _____

Data da concretagem: _____ Clima: _____ Temperatura: _____

Horário de saída da concreteira		
C01:	C05:	C09:
C02:	C06:	C10:
C03:	C07:	C11:
C04:	C08:	C12:

Horário de chegada na obra		
C01:	C05:	C09:
C02:	C06:	C10:
C03:	C07:	C11:
C04:	C08:	C12:

Horário de lançamento do concreto		
C01:	C05:	C09:
C02:	C06:	C10:
C03:	C07:	C11:
C04:	C08:	C12:

Horário de lançamento entre um caminhão e outro		
C01:	C05:	C09:
C02:	C06:	C10:
C03:	C07:	C11:
C04:	C08:	C12:

Tempo de abatimento do concreto ao chegar na obra		
C01:	C05:	C09:
C02:	C06:	C10:
C03:	C07:	C11:
C04:	C08:	C12:

Universidade de São Paulo - USP
Instituto de Arquitetura e Urbanismo - IAU
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Houve cura do concreto após a concretagem: ☐ Sim ☐ Não

Qual: _____

4. Ensaios:

Slump em projeto: _____ Flow em projeto: _____

SLUMP NA OBRA		
C01:	C05:	C09:
C02:	C06:	C10:
C03:	C07:	C11:
C04:	C08:	C12:

FLOW NA OBRA		
C01:	C05:	C09:
C02:	C06:	C10:
C03:	C07:	C11:
C04:	C08:	C12:

Outro ensaio: _____

Tipo de CP: _____

Tipo de cura do CP: _____

Laboratório: ☐ na obra ☐ Terceirizado. Onde: _____ ☐ Outros. Onde: _____

5. Desforma:

Resistência para desforma em projeto: _____

Resistência de desforma - Obra		
C01:	C05:	C09:
C02:	C06:	C10:
C03:	C07:	C11:
C04:	C08:	C12:

Atingiu resistência mínima para desforma: ☐ Sim ☐ Não

Data desforma: Início: _____ Término: _____

Aparência geral das paredes:

Resistência aos 28 dias		
C01:	C05:	C09:
C02:	C06:	C10:
C03:	C07:	C11:
C04:	C08:	C12:

Universidade de São Paulo - USP
Instituto de Arquitetura e Urbanismo - IAU
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

PARTE II:

6. Acabamento:

Qual acabamento será utilizado:

a) Piso:

Houve regularização do piso: ☐ Sim ☐ Não

Qual: _____

Tamanho piso: _____ Marca: _____ PEI: _____

Argamassa para assentamento: _____

Impermeabilização das áreas úmidas: ☐ Sim ☐ Não

Qual impermeabilizante: _____

Seguiu orientação do fornecedor para aplicação: ☐ Sim ☐ Não

Observação:

b) Parede:

- Parede – houve alguma regularização ou intervenção: _____

- Assentamento de janela: _____

Qual argamassa é utilizada para assentamento: _____

É feito algum tipo de vedação (silicone, PU, etc.): _____

Houve reparos: ☐ Sim ☐ Não.

Quais: _____

- Azulejo: _____

Tamanho: _____ Marca: _____ Local: _____

Argamassa para assentamento: _____

Houve reparos: ☐ Sim ☐ Não.

Quais: _____

- Pintura: _____

Tipo de Pintura: ☐ Texturizada ☐ Lisa

Tipo de produto utilizado: _____

Universidade de São Paulo - USP
 Instituto de Arquitetura e Urbanismo - IAU
 Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

PARTE III

7. Apartamento finalizado:

a) Aparência geral

• Sala: _____

• Cozinha: _____

• Quarto: _____

• Corredor: _____

b) Houve reparos? ☐ Sim ☐ Não

Quais: _____

APÊNDICE B - Entrevista ao Engenheiro da Obra

Universidade de São Paulo - USP
Instituto de Arquitetura e Urbanismo - IAU
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Questionário Engenheiro – Obra PC

Questionário nº _____

Data: ____/____/____

Início: ____:____h

Fim: ____:____h

Condomínio: _____

Número de blocos do condomínio: _____

Cidade: _____ Construtora: _____

Cargo/Função: _____

NOTA: Este questionário destina-se exclusivamente para fins acadêmicos, tendo como objetivo a avaliação de edifícios de interesse social no intuito de diagnosticar suas condições atuais e propor intervenções futuras para melhoria da qualidade do produto e de seus usuários. Grata pela colaboração.

Caracterização da obra

1. Qual atividade técnica exerce nesta obra? (Executor, projetista, gestor, etc.)

() Projeto () Gestão () Execução de obra () Fiscalização de obra () Direção de obra

2. Há quanto tempo está trabalhando nesta empresa? _____

3. Qual o sistema construtivo deste empreendimento? _____

4. Possui experiência neste tipo de sistema construtivo? () Não () Sim

5. Recebeu algum treinamento da empresa? () Não () Sim

Qual?

6. Considera suficiente? () Não () Sim

7. Qual a região que o empreendimento está inserido?

() Rural () Marinha () Urbana () Industrial () Indústrias químicas

Com relação aos projetos mencionados abaixo, a obra os têm:

	SIM	NAO
8. Projeto estrutural?		
9. Projeto de forma e escoramento?		
10. Projeto executivo?		
11. Projetos complementares: elétrico, telefônico, SPDA e comunicação?		
12. Projetos complementares: hidráulico, drenagem e infraestrutura?		

13. Esses projetos foram elaborados pela mesma equipe de projeto? () Não () Sim

14. Foi feita compatibilização entre eles na obra? () Não () Sim

15. Houve algum conflito entre eles? () Não () Sim

Universidade de São Paulo - USP
 Instituto de Arquitetura e Urbanismo - IAU
 Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

16. Se sim, foram acionados os projetistas? () Não () Sim

17. Foi feito algum tipo de registro referente a alterações? () Não () Sim

18. Qual registro?

19. Qual a sequência executiva da obra?

20. Qual o requisito de desempenho que a obra possui?

21. Possui apartamento com acessibilidade? () Não () Sim

22. Se sim, qual a diferença destes apartamentos para os demais?

Caracterização da Estrutura

23. Onde há reforços na armacão?

24. Estes reforços estão prescrito em projeto? () Não () Sim

25. Se não, qual o critério usado para colocação destes reforços?

26. Como é posicionada a armação para receber o concreto?

Universidade de São Paulo - USP
 Instituto de Arquitetura e Urbanismo - IAU
 Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

27. Utiliza espaçador?

() Não

() Sim

28. Se sim, qual o espaçamento utilizado?

29. Qual a espessura da parede?

30. Como é feita a junta de dilatação entre os blocos?

31. Qual é o procedimento de montagem das formas?

32. Qual o tempo necessário de escoramento?

33. A obra usa desmoldante nas formas?

() Não

() Sim

34. Qual tipo de desmoldante é usado?

35. Está prescrito em projeto?

() Não

() Sim

36. Após o uso das formas, a obra faz algum tipo de manutenção? Qual?

37. Como mantem sua integridade?

38. Qual o traço do concreto?

Universidade de São Paulo - USP
 Instituto de Arquitetura e Urbanismo - IAU
 Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

39. Este concreto foi definido pelo projetista? () Não () Sim

40. Se não, quem definiu o traço?

41. Qual a trabalhabilidade do concreto?

42. Esta trabalhabilidade foi definido pelo projetista? () Não () Sim

43. Se não, quem definiu esta trabalhabilidade para o concreto?

44. Qual o abatimento do concreto?

45. Este abatimento foi definido pelo projetista? () Não () Sim

46. Se não, quem definiu este abatimento?

47. Existe algum tipo de controle tecnológico para o concreto? () Não () Sim

48. Se sim, qual (s)?

49. Qual a resistência do concreto aos 28 dias?

50. Esta resistência está especificada em projeto? () Não () Sim

51. Se não, quem definiu esta resistência?

52. Qual resistência e o período mínimo que o concreto deve atingir para ser
 desenformado e continuar o ciclo de concretagem?

53. Foi especificado em projeto? () Não () Sim

Universidade de São Paulo - USP
 Instituto de Arquitetura e Urbanismo - IAU
 Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

54. Se não, quem definiu esta resistência?

55. Qual a procedência do concreto utilizado na obra?

() Rodado em obra () Usinado () Projetada

56. A obra possui quantos fornecedores de concreto?

Com relação ao tempo do caminhão de concreto:

	30 min.	90 min.	150 min.	200 min.	300n.
57. Qual o tempo que leva para chegar da concreteira até a obra?					
58. Qual o tempo de espera na obra para ser utilizado?					
59. Qual o tempo de descarregado do concreto?					

60. Após a finalização da concretagem é feita algum tipo de cura? () Não () Sim

61. Se sim, qual e por quanto e tempo?

62. Para a obra de parede de concreto o clima interfere na sua execução? () Não () Sim

63. Se sim, como?

APÊNDICE C - Entrevista ao Funcionário da Assistência Técnica

Universidade de São Paulo - USP Instituto de Arquitetura e Urbanismo - IAU Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo
---	--	---

Entrevista – Assistência Técnica

Questionário nº _____

Data: ____/____/____

Início: ____:____h Fim: ____:____h

Construtora: _____

Cidade: _____

Cargo/Função: _____

NOTA: Este questionário destina-se exclusivamente para fins acadêmicos, tendo como objetivo a avaliação de edifícios de interesse social no intuito de diagnosticar suas condições atuais e propor intervenções futuras para melhoria da qualidade do produto e de seus usuários. Grata pela colaboração.

1. Qual o período de assistência que a construtora disponibiliza para os moradores?

2. Como foi designado o tempo de garantia para cada item? (Ex.: norma, fornecedor ou outros)

3. Como é o procedimento de um pedido de assistência técnica?

4. Quais são as principais ocorrências?

5. Quais são os procedimentos utilizados para correção das principais ocorrências?

Universidade de São Paulo - USP
Instituto de Arquitetura e Urbanismo - IAU
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

6. A empresa possui alguma plataforma que contabiliza e gera índices de reincidências destes problemas?

7. Qual a média de chamados mensal?

8. Existe algum tipo de projeto de manutenção, seja preventiva ou corretiva, que a assistência técnica segue?

9. Manutenção preventiva faz parte da garantia do empreendimento ou este tipo de manutenção é responsabilidade do condomínio?

10. Existe algum feedback dos problemas encontrados na assistência técnica para o departamento de execução de obras?

11. Existe algum feedback dos problemas encontrados na assistência técnica para o departamento de projetos?