



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MATHEUS FELIPE TORRES DE ALMEIDA
PABLO DE SOUZA LOPES**

**ANÁLISE DE FISSURAS EM PAREDES DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE
CASO E COMPARATIVO TÉCNICO-ECONÔMICO DE DIFERENTES
ALTERNATIVAS DE INTERVENÇÃO**

RECIFE, 2024

MATHEUS FELIPE TORRES DE ALMEIDA

PABLO DE SOUZA LOPES

ANÁLISE DE FISSURAS EM PAREDES DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO E COMPARATIVO TÉCNICO-ECONÔMICO DE DIFERENTES ALTERNATIVAS DE INTERVENÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Tiberio Wanderley C. O. Andrade

RECIFE, 2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Almeida, Matheus Felipe Torres de.

Análise de fissuras em paredes de concreto armado: estudo de caso e comparativo técnico-econômico de diferentes alternativas de intervenção / Matheus Felipe Torres de Almeida, Pablo de Souza Lopes. - Recife, 2024. 67 p. : il., tab.

Orientador(a): Tibério Wanderley Correia de Oliveira Andrade
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Civil - Bacharelado, 2024.

8,5.

Inclui referências.

1. Paredes de Concreto Armado. 2. Manifestação patológica. 3. Fissuras. 4. Comparativo Técnico-Econômico. I. Lopes, Pablo de Souza. II. Andrade, Tibério Wanderley Correia de Oliveira. (Orientação). III. Título.

620 CDD (22.ed.)

MATHEUS FELIPE TORRES DE ALMEIDA
PABLO DE SOUZA LOPES

**ANÁLISE DE FISSURAS EM PAREDES DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE
CASO E COMPARATIVO TÉCNICO-ECONÔMICO DE DIFERENTES
ALTERNATIVAS DE INTERVENÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal de Pernambuco, como
requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 22/10/2024.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. Tiberio Wanderley C. O. Andrade (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Andrea Diniz Fittipaldi (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Eng. Civil M.Sc. João Ribeiro de Carvalho (Examinador Externo)
TECOMAT Engenharia

RESUMO

O sistema de paredes de concreto moldadas *in loco* tem se destacado na construção de edificações em larga escala, buscando atender à crescente demanda habitacional brasileira. A busca por maior produtividade e velocidade na entrega de unidades habitacionais impulsionou a adoção dessa tecnologia, que se apresenta como alternativa viável para o mercado de habitação popular. O Programa Minha Casa Minha Vida, lançado em 2009, intensificou a necessidade de sistemas construtivos mais eficientes que os métodos tradicionais de alvenaria e concreto armado. Nesse contexto, o sistema de paredes de concreto moldadas *in loco* ganhou relevância por sua capacidade de otimizar o processo construtivo e reduzir custos. Este estudo analisou a incidência de fissuras em paredes de concreto armado de um empreendimento habitacional do PMCMV em Recife, identificando suas principais causas e avaliando a efetividade de diferentes métodos de intervenção. A pesquisa se iniciou com uma revisão bibliográfica sobre o sistema de paredes de concreto armado (PCA), abordando suas características e principais patologias inerentes ao sistema. Em seguida, a partir de checklists aplicados em 140 unidades habitacionais, foram coletados dados sobre a frequência e distribuição das fissuras. Os resultados indicaram que as fissuras diagonais inferiores de janelas foram as mais frequentes (54%), especialmente no último pavimento. Com base nesse resultado, quatro métodos de tratamento foram realizados nessas fissuras e comparados, considerando a eficácia na correção das fissuras e o custo-benefício de cada solução. Os métodos envolveram a escarificação, a aplicação de tela de poliéster com bandagem central e o preenchimento com massa acrílica (tapa-trinca) ou argamassa. A análise comparativa dos métodos de tratamento revelou que, apesar da recorrência das fissuras, todos os métodos foram eficazes na mitigação do problema após a finalização do acabamento. O tratamento com argamassa se mostrou a solução mais viável por apresentar o melhor custo-benefício, sem levar em consideração a análise técnica do desempenho dos tratamentos à estanqueidade após o tratamento.

Palavras-chave: Paredes de Concreto Armado, Manifestação patológica, Fissuras, Comparativo Técnico-Econômico.

ABSTRACT

The cast-in-place concrete wall system has been prominent in the construction of large-scale buildings, aiming to meet the growing Brazilian housing demand. The pursuit of greater productivity and speed in delivering housing units has driven the adoption of this technology, which presents itself as a viable alternative for the affordable housing market. The Minha Casa Minha Vida Program, launched in 2009, intensified the need for more efficient construction systems than traditional masonry and reinforced concrete methods. In this context, the cast-in-place concrete wall system gained relevance for its ability to optimize the construction process and reduce costs. This study analyzed the incidence of cracks in reinforced concrete walls of a PMCMV housing project in Recife, identifying their main causes and evaluating the effectiveness of different intervention methods. The research began with a literature review on the reinforced concrete wall (RCW) system, addressing its characteristics and main inherent pathologies. Subsequently, data on the frequency and distribution of cracks were collected from checklists applied in 140 housing units. The results indicated that lower diagonal window fissures were the most frequent (54%), especially on the top floor. Based on this result, four treatment methods were carried out on these fissures and compared, considering the effectiveness in correcting the cracks and the cost-benefit of each solution. The methods involved scarification, the application of polyester mesh with central bandage, and filling with acrylic mass (crack filler) or mortar. The comparative analysis of the treatment methods revealed that, despite the recurrence of the fissures, all methods were effective in mitigating the problem after finishing the coating. The treatment with mortar proved to be the most viable solution due to its best cost-benefit ratio, without taking into account the technical analysis of the performance of the treatments concerning waterproofing after treatment.

Keywords: Reinforced Concrete Walls, Pathological Manifestation, Cracks, Technical-Economic Comparison.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Déficit habitacional (2013 -2019).....	12
Figura 2– Etapas Construtivas no sistema PCA	16
Figura 3 - Embutidos na laje.....	17
Figura 4 - Forma metálica montada.....	18
Figura 5 - Forma metálica (fachada externa).....	19
Figura 6 - Tipos de concreto utilizados pelas construtoras.....	20
Figura 7 - Lançamento do concreto na forma.....	21
Figura 8 - Posicionamento do vibrador	22
Figura 9 - Classificação de aberturas de acordo com a espessura	24
Figura 10 - Fissura mosaico em laje	26
Figura 11 - Fissuração em janelas.	28
Figura 12 – Fissuração no último pavimento	28
Figura 13 - Principais métodos para correção de Fissuras	29
Figura 14 - Diferença da distribuição das tensões na fissura.....	31
Figura 15 - Tela de poliéster com bandagem central.....	32
Figura 16 – Fluxograma das etapas metodológicas do trabalho.....	34
Figura 17 - Modelo Checklist – Inspeção de fissuras.....	35
Figura 18 - Planta Baixa – Apartamento tipologia 2 quartos	36
Figura 19 – Conjunto habitacional em execução.....	37
Figura 20 - Especificações do solo de recomposição	38
Figura 21 - Especificações do concreto (Paredes e Lajes).....	39
Figura 22 - Tela soldada fixada no eixo da parede.....	40
Figura 23 - Ciclos de concretagem por bloco	41
Figura 24 - Levantamento da incidência de fissuras no empreendimento.....	42
Figura 25 - Planta Baixa - Mapa de fissuração	43
Figura 26- Fissura Térreo	45
Figura 27- Fissura último pavimento.....	45
Figura 28 - Mancha de infiltração pavimento térreo na direção da fissura	46
Figura 29 - Fissura na parte superior da porta	47
Figura 30 - Fissura Junta Fria piso da sala	48
Figura 31 - Fissura Junta Fria Parede com Infiltração.....	49
Figura 32 - Fissura inclinada último pavimento após apicotamento.	50
Figura 33 - Fissura Mosaico	51

Figura 34 - Preparação da superfície	54
Figura 35 - Escarificação da fissura.....	55
Figura 36 - Preenchimento da fissura com massa acrílica com fibras minerais	56
Figura 37 - Aplicação da tela de poliéster junto a segunda camada de massa acrílica.	57
Figura 38 - Materiais utilizados nos métodos I e II.	59
Figura 39 - Materiais utilizados nos métodos III e IV.	60
Figura 40 - Quadro resumo dos tratamentos utilizados na pesquisa.	61
Figura 41 - Precipitação média Recife.....	62

LISTA DE ABREVIACÕES

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BGS – Brita Graduada Simples.

CBR – California Bearing Ratio.

CRF – Concreto Reforçado com Fibras.

EPIs – Equipamentos de Proteção Individual.

Fck – Resistência característica à compressão do concreto.

MPa – Megapascal.

NBR – Norma Brasileira.

PCA – Paredes de Concreto Armado.

PMCMV – Programa Minha Casa Minha Vida

PUD – Poliuretano.

SiNAT – Sistema Nacional de Avaliações Técnicas

IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	IMPORTÂNCIA DO TEMA	11
1.2	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	12
1.3	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	13
1.4	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	14
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	15
2.1	O SISTEMA CONSTRUTIVO PCA.....	15
2.1.1	Marcação.....	16
2.1.2	Armação	16
2.1.3	Embutidos	16
2.1.4	Fôrmas metálicas.....	17
2.1.5	Concretagem	19
2.1.6	Adensamento.....	21
2.1.7	Cura do concreto	22
2.2	PATOLOGIAS DO SISTEMA CONSTRUTIVO	22
2.2.1.1	CLASSIFICAÇÃO DAS FISSURAS	23
2.2.1.2	QUANTO A ESPESSURA	23
2.2.1.3	QUANTO À ATIVIDADE	24
2.2.2	MECANISMOS DE FORMAÇÃO DE FISSURAS.....	24
2.2.2.1	FISSURAS INDUZIDAS POR RECALQUE DE FUNDAÇÃO.....	25
2.2.2.2	FISSURAS INDUZIDAS POR SOBRECARGAS.....	25
2.2.2.3	FISSURAS INDUZIDAS POR RETRAÇÃO HIDRÁULICA OU POR SECAGEM E POR RETRAÇÃO PLÁSTICA	26
2.2.3	FISSURAS NO ÚLTIMO PAVIMENTO	28
2.3	MÉTODOS DE TRATAMENTO DE FISSURAS.....	29
2.3.1	LIMPEZA DA SUPERFÍCIE DE CONCRETO FISSURADA.....	29
2.3.1.1	Apicotamento	30
2.3.1.2	Métodos Abrasivos (Discos de Desbaste).....	30
2.3.1.3	Escovação manual	30
2.3.1.4	Jateamentos de água e ar comprimido.....	30
2.3.2	Materiais utilizados nas técnicas de tratamento de fissura	31
3	METODOLOGIA E ESTUDO DE CASO.....	34

3.1	CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	35
3.2	ESPECIFICAÇÕES DA FUNDAÇÃO	37
3.3	ESPECIFICAÇÕES DO CONCRETO	38
3.4	ESPECIFICAÇÕES DA ARMADURA	39
3.5	PROCESSO EXECUTIVO DA CONCRETAGEM.....	40
3.6	ACABAMENTO E PINTURA	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1	INCIDÊNCIA DE FISSURAS.....	42
4.1.1	Fissura diagonal inferior de janela	43
4.1.2	Fissura diagonal superior portas	46
4.1.3	Fissura de junta fria	47
4.1.4	Fissura Diagonal – Último Pavimento	49
4.1.5	Fissura mosaico.....	50
4.2	TRATAMENTOS PROPOSTOS	51
4.2.1	Tratamento I	52
4.2.2	Tratamento II	58
4.2.3	Tratamento III.....	59
4.2.4	Tratamento IV	60
4.3	ANÁLISE ECONÔMICA DOS MÉTODOS DE TRATAMENTO	61
4.4	RESULTADOS OBTIDOS COM OS TRATAMENTOS.....	61
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	64
6	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	65

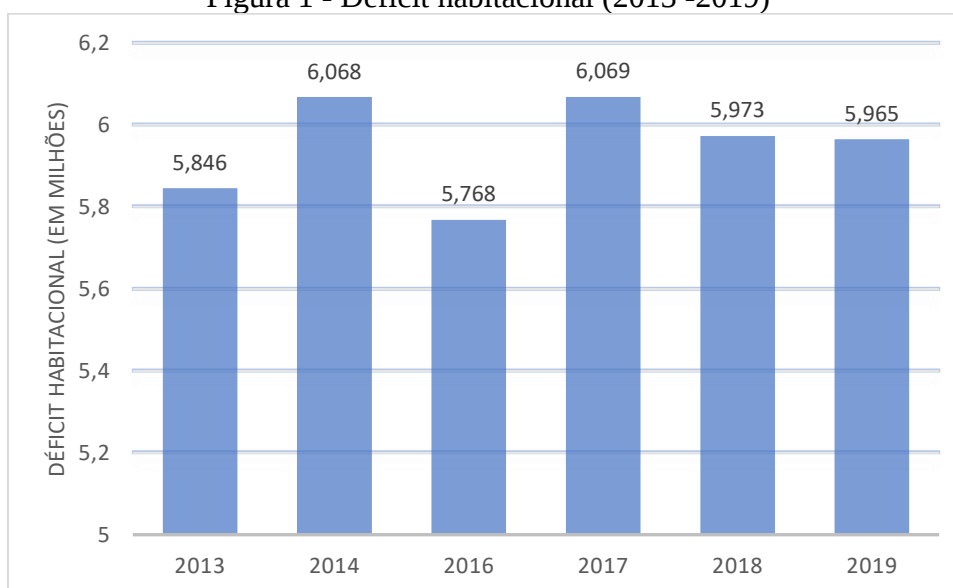
1 INTRODUÇÃO

1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

A tecnologia de paredes de concreto foi introduzida no Brasil na década de 1970, porém, seu uso mais expressivo na construção civil ocorreu a partir dos anos 2000. O lançamento do Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) em 2009, com sua alta demanda habitacional, impulsionou a busca por sistemas construtivos mais eficientes que os métodos tradicionais de alvenaria e concreto armado. Surgiram então novas tecnologias, como a parede de concreto moldada *in loco*, com potencial para acelerar a construção, otimizar recursos e reduzir custos. O Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SiNAT) teve papel crucial nesse processo, ao estabelecer normas e diretrizes para garantir a qualidade e segurança dessas novas tecnologias, permitindo sua aplicação em larga escala no programa MCMV. Em 2012, essa técnica se consolidou com a publicação da norma ABNT NBR 16055, que estabelece diretrizes para a execução de paredes de concreto moldadas *in loco* para edificações. Com a ampla utilização desse sistema construtivo, a norma foi atualizada em 2022, elencando novas diretrizes e parâmetros de projeto.

A aplicação da tecnologia de parede de concreto armado (PCA) tem se tornado cada vez mais frequente em diferentes tipos de construções, como edifícios residenciais, comerciais e industriais. No Brasil, o crescimento da aplicação desta tecnologia vem sendo fomentado pelo crescimento da necessidade da construção de moradia popular atrelado aos programas de incentivo a moradia como (PMCMV). De acordo com a Fundação João Pinheiro (FJP), em 2019 o déficit habitacional do Brasil totalizou cerca de 6 milhões de domicílios, conforme pode ser visualizado na figura 1.

Figura 1 - Déficit habitacional (2013 -2019)



Fonte: Fundação João Pinheiro (2022).

No cenário atual, as demandas habitacionais do país fazem emergir a necessidade de construções em grande escala e de alta qualidade. Assim, inevitavelmente o sistema de parede concreto armado moldado *in loco* (PCA) se associa à ideia da construção civil industrializada como mecanismo básico para enfrentar estes problemas. É um método de construção muito popular que atende à demanda habitacional de moradores de baixa renda e oferece uma alternativa sustentável, econômica e de alta qualidade à construção civil.

Como menciona Ornellas (2021), esse sistema é vantajoso por possuir uma metodologia rápida e resistente, permitindo a conclusão ágil das obras. No entanto, é comum que ocorram fenômenos patológicos em estruturas de concreto, o que pode resultar em custos elevados de reparo, diminuição do apelo estético e situações de danos à estrutura

Acredita-se que a compreensão das causas, o estudo das patologias e a busca por soluções eficientes contribuirão para o aprimoramento e a disseminação da tecnologia de parede de concreto, promovendo uma melhor qualidade nas construções e aumentando a confiabilidade dessa técnica construtiva.

1.2 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

Dal Molin (1988) afirma que a presença de fissuras em estruturas de concreto armado representa desafios, tanto sob o aspecto econômico, devido aos custos associados à recuperação e à redução da vida útil das construções, quanto sob a perspectiva do usuário, afetando o

conforto, a salubridade e o bem-estar psicológico dentro das residências.

Thomaz (2020) acrescenta que entre os diversos problemas patológicos que afetam as edificações, as fissuras assumem especial importância por três razões principais. Primeiro, elas servem como um sinal de alerta para um possível estado de perigo estrutural. Segundo, comprometem o desempenho da construção em serviço, afetando aspectos como a estanqueidade, durabilidade e o isolamento acústico. Por fim, exercem principalmente um impacto psicológico negativo sobre os usuários do edifício.

Zuchetti (2015) destaca que para aprimorar a compreensão do fenômeno das fissuras em concreto armado e determinar ações corretivas eficazes, é crucial quantificar as ocorrências dessas patologias e realizar uma análise detalhada sobre como e onde elas se manifestam. O concreto possui tendência inerente de manifestar alguns tipos de fissuração, como aquelas causadas pela retração por secagem. No entanto, essas fissuras também podem resultar de erros ocorridos em alguma fase do processo de construção. Conhecer a origem e o histórico do problema é essencial para identificar em qual fase do processo ocorreu a falha que resultou na patologia observada. Um problema identificado e não corrigido, pode gerar prejuízos substanciais quando replicados em larga escala no setor da construção civil. Por se tratar de produção em massa, a demanda por reparos da assistência técnica pode aumentar significativamente, elevando os custos e causando insatisfação dos clientes. (DANTAS, 2024). No caso específico analisado, a construtora enfrenta um cenário onde 30% das reclamações recebidas no pós-entrega das unidades habitacionais estão associadas a fissuras e suas subsequentes consequências, como infiltrações.

Sob essa perspectiva, o presente estudo tem como objetivo analisar as ocorrências de fissuras em paredes de concreto armado em unidades habitacionais em diferentes estágios da obra. O foco está em identificar os tipos de fissuras e correlacioná-las com suas causas potenciais, sejam elas decorrentes de retração plástica, retração hidráulica ou por secagem, dilatação térmica entre outros fatores. Além disso, este estudo busca comparar possíveis soluções, visando encontrar a abordagem mais eficaz e econômica para lidar com as fissuras após seu surgimento.

1.3 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma análise detalhada das fissuras em paredes de concreto armado de um empreendimento habitacional do Programa Minha Casa Minha Vida na cidade do Recife, identificando as principais causas e fatores que influenciam na sua

ocorrência.

Como objetivos específicos, pode-se listar os seguintes:

- a) Realizar uma revisão da literatura existente sobre os principais tipos de fissuras que podem ocorrer no método construtivo de Paredes de Concreto Armado (PCA).
- b) Realizar um levantamento quantitativo das fissuras presentes no condomínio em estudo, coletando dados de algumas das torres do empreendimento durante a fase de construção.
- c) Propor diferentes tratamentos para o tipo de fissura mais recorrente identificado no levantamento quantitativo anterior, buscando mitigar os danos estéticos e o desconforto visual causados pelas fissuras.
- d) Realizar uma análise comparativa das soluções propostas, avaliando aspectos técnicos e econômicos. Esta análise incluirá a avaliação dos custos envolvidos na implementação de cada solução, bem como os resultados a respeito da velocidade de execução e o resultado final.

1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

A seguir, serão abordados os principais conceitos teóricos relacionados à tecnologia de parede de concreto, às possíveis causas das fissuras e os métodos de tratamento utilizados. Um panorama geral sobre as dificuldades encontradas ao longo do processo e as contribuições dessa pesquisa também serão apresentados.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Este estudo baseia-se em uma análise crítica de diversas publicações relacionadas à temática. Antes de aprofundar-se no estudo das fissuras em paredes de concreto moldadas *in loco*, é essencial revisar alguns conceitos fundamentais e compreender as causas que levam ao aparecimento de fissuras no concreto armado moldado *in loco* com o uso de formas metálicas. É crucial entender, de forma concisa, o funcionamento do sistema construtivo em paredes de concreto, a partir da revisão dos estudos já realizados sobre o tema.

2.1 O SISTEMA CONSTRUTIVO PCA

O sistema parede de concreto é um sistema construtivo industrializado. Sua característica básica é permitir que uma obra tenha velocidade e produtividade, com uso de fôrmas mano portáteis, que permitem a execução de duas a quatro unidades habitacionais por dia. (WENDLER e MONGE, 2018).

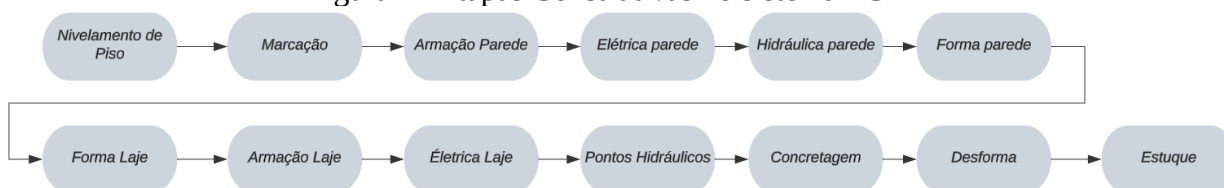
Como aponta ABCP *et al.* (2013), o uso de paredes de concreto moldadas no local reduz o número de etapas em comparação com a construção tradicional em concreto armado. Isso ocorre porque as vedações verticais internas e externas são integradas à fase estrutural. Além disso, diferentemente das estruturas porticadas, as lajes são concretadas junto às paredes, simplificando ainda mais as atividades dessa etapa da estrutura.

Como destacado na revista do IBRACON, Concreto & Construções por Wendler e Monge (2018), o sistema PCA é um método industrializado que proporciona a conclusão de uma construção em um curto espaço de tempo. Quando as condições técnicas são ideais, este método se torna o modelo perfeito para atender à demanda atual do setor da construção civil.

Com a ampla utilização desse sistema construtivo, a norma atualizada ABNT NBR 16055:2022, elencou diretrizes abrangentes para os procedimentos de moldagem, controle de temperatura e umidade durante a cura do concreto. Expandiu os requisitos de desempenho, como por exemplo, isolamento térmico e acústico, além de segurança contra incêndio. Ela também detalhou métodos apropriados para realizar a concretagem em diferentes condições climáticas.

Por ser um sistema com processos executivos que se repetem ciclicamente, as atividades relacionadas à execução de paredes de concreto moldadas *in loco*, seguem um fluxograma definido, como mostrado na figura 2.

Figura 2– Etapas Construtivas no sistema PCA



Fonte: acervo da construtora – Adaptado pelo autor. (2024)

2.1.1 Marcação

Após o nivelamento do piso, é de suma importância realizar a marcação meticulosa das paredes, abrangendo tanto as faces externas quanto as internas. Esta etapa é crucial, pois oferece uma base orientadora para os montadores das formas, assegurando que a sua montagem ocorra com precisão e de acordo com as diretrizes previamente estabelecidas em projeto.

2.1.2 Armação

Misurrelli e Massuda (2009) destaca que as armaduras devem atender a três requisitos fundamentais: suportar os esforços de flexão e torção nas paredes, controlar a retração do concreto e estruturar e fixar as instalações elétricas, hidráulicas e de gás. São usualmente utilizadas telas soldadas, que podem ser posicionadas no centro das paredes ou em ambas as superfícies, dependendo dos esforços atuantes e das premissas de cálculo.

A montagem das telas deve seguir o projeto estrutural. O primeiro passo consiste em fixar as telas nos arranques que sobem das paredes inferiores, assegurando uma boa fixação. Na sequência, procede-se ao corte dos espaços destinados aos vãos, tais como portas, janelas e espera de ar-condicionado.

As armações devem ser bem posicionadas e centralizadas na parede para evitar a deficiência de cobertura, que irá impactar na durabilidade da estrutura, além de permitir eficiência máxima para combater os esforços para os quais elas foram projetadas. Para garantir o correto posicionamento devem ser utilizados espaçadores, tanto nas paredes quanto nas lajes.

2.1.3 Embutidos

Uma das principais vantagens do sistema de paredes de concreto é a possibilidade de incorporar embutidos no interior das paredes após a remoção das fôrmas. (DANTAS, 2024). A

distribuição da tubulação elétrica com o uso de kits elétricos proporciona um grande ganho de produtividade.

De acordo com a norma NBR 16055, as instalações embutidas em paredes de concreto armado devem respeitar um diâmetro máximo 25% da espessura da parede. Quando o diâmetro da tubulação for superior a 25%, mas não exceder 50% da espessura da parede, recomenda-se que a tubulação seja posicionada no centro da parede. Para evitar o aparecimento de fissuras na parede ao longo da tubulação, é necessário aplicar telas metálicas em ambas as faces, com uma largura mínima de 60 cm e um transpasse equivalente a, no mínimo, metade da espessura da parede. Essas telas têm a função de reforçar a área do concreto fragilizada pela presença do embutido. A Figura 3 ilustra a preparação dos embutidos antes da concretagem da laje.

Figura 3 - Embutidos na laje



Fonte: Autoria própria (2024).

2.1.4 Fôrmas metálicas

Misurelli e Massuda (2009) afirma que as fôrmas atuam como estruturas temporárias concebidas para moldar o concreto fresco, colaborando na formação das paredes estruturais. É fundamental que essas estruturas suportem as pressões exercidas pelo lançamento do concreto até que este se solidifique. Assim, as fôrmas devem ser vedadas e garantir a precisão geométrica das peças durante o processo de moldagem.

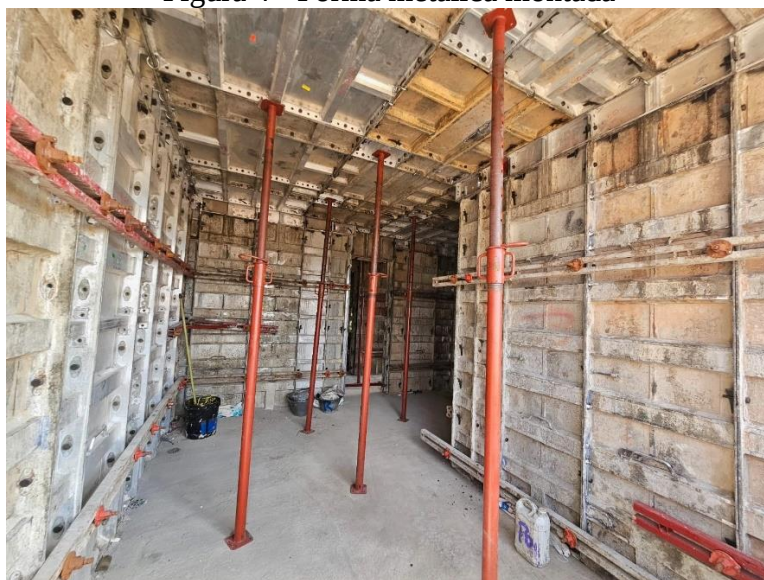
Como Nakamura (2018) destaca, que o projeto e o tipo adequado de fôrmas e escoramentos podem resultar em melhorias na produtividade, além de trazer economia e qualidade para a construção.

É essencial que todo o conjunto de fôrmas esteja acompanhado por um projeto detalhado e que se verifique a presença de todos os materiais necessários. O armazenamento correto do material, conforme as instruções do fornecedor, é crucial para maximizar sua durabilidade e eficiência ao longo do tempo. (MISURELLI e MASSUDA, 2009)

As fôrmas são posicionadas de acordo com a sequência executiva descrita no projeto (os painéis devem ser montados e travados com o uso de grampos ou pinos). As fôrmas de laje são montadas logo após a conclusão das fôrmas das paredes (a fixação desses elementos também se dá com o uso de pinos de travamento). (WENDLER e MONGE, 2018). As figuras 4 e 5 mostram a forma metálica montada vista de diferentes perspectivas.

Seus pontos fortes incluem uma vida útil elevada, podendo, de acordo com Corsini (2012), ser utilizadas entre quinhentas e duas mil vezes. Este sistema é o que menos gera resíduos ambientais e requer a menor manutenção entre os sistemas de fôrmas disponíveis, além de permitir ciclos de concretagem mais curtos.

Figura 4 - Forma metálica montada



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 5 - Forma metálica (fachada externa)



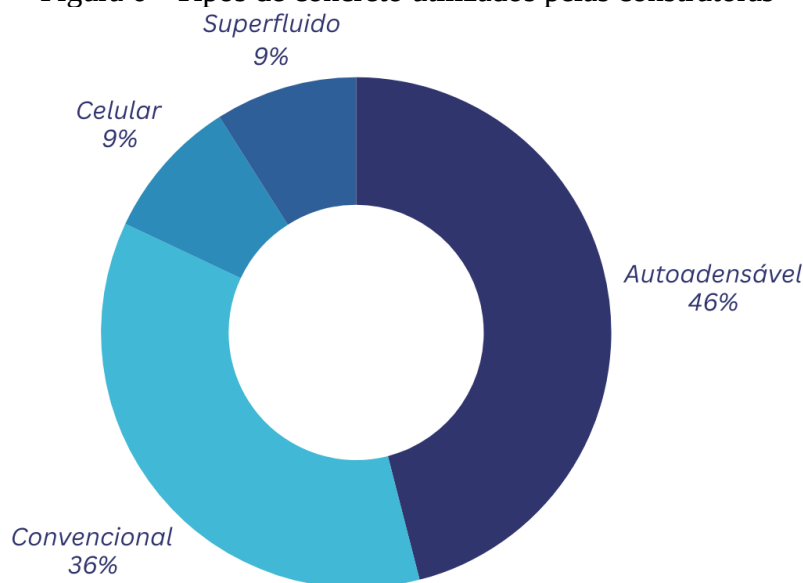
Fonte: Autoria própria (2024).

2.1.5 Concretagem

O concreto autoadensável é o tipo mais utilizado para executar paredes de concreto. A razão pela sua ampla utilização em PCA se deve a sua capacidade de preenchimento nas formas e passagem entre obstáculos, por ação exclusiva do seu peso próprio, que reduz o tempo de concretagem, pois dispensa o uso de vibradores, além de proporcionar um acabamento superficial do concreto mais uniforme.

O concreto convencional é o segundo mais utilizado, contudo segundo especialistas, não é ideal para paredes de concreto, por questões de trabalhabilidade e tempo de desforma, por exemplo. (ABCP *et al.*, 2013). Pode-se acrescentar que o uso do concreto convencional é mais suscetível ao aparecimento de patologias. Sua menor trabalhabilidade e a necessidade de vibração podem resultar em dificuldades para o preenchimento completo das formas e na ocorrência de segregação, gerando zonas de vazios internos na estrutura de concreto, popularmente chamados de "bicheiras". A figura 6 apresenta o gráfico dos tipos de concreto mais utilizados pelas construtoras em obras que utilizam o sistema PCA.

Figura 6 - Tipos de concreto utilizados pelas construtoras



Fonte: ABCP *et al.* (2013) - Adaptado pelo autor.

Conforme estipulado pela NBR 16055 (2022), o concreto utilizado para as paredes de concreto moldadas no local pode ser preparado pelo próprio executor da obra ou por uma central dosadora de concreto. No entanto, ambas as fontes devem cumprir as especificações do projeto estrutural e assumir a responsabilidade pelo serviço realizado.

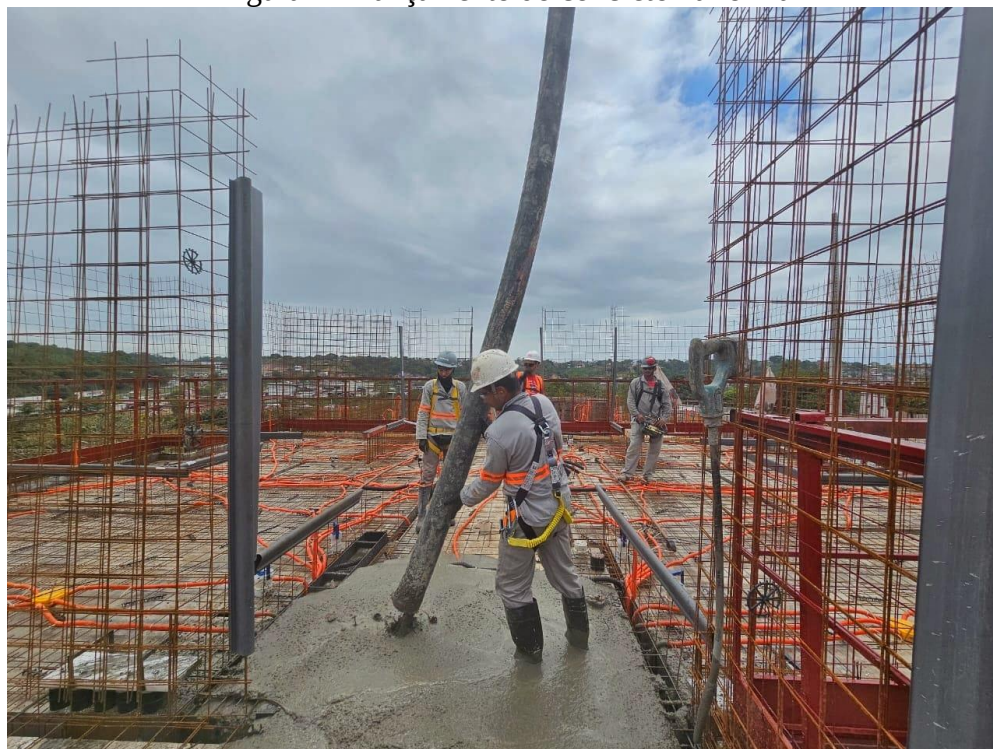
Arêas (2013) explica que fibras têxteis de polipropileno são empregadas para mitigar tensões de tração. Além disso, a dimensão máxima do agregado deve ser de 12,5mm (brita 1), visando obter um concreto homogêneo. É preferível utilizar concreto autoadensável para minimizar as operações de acabamento e garantir a boa integridade das arestas, evitando retrabalho.

Para o concreto autoadensável, o bombeamento e o lançamento em paredes e lajes devem ser realizados em até 40 minutos após a adição do aditivo super fluidificante, processo que geralmente ocorre no local da construção. Já para o concreto celular, observa-se que o lançamento deve ocorrer em até 30 minutos após a mistura. (MISURELLI e MASSUDA, 2009). A figura 7 mostra o lançamento do concreto na forma da laje da obra em estudo.

Como ressalta Arêas (2013) o cimento do tipo CPV-ARI é especialmente recomendado para aplicações que necessitam de alta resistência inicial e desforma rápida. Ele também observa que em obras de padrão mais baixo, a prática comum é utilizar concreto com resistência característica não superior a 25 MPa. É importante ressaltar que o valor de resistência mencionado é aplicável a condições usuais de projeto. No entanto, em cenários que apresentam

condições ambientais mais rigorosas ou classes de agressividade mais altas, é essencial realizar uma análise detalhada para determinar a resistência característica.

Figura 7 - Lançamento do concreto na forma

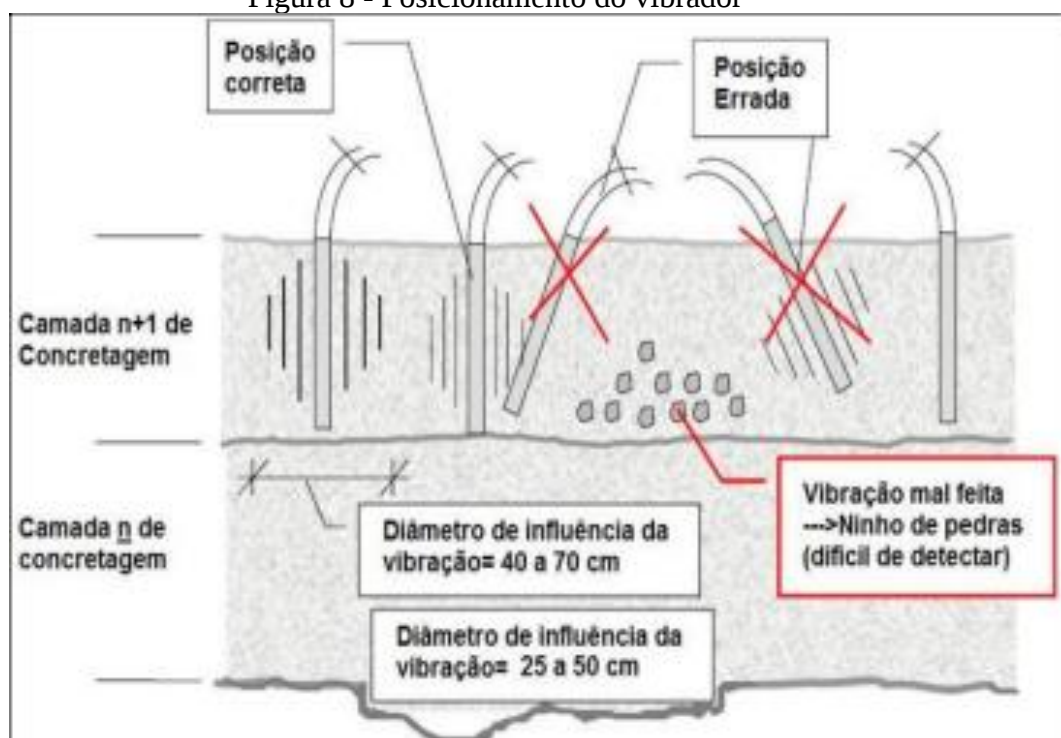


Fonte: Autoria própria (2024).

2.1.6 Adensamento

Como observa Misurelli e Massuda (2009), na ausência do uso de concreto autoadensável, é necessário utilizar a vibração adequada do concreto com o equipamento correto para assegurar que todos os espaços da forma sejam preenchidos. É essencial prevenir a retenção de ar, o que pode ser alcançado perfurando as formas com furos de cerca de $\frac{3}{4}$ " nas áreas abaixo das janelas. Além disso, é crucial evitar a vibração das armaduras para prevenir lacunas ao seu redor. Recomenda-se também seguir o enchimento das formas com leves golpes de um martelo de borracha. A figura 8 ilustra o método adotado pela construtora durante a vibração do concreto.

Figura 8 - Posicionamento do vibrador



Fonte: Acervo da construtora (2024).

2.1.7 Cura do concreto

A cura do concreto é um processo fundamental na construção de estruturas em concreto armado, sendo determinante para a qualidade, durabilidade e segurança das obras. Esse processo consiste em manter o concreto adequadamente umedecido durante um período crítico após a concretagem, a fim de garantir uma hidratação adequada do cimento e prevenir problemas como a retração plástica.

Pela rapidez do processo construtivo, com a desforma de muitas paredes simultaneamente, a cura úmida se torna inviável executivamente. A solução ideal seria a adoção de métodos de cura química. No entanto, na prática, a aplicação desse tipo de cura é inviável tanto técnica quanto economicamente, resultando em sua ausência na maioria dos projetos de PCA.

2.2 PATOLOGIAS DO SISTEMA CONSTRUTIVO

O sistema estrutural composto por paredes de concreto é propenso ao surgimento de fissuras, principalmente devido à rigidez intrínseca do material e ao alto grau de restrição ao movimento que esse sistema impõe. Esta rigidez restringe a movimentação natural do concreto,

o que, combinado com a inevitável retração por secagem, gera tensões de tração nas paredes. Como consequência, surgem fissuras, especialmente nos cantos de janelas, bem como fissuras verticais espaçadas de maneira regular.

A fissuração embora indesejável, é um fenômeno natural e frequentemente inevitável. Diversos fatores contribuem para o seu surgimento, como retração do concreto, variações térmicas, sobrecargas e recalques diferenciais. A maioria das fissuras, inclusive, decorre de tensões parasitas, oriundas de dilatação térmica, retração por secagem, retração plástica e variação higroscópica.

É fundamental destacar que nem todas as fissuras representam um risco à integridade estrutural. As fissuras de flexão, por exemplo, são frequentemente observadas em vigas e lajes e, na maioria das situações, não representam um risco significativo. Mesmo as fissuras causadas por carregamento não necessariamente representam um problema estrutural. No entanto, a avaliação criteriosa do tipo, extensão e evolução das fissuras é crucial para diagnosticar corretamente e determinar a necessidade de intervenção e garantir a segurança e a durabilidade da construção.

No subitem 2.2.1.1 a seguir, será abordada, em específico, a classificação das fissuras com relação à abertura e à atividade.

2.2.1.1 CLASSIFICAÇÃO DAS FISSURAS

As fissuras podem ser classificadas de acordo com diferentes critérios, como a espessura, que varia de fissuras a brechas; a atividade, que indica se a fissura está em processo de evolução ou estabilizada; e o mecanismo de formação, que identifica fatores como retração e expansão, sobrecarga, variações térmicas, corrosão das armaduras, entre outros. A correta classificação dessas fissuras é fundamental para identificar suas causas subjacentes, o que permite a adoção das medidas corretivas apropriadas e eficazes.

2.2.1.2 QUANTO A ESPESSURA

Fissuras, trincas e rachaduras são problemas patológicos comuns, geralmente causados por tensões de tração em materiais frágeis, como o concreto e materiais cerâmicos. Essas manifestações ocorrem quando os materiais são submetidos a esforços que excedem sua resistência característica, resultando em falhas e aberturas (OLIVEIRA, 2012).

As aberturas são classificadas de acordo com sua espessura em fissura, trinca, rachadura,

fenda ou brecha. (OLIVEIRA, 2012). A tabela da figura 9 apresenta a classificação das aberturas de acordo com sua espessura.

Figura 9 - Classificação de aberturas de acordo com a espessura

Anomalias	Abertura (mm)
Fissura	Até 0,5
Trinca	De 0,5 a 1,5
Rachadura	De 1,5 a 5,0
Fenda	De 5,0 a 10,0
Brecha	Acima de 10,0

Fonte: Oliveira (2012).

2.2.1.3 QUANTO À ATIVIDADE

Conforme Duarte (1988), as fissuras também podem ser classificadas de acordo com sua atividade, sendo categorizadas como ativas ou passivas.

Fissuras ativas são aquelas que mudam de espessura conforme as condições que as causaram sofrem alterações, comportando-se de maneira similar a juntas induzidas pela estrutura. Variações térmicas diárias e sazonais provocam mudanças dimensionais nos componentes do edifício. Esses movimentos de dilatação e contração são restritos pelos diferentes vínculos que envolvem os materiais, gerando tensões que podem resultar em fissuras cuja espessura varia de acordo com o gradiente de temperatura. As fissuras ativas podem também se manifestar com variação linear, resultante de fatores como recalques de fundações.

Por outro lado, as fissuras passivas permanecem em um estado estável, sem apresentar variação em sua espessura ou comprimento ao longo do tempo.

Mesmos as fissuras aparentemente passivas podem ter pequenas movimentações cíclicas, principalmente, devido a variação térmicas diárias em edificações expostas a irradiação solar. Essas pequenas movimentações podem gerar tensões nos revestimentos, principalmente em pinturas, que estão sobre as fissuras, induzindo essas fissuras também no revestimento, levando ao alarmismo aos moradores, que imputam essas fissuras a problemas estruturais.

2.2.2 MECANISMOS DE FORMAÇÃO DE FISSURAS

Todos os elementos próximos à edificação, seja de forma permanente ou ocasional,

podem contribuir para o surgimento de patologias que afetam vários componentes da construção.

Segundo Thomaz (2020), os mecanismos mais comuns de formação de fissuras em paredes de alvenaria estrutural, que também pode ser estendido ao sistema de paredes concreto, são: recalque de fundação, sobrecarga de carregamento de compressão, variação térmica, retração (plástica e hidráulica).

2.2.2.1 FISSURAS INDUZIDAS POR RECALQUE DE FUNDAÇÃO

Thomaz (2020) explica que recalques diferenciais podem ser causados por diversos fatores, sendo os mais comuns:

- Fundações assentadas sobre seções de corte e aterro;
- Recalque diferenciado por rebaixamento do lençol freático em função de corte na lateral inclinada do terreno;
- Recalque diferenciado no edifício menor pela interferência no seu bulbo de tensões, em função da construção do edifício maior;
- Recalque diferenciado por falta de homogeneidade do solo.

As fissuras causadas por recalques nas fundações geralmente afetam com maior frequência o pavimento térreo da edificação. Em situações graves de recalque intenso, as tensões de cisalhamento resultantes podem ocasionar esmagamentos localizados, muitas vezes manifestados em forma de escamas.

Essas fissuras, de acordo com Holanda (2002), tendem a se desenvolver preferencialmente na direção vertical ou diagonal, apresentando variação na abertura ao longo do seu comprimento. Thomaz (2020), complementa essa análise, afirmando que as fissuras decorrentes de recalques diferenciais geralmente são inclinadas e se propagam direcionando-se no sentido do ponto onde ocorreu o maior recalque.

Fissuras oriundas de recalques diferenciais devem ser monitoradas, pois a evolução dessas fissuras longo do tempo implica em problemas estruturais graves, que podem levar ao colapso da estrutura.

2.2.2.2 FISSURAS INDUZIDAS POR SOBRECARGAS

Como salienta Thomaz (2020), a presença de sobrecargas não previstas durante a fase

de projeto ou projetos mal dimensionados podem provocar fissuração nos componentes estruturais de uma construção e a gravidade desses problemas podem levar ao colapso da edificação.

Nesses casos, a análise do quadro fissuratório, identificando os esforços que estão levando a fissuração, além de uma análise do projeto estrutural é de suma importância para o entendimento das causas, que é o primeiro passo para se realizar uma intervenção, caso seja necessário.

2.2.2.3 FISSURAS INDUZIDAS POR RETRAÇÃO HIDRAÚLICA OU POR SECAGEM E POR RETRAÇÃO PLÁSTICA

A retração hidráulica, ou por secagem, ocorre devido à contração volumétrica da pasta causada pela saída de água do concreto mantido em ambiente com ar não saturado, resultando na retração do concreto ou argamassa. Esse fenômeno tem início imediatamente após o endurecimento do material e sua magnitude e velocidade dependem de fatores intrínsecos, como tipo e consumo de cimento e a relação água/cimento da mistura, além de fatores ambientais, como temperatura, umidade relativa do ar e ventilação, que influenciam a taxa de perda de umidade interna. Este tipo de fissura é frequentemente encontrado em lajes, e apresentam uma geometria de mosaico, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Fissura mosaico em laje



Fonte: Souza; Ripper (1998).

Dal Molin (1998) explica que uma parte desta retração é irreversível e deve ser diferenciada das variações devidas à umidade causadas pela conservação alternada em ambientes secos e úmidos (retração reversível).

As fissuras induzidas por retração por secagem ocorrem devido a restrições a essa retração que podem existir em uma estrutura. Por exemplo, as paredes de concreto são concretadas apoiadas diretamente sobre a laje ou radier, sendo que esses elementos já estão endurecidos, pois foram concretados alguns dias antes. Esse contato físico restringe parcialmente a retração da parede, induzindo tensões de tração, que se for superior a resistência à tração do concreto, levará a fissuração da parede.

Essas fissuras induzidas pela retração por secagem, aliada a existência de restrição, possuem pequenas aberturas, inferiores a 0,3mm e são transpassastes, isto é, seccionam a peça e não possuem nenhuma consequência estrutural.

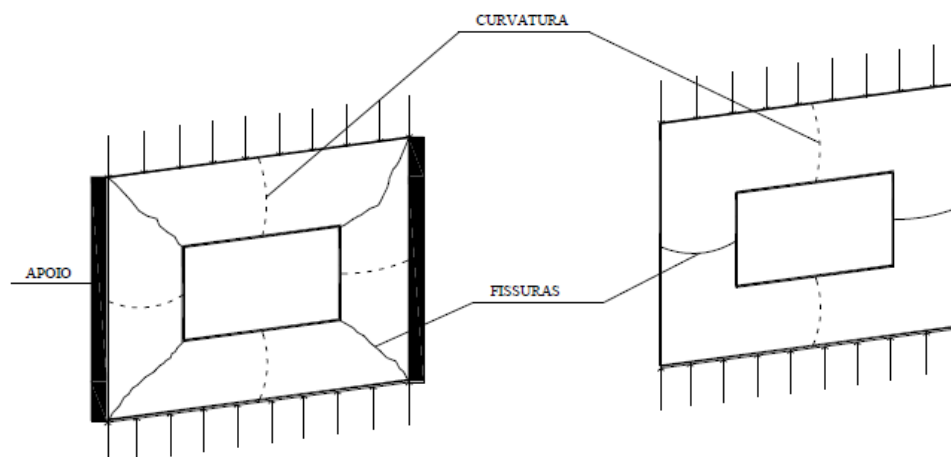
Essas fissuras têm origem também na retração por secagem do concreto, que induz tensões de tração nas quinas de portas e diagonais inferiores de janelas. A experiência mostra, que mesmo empregando esses reforços de armaduras de cantos, é difícil a eliminação dessa tipologia de fissuras. A Figura 11 ilustra dois casos de fissuras localizadas ao redor das janelas.

Outra tipologia de fissuras que pode ocorrer, de acordo com Thomaz (2003), são fissuras superficiais que apresentam comprimento limitado e aberturas menores que 0,5 mm, geralmente atribuídas à retração plástica, tendem a ocorrer de forma aleatória.

Essas fissuras ocorrem apenas quando o concreto ainda está no estado plástico, isto é, ainda não endureceu e tem como causa a perda de água de amassamento por evaporação. Essa perda de água de superfícies expostas do concreto, que não estão protegidas por formas, como o caso das lajes, se retraem, sendo que essa retração é restringida pela camada de concreto que está a uma profundidade maior e que não está sofrendo o efeito da perda de água. Esse efeito induz tensões de tração na camada mais próxima da superfície, induzindo fissuras superficiais, isto é, com alguns milímetros de profundidade.

A proteção da superfície do concreto, exposto a ação ambiental, até que o concreto endurece é um procedimento eficiente para eliminar essa retração e consequentemente a fissuração, sendo esse processo denominado de cura do concreto.

Figura 11 - Fissuração em janelas.

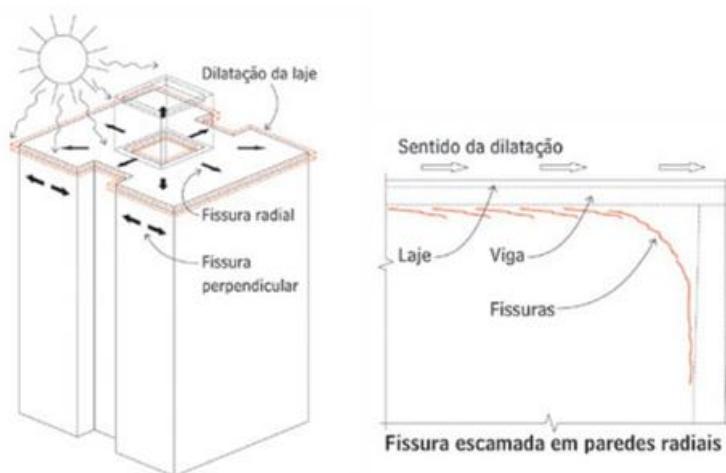


Fonte: Doh E Fragomeni (2006).

2.2.3 FISSURAS NO ÚLTIMO PAVIMENTO

As fissuras no último pavimento de edificações são comuns e resultam, geralmente, de uma falta de atenção no projeto da interface entre a parede e a laje de cobertura, que é a parte mais exposta da estrutura ao aquecimento da radiação solar. Na laje de cobertura com área grande exposta que gera dilatação térmica do concreto, ocorre movimentação horizontal desse elemento, que induz esforços cisalhantes nas paredes que são incompatíveis com a capacidade resistente desses elementos. (LOTURCO, 2005). A figura 12 ilustra como a fissuração se dá no último pavimento.

Figura 12 – Fissuração no último pavimento



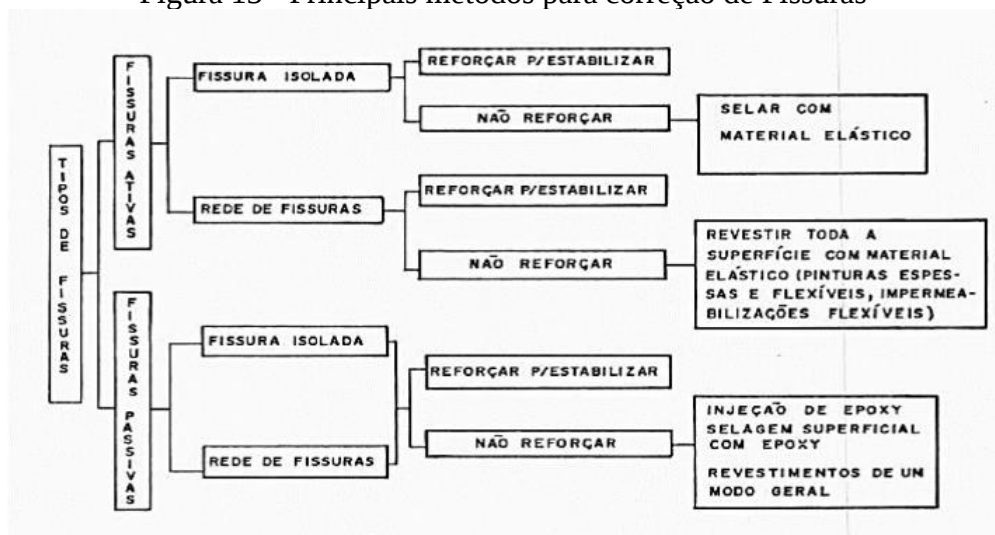
Fonte: Loturco (2005).

2.3 MÉTODOS DE TRATAMENTO DE FISSURAS

O tratamento de fissuras varia conforme suas causas, classificação (ativa ou passiva), e a necessidade ou não de reforço estrutural ou recuperação. No entanto, a classificação dessas fissuras apresenta desafios, uma vez que uma única causa pode originar diferentes tipos de fissuras, enquanto uma configuração específica pode ser indicativa de múltiplas causas ou mesmo resultar de uma combinação delas. O ideal seria avaliar inicialmente as causas do problema antes de tratar a fissura em si.

No entanto, tais procedimentos podem ser custosos e inviáveis, especialmente em construções de menor escala. No contexto do reparo de fissuras, são utilizadas diversas técnicas, iniciando-se pela correta limpeza, que pode ser realizada por diferentes métodos. Após essa etapa, procede-se ao preenchimento das fissuras com variados tipos de materiais. Esses procedimentos serão detalhados nos tópicos seguintes. A depender da técnica adotada no tratamento, a fissura pode sofrer movimentação ou não, e os materiais utilizados são dos mais diversos, flexíveis para permitir a movimentação, ou materiais rígidos que bloqueiam a fissura, conferindo rigidez ao local afetado. Dal Molin (1988) sintetiza os métodos de correção de fissuras ativas e passivas na figura 13.

Figura 13 - Principais métodos para correção de Fissuras



Fonte: Dal Molin (1988)

2.3.1 LIMPEZA DA SUPERFÍCIE DE CONCRETO FISSURADA

O primeiro passo, uma vez identificada a fissura, para dar início ao tratamento consiste

na limpeza da superfície de concreto. Para tal, diversas abordagens, que abrangem desde soluções químicas (menos comuns) até técnicas mecânicas, são empregadas com o intuito de tratar e preparar adequadamente as superfícies e melhorar as condições de aderência para receber o tratamento.

2.3.1.1 Apicotamento

O apicotamento, seja realizado manualmente ou de forma mecânica, consiste na remoção da camada superficial do concreto, conferindo-lhe uma textura porosa, com objetivo de aumentar a aderência da superfície de concreto durante a aplicação do material de reparo. As ferramentas empregadas incluem ponteiros, talhadeiras e marretas no método manual, enquanto os processos mecânicos fazem uso de marteletes e fresas.

2.3.1.2 Métodos Abrasivos (Discos de Desbaste)

Os métodos abrasivos, especialmente a utilização de discos de desbaste, são altamente eficazes na remoção de camadas superficiais de concreto e na preparação da superfície para o tratamento de fissuras. Esta técnica envolve o uso de ferramentas elétricas, como por exemplo, esmerilhadeiras e lixadeiras, equipadas com discos diamantados ou de carbeto de silício, para fazer cortes e desbaste da superfície de concreto. Entre as vantagens, destacam-se a alta velocidade na execução do serviço e a adequação para grandes áreas. Por outro lado, a elevada geração de poeira durante a execução, é um fator a ser considerado quando da utilização deste método.

2.3.1.3 Escovação manual

A escovação manual é uma técnica simples e acessível para a limpeza de superfícies de concreto. Utilizam-se escovas com cerdas de aço, com a finalidade de remover sujeira, poeira e resíduos soltos. É indicada para fissuras superficiais e com áreas pequenas.

2.3.1.4 Jateamentos de água e ar comprimido

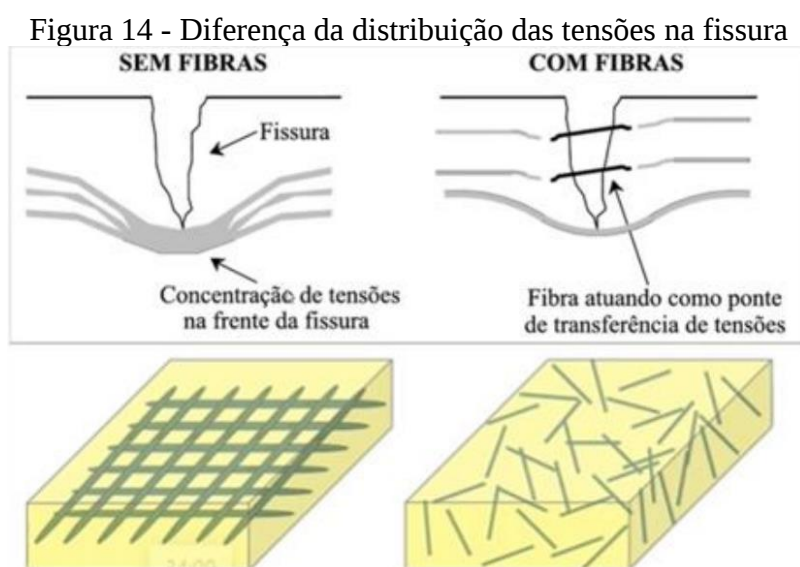
O jateamento de água é uma técnica eficaz para a limpeza de superfícies de concreto, utilizando jatos de alta pressão para remover sujeiras, manchas e resíduos, além de preparar a

superfície para reparos. Em complemento, o jateamento de ar comprimido é utilizado para eliminar partículas menores e poeira que permanecem após a lavagem, especialmente em áreas de difícil acesso. Juntas, essas metodologias garantem que o concreto esteja limpo e pronto para receber novas intervenções, aumentando a aderência e a durabilidade dos materiais aplicados.

2.3.2 Materiais utilizados nas técnicas de tratamento de fissura

Diversos materiais podem ser empregados para no tratamento de fissuras de concreto armado, com constantes avanços em novas técnicas e materiais. Este tópico analisa alguns dos materiais alguns dos mais comumente empregados.

- Concreto reforçado com fibras (CRF): usualmente elaborado com fibras de polipropileno, vidro, nylon, dependendo das especificações de projeto. Vários autores reconhecem o desempenho pós-fissuração melhorado com CRF, e o aumento da resistência residual à tração e ductilidade, além da capacidade de redistribuir esforços e permitir que deformações relativamente grandes sejam acomodadas e a energia seja absorvida antes do colapso. O uso de fibras é uma estratégia eficaz para minimizar fissuras na estrutura, pois elas funcionam como uma espécie de ponte para a transferência de tensões. Enquanto as tensões nas malhas de aço atuam em direções bidimensionais, as fibras reforçam a estrutura em múltiplas direções, conforme pode ser observado na figura 14.



Fonte: Acervo da construtora (2024).

- **Selante acrílico flexível:** O selante acrílico flexível é uma resina de base acrílica, um material amplamente reconhecido e disponível no mercado em diversas formas e texturas. Sua aplicação é facilitada, podendo ser realizada com pistola específica ou espátulas. Este selante é aplicado diretamente na fissura, após o preparo adequado da superfície.
- **Tinta acrílica:** A tinta acrílica é um material que pode acompanhar fissuras com movimentação de até 0,2 mm, suportando dilatações e contrações sem deformar ou romper sua película. É recomendada para pinturas em ambientes externos.
- **Tela de poliéster com bandagem central:** é uma malha inteiramente composta de poliéster autoadesivo, dotado de uma bandagem central não aderente de polipropileno. Essa bandagem central permite que a base se movimente de maneira independente evitando assim rompimento aparente da área revestida. Este material é usado em conjunto com algum material para preenchimento da fissura, sua aplicação é dada após a preparação prévia da área fissurada, com o desbaste da região de concreto ao redor da fissura e a abertura da fissura. Após a fissura ser recomposta por algum material de preenchimento, geralmente massa acrílica com adição de minerais, a tela de poliéster é posicional com a bandagem central acompanhando a direção da fissura. Durante a aplicação caso a fissura mude de sentido, a tela deve ser cortada e aplicada sempre no sentido da fissura. Na sequência é aplicado uma segunda camada do mesmo material utilizado para o preenchimento da fissura sobre a tela de poliéster, como ilustrado na figura 15.

Figura 15 - Tela de poliéster com bandagem central



Fonte: Autoria própria (2024).

- **Massa acrílica com fibras minerais:** Normalmente utilizada em conjunto com a tela de poliéster, essa aplicação visa nivelar a parede e auxiliar no preenchimento e vedação

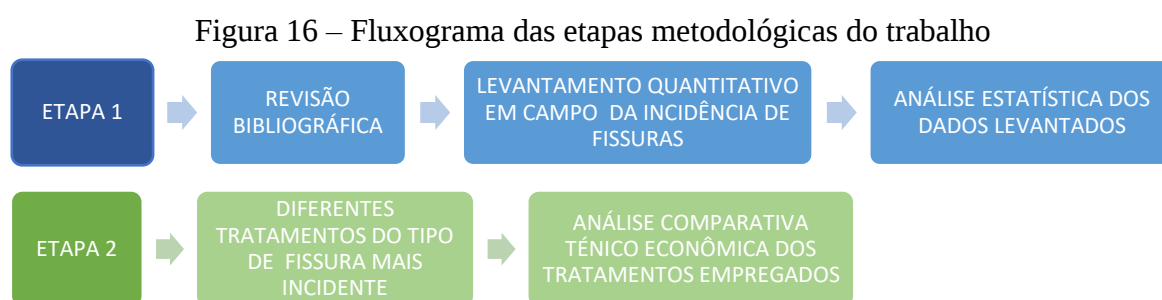
de trincas, sua composição acrílica e mineral faz com que a massa não se retraia após a aplicação, moldando-se perfeitamente ao espaço aplicado.

- Argamassa AC-II': é utilizada para regularizar superfícies e preparar a base para receber a camada de acabamento, como revestimentos cerâmicos, pinturas ou outros tipos de materiais.

3 METODOLOGIA E ESTUDO DE CASO

A metodologia de pesquisa escolhida para esse trabalho foi estudo de caso, tendo como foco principal a identificação das principais fissuras que ocorrem em edificações que utilizam o sistema construtivo de paredes de concreto moldadas *in loco*. Além disso, foi realizada uma análise comparativa entre diferentes métodos de tratamento dessas fissuras que surgiram após a concretagem e desforma que foram observadas em inspeções realizadas.

A condução deste estudo de caso foi organizada em duas macroetapas subsequentes e inter-relacionadas, descritas a seguir na figura 16:



Fonte: Autoria própria (2024).

Para identificar as causas das fissuras em paredes de concreto, foi realizado um levantamento bibliográfico, contemplando estudos e pesquisas relacionados ao tema. Foram analisados os principais fatores que contribuem para o surgimento de fissuras, tais como sobrecargas, retração do concreto, variações térmicas e higrométricas, entre outros.

Junto a isso, foi realizada uma análise de campo nas paredes de concreto que apresentavam fissuras, a fim de coletar dados relevantes para a pesquisa. Os dados foram coletados por meio de checklists, conforme modelo ilustrado na figura 17, aplicados em 7 das 13 torres do empreendimento, totalizando 140 unidades vistoriadas. A análise concentrou-se nas áreas internas dos apartamentos, não abrangendo as fachadas externas. A partir dos dados coletados, foi realizado um levantamento quantitativo da incidência das fissuras, identificando a geometria das fissuras, suas principais características e a distribuição ao longo das diferentes superfícies. Com base nessa análise, foi possível inferir as causas prováveis das fissuras, tais como a ocorrência de juntas frias e a presença de fissuras nas paredes do último pavimento, provenientes da expansão térmica da laje, entre outras manifestações. As visitas ocorreram logo após a aplicação da cerâmica e antes do fundo regularizador.

Figura 17 - Modelo Checklist – Inspeção de fissuras

CHECKLIST - INSPEÇÃO DE FISSURAS					DATA: __/__/____
					EMPREENHIMENTO:
TORRE	UNIDADE	CÔMODO	TIPO DE ELEMENTO	DIREÇÃO	DESCRIÇÃO
6	001	SALA	JANELA	INCLINADA/VERTICAL	FISSURA EMBAXO DA JANELA
6	001	SALA	PAREDE	VERTICAL	FISSURA DE JUNTA FRIA
6	002	SALA	JANELA	INCLINADA/VERTICAL	FISSURA EMBAXO DA JANELA
6	002	DORMITÓRIO 1	JANELA	INCLINADA/VERTICAL	FISSURA EMBAXO DA JANELA
6	003	SALA	JANELA	INCLINADA/VERTICAL	FISSURA EMBAXO DA JANELA
6	003	DORMITÓRIO 1	JANELA	INCLINADA/VERTICAL	FISSURA EMBAXO DA JANELA
6	003	DORMITÓRIO 2	JANELA	INCLINADA/VERTICAL	FISSURA EMBAXO DA JANELA
6	004	SALA	PAREDE	VERTICAL	FISSURA DE JUNTA FRIA
6	004	QUARTO	JANELA	INCLINADA/VERTICAL	FISSURA EMBAXO DA JANELA
6	101	SALA	PISO	HORIZONTAL	FISSURA DE JUNTA FRIA PISO
6	101	DORMITÓRIO 2	PORTA	VERTICAL	FISSURA CANTO SUPERIOR PORTA
6	102	SALA	PISO	MOSAICO	FISSURA MOSAICO PISO
6	104	SALA	PISO	HORIZONTAL	FISSURA DE JUNTA FRIA PISO

Fonte: Autoria própria (2024).

Com os dados coletados, foi realizada uma análise estatística para determinar a frequência de ocorrência das fissuras. O objetivo foi identificar o tipo de fissura com maior incidência, o que permitiu direcionar a pesquisa para a próxima etapa: uma análise comparativa entre os métodos de tratamento aplicáveis à fissura mais recorrente. Esse estudo comparativo visou identificar a técnica mais econômica e viável para o tratamento da fissura pós concretagem.

Na segunda etapa, foram analisadas quatro diferentes abordagens para o tratamento de fissuras que surgiram após o processo de concretagem. Cada uma dessas técnicas foi examinada, considerando tanto suas características técnicas quanto sua aplicabilidade em diversas situações. Além disso, foi realizada uma comparação entre os métodos propostos, com o intuito de avaliar qual deles apresentou o melhor desempenho, tanto em termos de eficiência na correção das fissuras quanto no custo-benefício associado à sua implementação. Essa análise permitiu identificar não apenas a solução mais eficaz para minimizar os impactos estéticos e psicológicos causados pelas fissuras, mas também a mais viável economicamente, levando em conta os custos.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENHIMENTO

O estudo do presente trabalho analisou um empreendimento imobiliário de habitação multifamiliar que integra o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). A Construtora responsável pela execução da obra opera em alguns estados brasileiros e possui vasta experiência na execução de projetos residenciais enquadrados pelo PMCMV e conta com a certificação da NBR ISO 9001. A posição de um dos autores como funcionário da construtora

possibilitou o acesso ao empreendimento e acompanhamento dos resultados das intervenções, garantindo um estudo detalhado do caso.

O Conjunto Habitacional está situado na zona norte da cidade de Recife, em Pernambuco. O terreno apresenta uma área total de 62.527,37 m². O empreendimento consiste em 25 blocos residenciais, com cinco pavimentos cada (térreo + 4 andares), cada pavimento abriga quatro apartamentos, totalizando 500 apartamentos. Os apartamentos são distribuídos em duas tipologias: um modelo adaptado para pessoas com necessidades especiais (PNE), com um dormitório, e outro modelo com dois dormitórios, conforme mostrado na Figura 18. Em ambas as tipologias, as unidades contam com área total de 41,80 m², que incluem além do(s) dormitório(s), sala de estar, cozinha com área de serviço integrada e banheiro.

Figura 18 - Planta Baixa – Apartamento tipologia 2 quartos



Fonte: acervo da construtora (2024).

O método construtivo utilizado para construção do empreendimento foi parede de concreto armado moldadas *in loco* com fôrmas metálicas de alumínio. A obra foi dividida em 2 fases de construção. Na fase 1 foram construídos do bloco 1 ao bloco 13, tendo duração de 1 ano e dois meses, sendo concluída em setembro de 2024. A fase 2 está em andamento na presente data (outubro de 2024), com previsão de entrega para dezembro de 2024, quando ocorrerá a fase de entrega de chaves e vistoria pelos usuários. A figura 19 mostra uma imagem aérea do empreendimento em fase de construção.

Figura 19 – Conjunto habitacional em execução.



Fonte: Página do Instagram (2024).

3.2 ESPECIFICAÇÕES DA FUNDAÇÃO

Após os ensaios de sondagens à percussão feitas no terreno do empreendimento foi identificado um solo predominante de areia siltosa. Para este empreendimento, foi adotado o sistema de fundação do tipo radier direto, que é um tipo de fundação superficial que consiste em uma placa de concreto armado, que se estende sob toda a área da edificação ou em partes dela, distribuindo as cargas da estrutura sobre o solo.

Antes de ser executado o radier, o terreno foi preparado, sendo inicialmente, removida a camada superficial (terreno natural) até uma profundidade de 100cm abaixo da cota de implantação. Este processo de substituição foi definido em função projeto de essa camada superficial não adequada para servir de suporte da edificação.

Após a remoção do solo superficial, foi necessário executar a recomposição do terreno com material adequado e subsequente compactação controlada até a cota de implantação. Para o solo a ser utilizado no aterro, foram realizados ensaios de caracterização completa, incluindo a compactação pelo método Proctor normal, além de testes de CBR (California Bearing Ratio) e expansibilidade. O solo de recomposição atendeu as especificações mínimas de projeto como mostrado na tabela da figura 20.

¹ Disponível em: < <https://www.instagram.com>>. Acesso em 25 de setembro de 2024.

Figura 20 - Especificações do solo de recomposição

CRITÉRIO	ESPECIFICAÇÕES
CBR para o corpo do aterro	≥ 6
CBR para a última camada de aterro	≥ 8
Expansibilidade	$\leq 2\%$

Fonte: Acevo da construtora - Adaptado pelo autor (2024).

Após a aprovação do terreno de apoio do radier pelo consultor de fundações, procedeu à aplicação e compactação de uma camada de brita graduada simples (BGS), com espessura mínima de 5,0 cm. Em seguida procedeu então à execução do radier, que tem 20 cm de espessura.

3.3 ESPECIFICAÇÕES DO CONCRETO

Com relação ao concreto utilizado na construção, a região está classificada como de classe II em termos de agressividade ambiental, conforme estabelecido pela NBR 6118 (ABNT, 2023). Essa classificação indica um alto nível de agressividade e um grande risco de deterioração estrutural.

Para atender a essas exigências, o projeto do empreendimento especificou a utilização de concreto para o radier com resistência mínima de 25 MPa aos 28 dias. No caso das paredes e lajes, utiliza-se concreto autoadensável reforçado com fibras de polipropileno. A pesagem e adição da fibra é feita no caminhão betoneira, na chegada da obra pelo laboratorista da empresa responsável pelos ensaios de resistência à compressão e flexão do concreto. O abatimento do concreto é definido pela equipe da obra, a partir de uma avaliação das condições de lançamento, geometria das peças e densidade de armadura. As especificações detalhadas de concreto e armadura são apresentadas a seguir, na tabela da figura 21.

Figura 21 - Especificações do concreto (Paredes e Lajes)

CARACTERÍSTICA	DEFINIÇÃO
Classe de agressividade ambiental	Classe II
Tipo	Autoadensável Reforçado com fibra
Fck	25 MPa
Relação a/c	0,55
Tipo de fibra	polipropileno
Armação principal (laje/parede)	Tela Soldada Nervurada Q92
Armadura de reforço	Vergalhão Ø 8 mm e Q92

Fonte: Acervo da construtora - Adaptado pelo autor (2024).

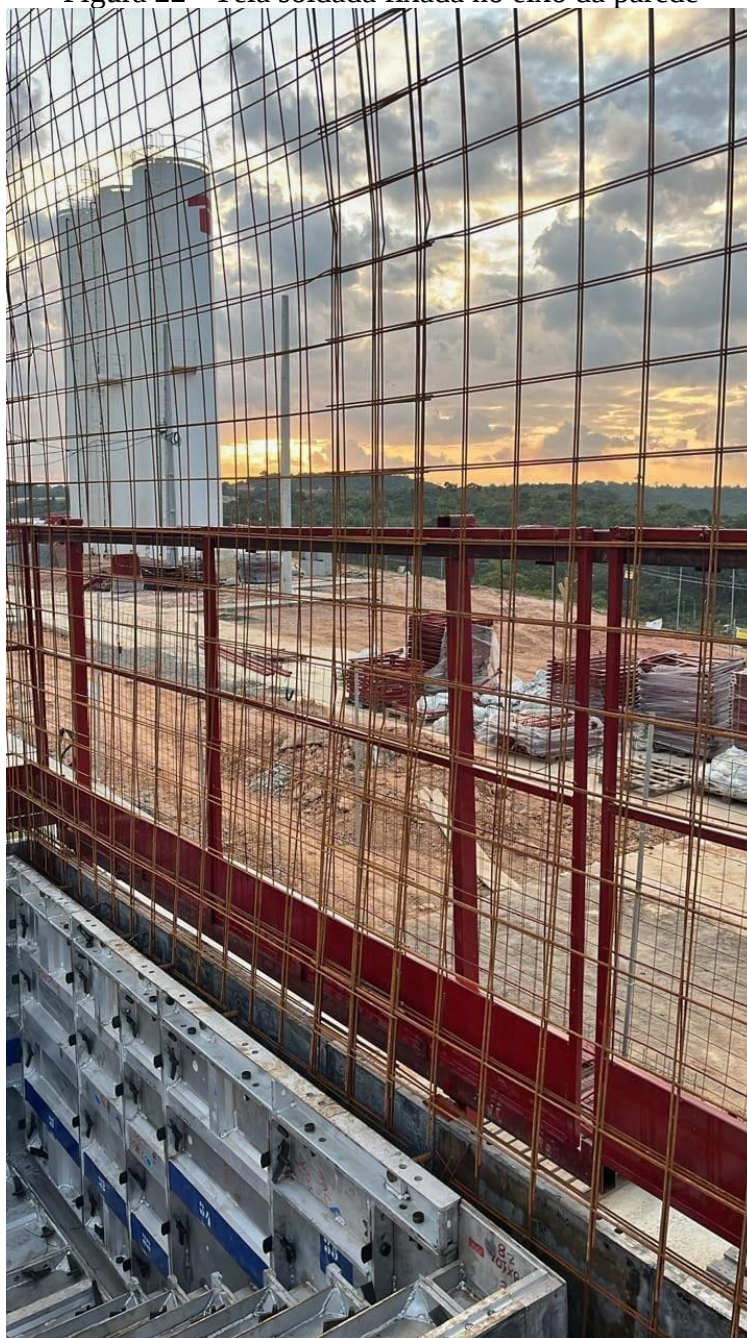
As paredes e lajes possuem uma espessura de 10 cm. O cobrimento é de 5 cm nas paredes.

3.4 ESPECIFICAÇÕES DA ARMADURA

Para a execução das armaduras principais, foram empregadas telas soldadas nervuradas do tipo Q92, apresentando espaçamento de 15x15 cm, bitola de 4,2 mm e compostas por aço CA-50.

Para as paredes, a tela é posicionada no eixo central da parede. Para os reforços de furação, de vãos, como portas e janelas, é utilizado como reforço, uma segunda tela Q92 juntamente com vergalhões de aço de bitola 8mm. A figura 22 mostra a tela Q92 fixada no eixo da parede antes da montagem da forma.

Figura 22 - Tela soldada fixada no eixo da parede



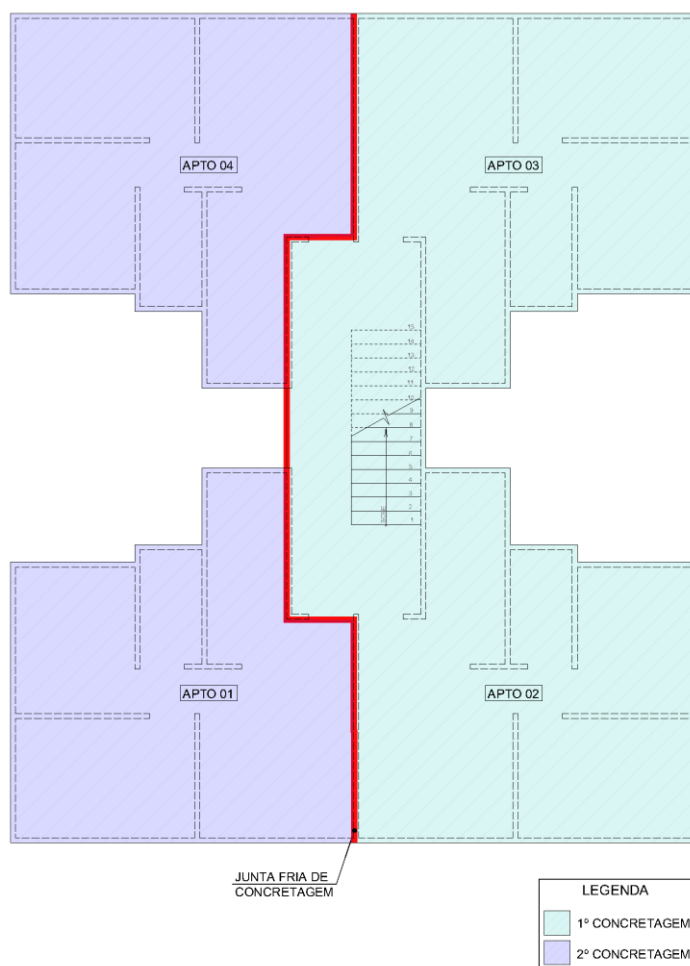
Fonte: Autoria própria (2024).

3.5 PROCESSO EXECUTIVO DA CONCRETAGEM

Por se tratar de unidades modulares, as formas metálicas utilizadas na concretagem são reutilizadas em ciclos, conforme retratado na figura 23. No ciclo A, são concretados os apartamentos 02 e 03, além do hall em um dia. No dia subsequente, caso o concreto tenha atingido a resistência mínima de 3 Mpa em 14 horas, procede-se com a desforma e, em seguida, com a montagem das fôrmas para o ciclo B de concretagem. O ciclo B abrange os apartamentos

01 e 04. A construtora dispõe de um conjunto de fôrmas, permitindo a concretagem de dois apartamentos por dia de maneira contínua.

Figura 23 - Ciclos de concretagem por bloco



Fonte: Autoria própria (2024).

3.6 ACABAMENTO E PINTURA

Após a conclusão dos trabalhos ligados às instalações prediais, bem como à colocação de esquadrias e revestimentos cerâmicos na cozinha e no banheiro, entre outros. Procedeu à texturização das paredes e tetos, que ocorre 50 dias após a desforma. Nesta etapa, as superfícies internas das paredes e tetos são regularizadas e recebem uma textura aplicada com argamassa branca à base de mineralite. A técnica empregada para a aplicação da textura envolve o uso de desempenadeira e rolo específico para texturização. O processo de pintura é iniciado 12 dias após a aplicação da textura.

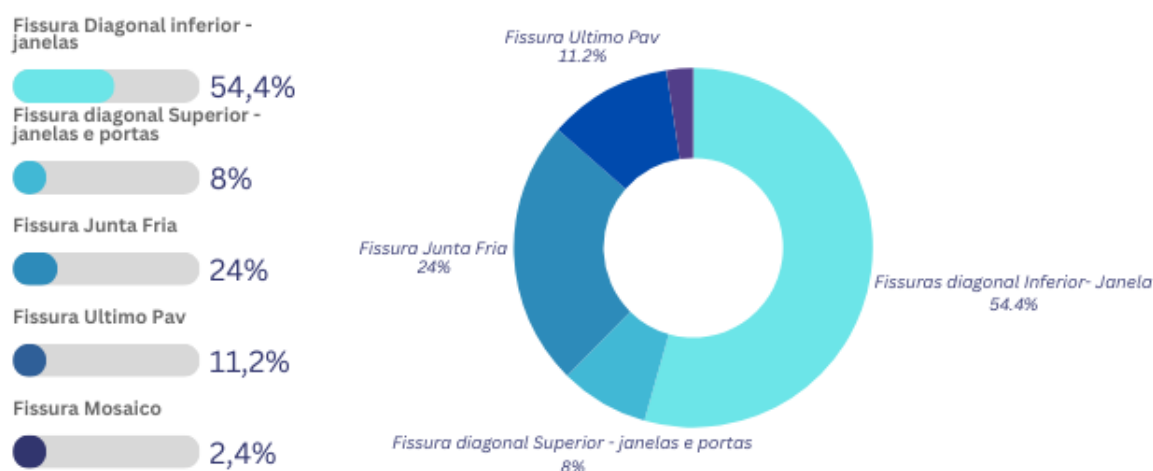
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 INCIDÊNCIA DE FISSURAS

A coleta de dados foi realizada por meio de checklists aplicados em 7 das 13 torres do empreendimento, totalizando 140 unidades vistoriadas. A partir dos dados coletados, foi realizado um levantamento quantitativo da incidência das fissuras, identificando a geometria das fissuras, suas principais características e a distribuição ao longo das diferentes superfícies. Com base nessa análise, foi possível inferir as causas prováveis das fissuras, tais como a ocorrência de juntas frias e a presença de fissuras nas paredes do último pavimento, provenientes da expansão térmica da laje, entre outras manifestações, conforme ilustrado no Gráfico da figura 24.

A partir do levantamento realizado em campo, constatou-se que a fissura mais frequente se localiza no canto inferior das janelas, com uma maior concentração no último pavimento. Esses resultados são fundamentais para a compreensão das causas predominantes das fissuras e servirão de base para a próxima etapa do trabalho, que se concentrará na análise comparativa dos métodos de tratamento mais adequados para a fissura com maior incidência.

Figura 24 - Levantamento da incidência de fissuras no empreendimento

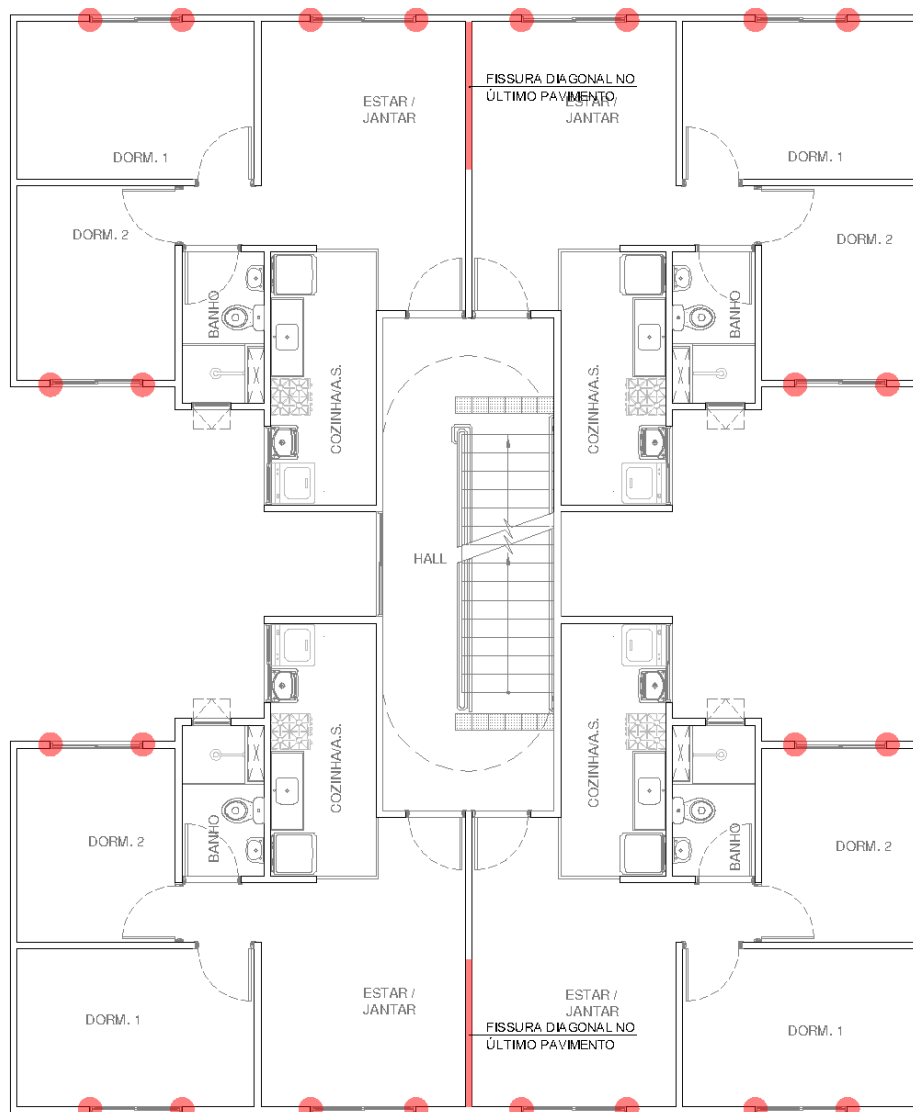


Fonte: Autoria própria (2024).

A figura 25 mostra, em planta baixa, o mapeamento das fissuras. A maior parte das fissuras diagonais inferiores de janela foi observada nas janelas dos quartos e da sala, indicadas na figura abaixo. Além disso, no último pavimento, observaram-se fissuras diagonais na parede de maior dimensão, situada na sala que separa dois apartamentos. Já as fissuras de junta fria

acontecem nas paredes e lajes, na interface de transição entre as duas concretagens, como mostrado na figura 23. Por sua vez, as fissuras em formato de mosaico surgem na laje. Contudo, devido à baixa quantidade de amostras coletadas e à sua pequena incidência, não foi possível identificar um padrão específico para seu surgimento.

Figura 25 - Planta Baixa - Mapa de fissuração



Fonte: Autoria própria (2024).

4.1.1 Fissura diagonal inferior de janela

A análise dos dados revelou que a fissura diagonal inferior de janelas foi a mais prevalente, correspondendo a 54,4% de todas as fissuras identificadas. Embora todas sejam caracterizadas como fissuras diagonais na parte inferior das janelas, há uma diferenciação

significativa entre as fissuras que ocorrem no térreo e aquelas que surgem nos demais pavimentos, uma vez que as causas são distintas.

É importante considerar que quinas de janelas e portas são sempre pontos frágeis devido à descontinuidade e à incidência de esforços parasitas, sendo um local esperado que ocorra fissuração.

As fissuras no pavimento térreo tendem a ser mais perpendiculares à base da janela e apresentam dimensões maiores, quando comparadas aos demais pavimentos. Essa tendência pode ser atribuída à concentração de tensões que ocorre devido à descontinuidade da parede nas áreas de janelas, associada a maiores tensões de compressão nas paredes térreas.

Outro fator que pode explicar as fissuras mais perpendiculares a base da janela no pavimento térreo é a retração por secagem, aliada à restrição do encurtamento do radier. Com 20 cm de espessura, o radier é comparativamente mais rígido que as lajes, levando a uma maior restrição ao encurtamento e, conseqüentemente, ao aparecimento dessas fissuras. Notavelmente, as fissuras perpendiculares à base da janela também se alinham perpendicularmente ao radier. Isso ocorre porque as fissuras geradas por restrição são perpendiculares aos elementos restringentes, que, neste caso, é o radier.

As fissuras que ocorrem nas janelas dos demais pavimentos também têm como uma das principais causas a retração por secagem. No entanto, diferentemente das ocorridas no pavimento térreo, a ausência de um elemento de restrição significativo, como o radier, e a menor sobrecarga das paredes acima resultam em fissuras menores e com diferentes inclinações, conforme ilustrado nas figuras 26 e 27.

Figura 26- Fissura Térreo



Fonte: Autoria própria (2024).

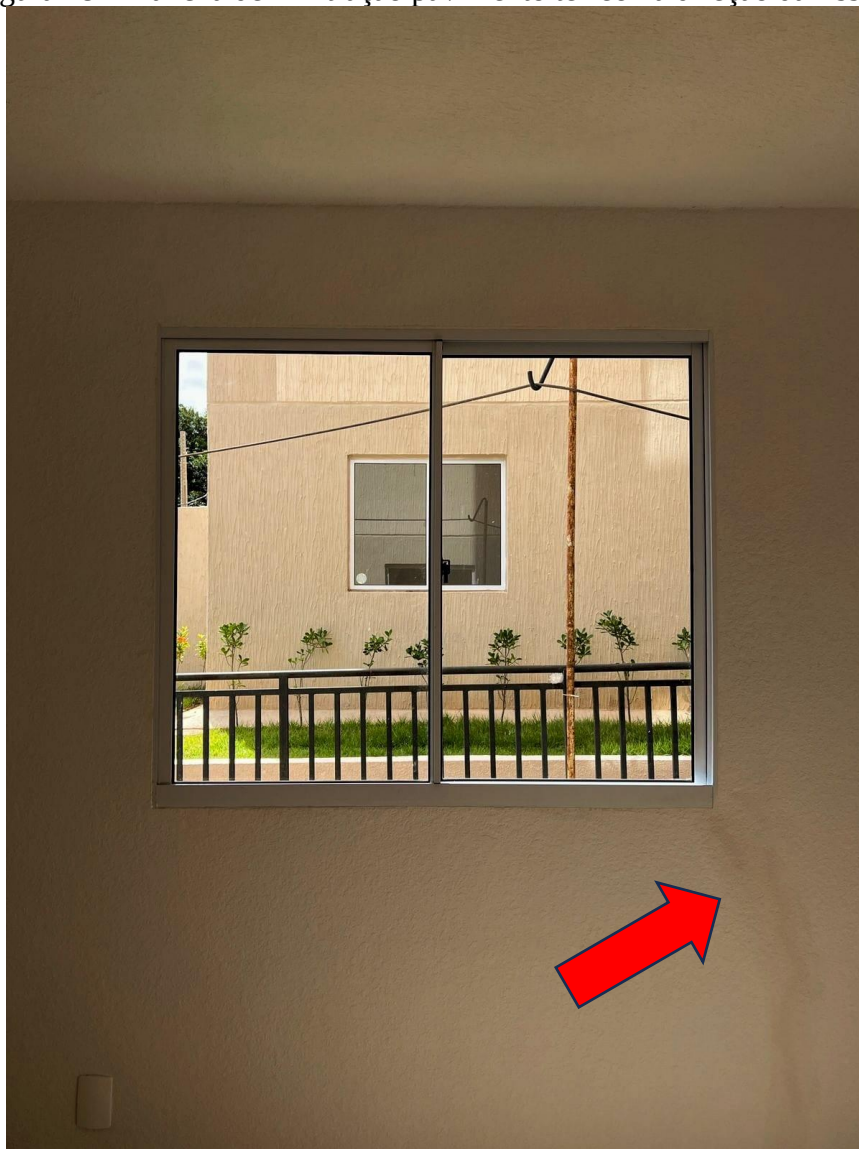
Figura 27- Fissura último pavimento



Fonte: Autoria própria (2024).

Essas fissuras representam um problema não apenas pelo impacto visual, mas também pelo desconforto gerado, especialmente por estarem localizadas nas paredes da fachada. Essas regiões fissuradas tendem a se tornar pontos passíveis à infiltração de água, que podem resultar em manchas internas de infiltração, causando desconforto visual para os usuários da unidade, como ilustrado na figura 28.

Figura 28 - Mancha de infiltração pavimento térreo na direção da fissura



Fonte: Autoria própria (2024).

4.1.2 Fissura diagonal superior portas

As fissuras diagonais superiores de janelas e portas representaram 8% do total de fissuras identificadas. As causas dessas fissuras são semelhantes aos das janelas, mencionadas no subitem anterior. A figura 29 mostra o aparecimento da fissura na parte superior da porta 15 dias após a desforma.

Figura 29 - Fissura na parte superior da porta



Fonte: Autoria própria (2024).

4.1.3 Fissura de junta fria

As fissuras de junta fria representaram 24% das ocorrências e surgem devido à interrupção da concretagem entre os ciclos A e B. Essa tipologia de fissura é esperada, devido à falta de aderência do concreto já enrijecido da concretagem anterior com a nova concretagem. Aliado a isso, na obra em estudo não se realiza nenhum procedimento para garantir a rugosidade entre o concreto novo e o existente. A figura 30 ilustra a presença de uma fissura de junta fria no piso da sala, enquanto a figura 31 mostra a fissura na parede.

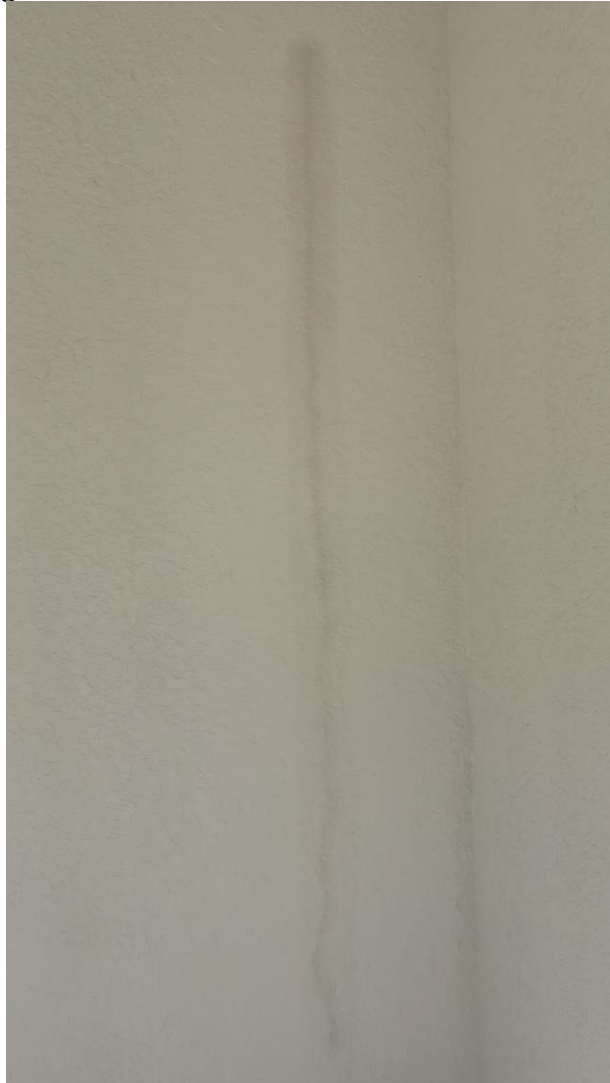
Figura 30 - Fissura Junta Fria piso da sala



Fonte: Autoria própria (2024).

Embora essas fissuras não representem um comprometimento estrutural, elas podem causar problemas, como infiltrações.

Figura 31 - Fissura Junta Fria Parede com Infiltração



Fonte: Autoria própria (2024).

4.1.4 Fissura Diagonal – Último Pavimento

No último pavimento, verificam-se fissuras diagonais na parede de maior dimensão, situada na sala que separa dois apartamentos. A causa dessas fissuras está associada à dilatação térmica do concreto da laje de cobertura, que possui uma grande área exposta a incidência solar. Esta dilatação provoca movimentações horizontais na laje, induzindo esforços de cisalhamento nas paredes, que são incompatíveis com a capacidade resistente desses elementos. A incidência dessas fissuras foi de 11%. A figura 32 apresenta a fissura inclinada após a realização do apicotamento.

Figura 32 - Fissura inclinada último pavimento após apicotamento.



Fonte: Autoria própria (2024).

4.1.5 Fissura mosaico

Fissuras em forma de mosaico representam 2% do total de fissuras identificadas durante o checklist, conforme ilustrado na Figura 33. As fissuras deste tipo são predominantemente encontradas nas lajes. A principal causa dessas fissuras é a perda de água de hidratação por evaporação. Essa evaporação ocorre nas superfícies expostas do concreto, como em lajes não protegidas por formas. Nessas situações, a superfície do concreto se retrai devido à perda de

água, enquanto as camadas de concreto em profundidades maiores permanecem inalteradas, pois não sofrem a mesma perda de água. Essa diferença gera tensões de tração na camada superficial, resultando em fissuras superficiais que penetram poucos milímetros de profundidade

Figura 33 - Fissura Mosaico



Fonte: Autoria própria (2024).

4.2 TRATAMENTOS PROPOSTOS

A partir da identificação de uma maior incidência de fissuras diagonais nas regiões inferiores das janelas, observada na etapa anterior, este estudo propõe avaliar a eficácia de quatro métodos distintos de tratamento de reparo de fissuras. Para isso, foram executados tratamentos em quatro fissuras para cada método proposto, totalizando 16 intervenções.

Visando analisar a influência do tipo de material usado no preenchimento da fissura e a

efetividade da etapa de escarificação da fissura, o estudo propôs quatro diferentes métodos de intervenção, combinando dois tipos de material de preenchimento, com a execução ou não da etapa de escarificação prévia da fissura, permitindo avaliar o impacto de cada fator no desempenho do reparo. Os materiais de preenchimento selecionados foram a massa acrílica com fibras minerais, um produto comercial específico para o tratamento de fissuras, porém com custo mais elevado, e a argamassa AC-II, que apresenta uma alternativa mais econômica. A etapa de escarificação consiste na abertura de aproximadamente 10 mm na fissura ao longo de todo seu trajeto, com o objetivo de facilitar que o material de preenchimento penetre na abertura da fissura. Essa abordagem visa determinar se é possível otimizar o tempo de execução ao dispensar essa etapa durante o reparo. Os tratamentos I e II utilizaram massa acrílica com fibras minerais como preenchimento de fissura, enquanto os tratamentos III e IV utilizaram argamassa AC-II.

Os tratamentos seguem etapas executivas comuns entre si. Essa estrutura experimental permitiu comparar a efetividade da massa acrílica em relação à argamassa, além de determinar a influência da escarificação no tratamento da fissura.

4.2.1 Tratamento I

O processo de execução do tratamento I foi realizado de forma estruturada, seguindo quatro principais etapas. Primeiramente, procedeu-se à preparação da superfície, seguida pela escarificação da fissura. Para o preenchimento, utilizou-se massa acrílica reforçada com fibra mineral. Na sequência, foi aplicada uma tela de poliéster com bandagem central, acompanhada de uma segunda camada de massa acrílica. As etapas estão descritas a seguir e nas figuras 34, 35, 36 e 37.

- a) **Preparação da Superfície:** O processo de tratamento inicia-se com o desbaste da região ao redor da fissura, utilizando-se uma lixadeira com disco de desbaste para remover aproximadamente 3 mm da superfície próxima à fissura. Esta etapa assegurar que tanto a fita quanto a massa acrílica estejam devidamente niveladas com a superfície da parede.
- b) **Escarificação da Fissura:** foi realizada a abertura de aproximadamente 10 mm na fissura ao longo de todo seu traçado, com o objetivo de facilitar que a massa acrílica penetre na abertura da fissura. A escarificação ajuda a aumentar a aderência do material de preenchimento.
- c) **Aplicação da primeira camada de massa acrílica:** foi aplicada uma primeira

camada de massa acrílica com fibra mineral, com o objetivo de separar a área da fissura das camadas subsequentes, por conta da sua composição a massa acrílica com fibras minerais tem uma tendência reduzida de retrair após a aplicação.

- d) **Aplicação da tela de poliéster com bandagem central não aderente junto da segunda camada de massa acrílica:** Após a secagem completa da primeira camada de massa acrílica, deu-se início à aplicação da tela de poliéster sobre a base nivelada centralizando a bandagem sobre a fissura já preenchida. A bandagem central não pode ser colada. Caso a direção da fissura mudar, a tela deve ser cortada para acompanhar a fissura. Essa bandagem central permite que a base se movimente de maneira independente evitando assim rompimento aparente da área revestida. Após o posicionamento da tela, uma segunda camada de massa acrílica é aplicada sobre ela. Concluído o processo de secagem, a superfície estará pronta para receber a aplicação da massa corrida, seguida da pintura.

Figura 34 - Preparação da superfície



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 35 - Escarificação da fissura



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 36 - Preenchimento da fissura com massa acrílica com fibras minerais



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 37 - Aplicação da tela de poliéster junto a segunda camada de massa acrílica



Fonte: Autoria própria (2024).

4.2.2 Tratamento II

Para o tratamento II, foram seguidos os mesmos procedimentos descritos no tratamento anterior, com exceção da etapa de escarificação. Neste caso, optou-se por não realizar a escarificação ao longo da fissura, com o intuito de verificar se essa etapa poderia ser omitida sem comprometer a qualidade do reparo.

O processo de execução do tratamento II foi realizado de forma estruturada, seguindo três principais etapas. Primeiramente, realizou-se a preparação da superfície, com o desbaste da região ao redor da fissura, utilizando uma lixadeira equipada com disco de desbaste. Posteriormente, procedeu-se ao preenchimento da fissura, empregando massa acrílica reforçada com fibra mineral. Na sequência, foi aplicada uma tela de poliéster com bandagem central, acompanhada de uma segunda camada de massa acrílica. As etapas do tratamento II podem ser resumidas nos seguintes passos, que espelham o procedimento descrito no tratamento I:

- a) Preparação da Superfície.**
- b) Aplicação da primeira camada de massa acrílica**
- c) Aplicação da tela de poliéster com bandagem central não aderente junto da segunda camada de massa acrílica:**

A principal motivação para essa mudança foi a tentativa de reduzir o tempo de execução do método, uma vez que a escarificação é uma etapa que demanda tempo e aumenta o trabalho necessário para concluir o tratamento.

Essa modificação no processo permitiu que o método fosse executado de maneira mais rápida, como em obras com prazos apertados ou reparos emergenciais. No entanto, a exclusão da escarificação traz uma incerteza quanto à eficácia do preenchimento do tapa-trinca dentro da fissura, especialmente em aberturas menores, como aquelas observadas nas fissuras próximas às janelas, que apresentam espessuras inferiores a 3 mm.

A figura 38 mostra os principais materiais que foram utilizados nos dois tratamentos.

Figura 38 - Materiais utilizados nos métodos I e II.



Fonte: Autoria própria (2024).

4.2.3 Tratamento III

O método de **tratamento** III segue, em grande parte, os mesmos procedimentos dos tratamentos I, porém com uma diferença importante: a substituição da massa acrílica pela **argamassa AC-II** como material de preenchimento das fissuras. Essa alteração no material empregado visa investigar se a utilização da argamassa oferece um resultado similar aos tratamentos que empregaram a massa acrílica, considerando que a solução com argamassa é mais viável do ponto de vista econômico, devido ao seu menor custo.

Primeiramente, procedeu-se à preparação da superfície, seguida pela escarificação da fissura. Para o preenchimento, utilizou-se argamassa AC-II. Na sequência, foi aplicada uma tela de poliéster com bandagem central, acompanhada de uma segunda camada de argamassa AC-II. As etapas estão listadas a seguir:

- a) **Preparação da Superfície.**
- b) **Escarificação da Fissura.**
- c) **Aplicação da primeira camada de argamassa AC-II:** foi aplicada uma primeira camada de argamassa AC-II, com o objetivo de separar a área da fissura das camadas subsequentes.
- d) **Aplicação da tela de poliéster com bandagem central não aderente junto da segunda camada de argamassa AC-II:** Após a secagem completa da primeira camada de argamassa, deu-se início à aplicação da tela de poliéster sobre a base nivelada centralizando a bandagem sobre a fissura já preenchida. A bandagem

central não pode ser colada. Caso a direção da fissura mudar, a tela deve ser cortada para acompanhar a fissura. Após o posicionamento da tela, uma segunda camada de argamassa AC-II é aplicada sobre ela.

4.2.4 Tratamento IV

Para o tratamento IV, foram seguidos os mesmos procedimentos do tratamento III com exceção da etapa de escarificação. Neste caso, optou-se por não realizar a escarificação ao longo da fissura, com o intuito de verificar se essa etapa poderia ser omitida sem comprometer a qualidade do reparo

O processo de execução do tratamento IV foi realizado de forma estruturada, seguindo três principais etapas. Primeiramente, realizou-se a preparação da superfície, com o desbaste da região ao redor da fissura, utilizando uma lixadeira equipada com disco de desbaste. Posteriormente, procedeu-se ao preenchimento da fissura, argamassa AC-II. Na sequência, foi aplicada uma tela de poliéster com bandagem central, acompanhada de uma segunda camada de argamassa AC-II. As etapas do tratamento IV podem ser resumidas nos seguintes passos, que espelham o procedimento descrito no tratamento I e III:

- a) **Preparação da Superfície.**
- b) **Aplicação da primeira camada de argamassa AC-II**
- c) **Aplicação da tela de poliéster com bandagem central não aderente junto da segunda camada de argamassa AC-II:**

A figura 39 mostra os principais materiais que foram utilizados nos tratamentos III e IV:

Figura 39 - Materiais utilizados nos métodos III e IV.

Argamassa AC-II	Tela de poliéster
	

Fonte: Autoria própria (2024).

Para facilitar o entendimento e proporcionar uma visão mais clara dos métodos aplicados, o Quadro da figura 40 apresenta um resumo dos tratamentos utilizados ao longo da pesquisa. Nesse quadro, estão sintetizadas as principais características de cada método, incluindo os materiais empregados, as etapas executadas, as variações realizadas em relação à metodologia base e os critérios de eficiência adotados para cada abordagem.

Figura 40 - Quadro resumo dos tratamentos utilizados na pesquisa.

ATIVIDADE / MATERIAIS	TRATAMENTO I	TRATAMENTO II	TRATAMENTO III	TRATAMENTO IV
Preparação da Superfície com afundamento de 3mm	X	X	X	X
Escarificação da Fissura	X	-	X	-
Utilização do TelaFix	X	X	X	X
Utilização de TapaTrinca	X	X	-	-
Utilização de Argamassa	-	-	X	X

Fonte: Autoria própria (2024).

4.3 ANÁLISE ECONÔMICA DOS MÉTODOS DE TRATAMENTO

Um aspecto crucial na determinação do método de tratamento adequado é o custo associado. Para realizar essa análise, foi calculado o preço médio dos materiais empregados nos tratamentos propostos. A argamassa AC-II, empregada nos tratamentos III e IV, possui um custo médio de R\$ 2,50 por quilograma. Este valor deve ser comparado ao da massa acrílica reforçada com fibras minerais, utilizada nos tratamentos I e II, a qual apresenta um custo significativamente superior de R\$ 36,80 por quilograma. Esta diferença de custo é considerável, sendo a massa acrílica aproximadamente 14 vezes mais cara que a argamassa AC-II.

Ambos os métodos incorporam a utilização da tela autoadesiva 100% poliéster, reforçada com bandagem central de polipropileno, destinada ao reforço da área fissurada, cujo custo é de R\$ 8,90 por metro. Entretanto, como este componente é comum aos dois métodos analisados, seu custo não interfere na comparação econômica entre os tratamentos.

Conclui-se que, sob a perspectiva de custo, a argamassa AC-II mostra-se como uma opção mais viável economicamente para o preenchimento de fissuras quando comparada à massa acrílica reforçada.

4.4 RESULTADOS OBTIDOS COM OS TRATAMENTOS

O estudo envolveu o tratamento de 16 fissuras localizadas na parte inferior de janelas,

empregando quatro métodos distintos de tratamento, sendo que cada método foi aplicado a quatro fissuras. A avaliação dos resultados se deu em dois momentos após a aplicação do fundo de regularização e após a pintura.

Após aproximadamente 7 dias, verificou-se o reaparecimento das fissuras em todos os métodos avaliados. Contudo, após a aplicação da pintura, as fissuras tornaram-se praticamente imperceptíveis a olho nu. Esse fenômeno deve-se à maior capacidade de movimentação da tinta látex em relação ao fundo regularizador. Assim, do ponto de vista estético, todos os métodos foram eficazes na mitigação das fissuras após a pintura, não sendo possível distinguir visualmente diferenças significativas entre os quatro métodos dentro do período analisado.

Vale destacar que não se observou no período de análise em nenhuma das fissuras tratadas sinais de infiltração, como manchas ou umidade, que são comuns em períodos de maior incidência de chuva. A figura 41 apresenta o índice pluviométrico registado na região de Recife durante os meses de agosto e setembro, período em que os estudos dos tratamentos adotados foram conduzidos. Observa-se que, a precipitação durante esses meses foi caracterizada como moderada.

Figura 41 - Precipitação média Recife

Posto	Mês de 2024	Precipitação (mm)
Recife -PE	Junho	390
	Julho	385
	Agosto	213
	Setembro	122

Fonte: APAC – Adaptado pelo autor (2024).

Como não foram observadas diferenças visuais nas fissuras pós tratadas, com o reaparecimento das fissuras em todos os métodos empregados, pode-se concluir, ainda que fundamentada em um número reduzido de amostras, que a execução da escarificação na etapa de tratamento pode ser dispensada, pois não influenciou nos resultados. Além disso, o material de preenchimento também não se mostrou relevante para diferenciar os tratamentos.

Desta forma, o tratamento IV que utiliza argamassa AC-II como material de preenchimento de fissura sem a execução da escarificação, foi definido como o melhor tratamento, por ser mais econômico e mais rápido do ponto de vista de execução, sem levar em consideração a análise técnica de desempenho, pois o trabalho não avaliou a efetividade da estanqueidade ao longo do tempo em nenhum dos tratamentos executados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho de pesquisa, partiu da premissa que 30% das reclamações recebidas pela construtora no pós entrega de unidades habitacionais do PMCMV eram oriundas de problemas de fissuração e suas subseqüentes consequências, como infiltração.

Diante disso a pesquisa teve como objetivos realizar uma análise detalhada das fissuras em paredes de concreto, identificando as principais causas e fatores que influenciam na sua ocorrência. Para isso, foi feito um estudo de caso em um empreendimento habitacional na cidade do Recife. Inicialmente foi realizada por meio de um checklist, uma análise de campo para identificar a quantidade e os tipos de fissuras, abrangendo 7 torres que totalizaram 140 apartamentos vistoriados. Com base nos dados coletados, foi feita um levantamento quantitativo que determinou a frequência das fissuras. Constatou-se que a fissura mais frequente se localiza no canto inferior das janelas, com uma maior concentração no último pavimento. As fissuras nas janelas acontecem pelo fato de a janela ser um ponto frágil devido a descontinuidade e da incidência de esforços parasitas, sendo um local esperado que ocorra fissuração.

A partir da identificação de uma maior incidência de fissuras diagonais nas regiões inferiores das janelas, foram propostos quatro métodos distintos de tratamento de reparo de fissuras. Os tratamentos variaram o material de preenchimento da fissura entre massa acrílica com fibras minerais e argamassa AC-II, bem como na execução ou não da etapa de escarificação.

Foram executados tratamentos em quatro fissuras para cada método proposto, totalizando 16 intervenções. A metodologia apresentada evidenciou limitações nos dados, principalmente devido ao número reduzido de amostras disponível para cada tipo de tratamento. Além disso, a pesquisa não conseguiu acompanhar a evolução das fissuras ao longo do tempo, pela limitação temporal do estudo, sem analisar a efetividade dos tratamentos ao desempenho à estanqueidade. Mesmo enfrentando tais restrições, concluiu-se que o tratamento IV, que utiliza argamassa AC-II como material de preenchimento de fissuras sem a execução da escarificação, foi definido como o melhor tratamento, por ser mais econômico e mais rápido do ponto de vista de execução.

6 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Embora o estudo de tratamento de fissuras tenha se concentrado exclusivamente nas fissuras de quina de janela inferior, é fundamental ampliar o escopo da análise para incluir outros tipos de fissuras, como as de junta fria por exemplo. Isso permitiria uma avaliação mais abrangente da eficácia da tela de poliéster e da massa acrílica em diferentes contextos de fissuração.

Para pesquisas futuras, recomenda-se explorar alternativas à massa acrílica utilizada atualmente. Seria pertinente investigar outras variantes de massas acrílicas, bem como argamassas com aditivos impermeabilizantes ou materiais alternativos que possam garantir a estanqueidade das estruturas, considerando que a argamassa AC-II, quando utilizada isoladamente, não assegura essa propriedade.

Além disso, sugere-se aumentar o número de amostras analisadas para proporcionar um suporte estatístico mais robusto. Também seria vantajoso prolongar o período de observação das fissuras, a fim de compreender melhor o comportamento e a durabilidade das soluções aplicadas ao longo do tempo.

É relevante direcionar atenção para as fissuras localizadas na fachada dos edifícios. Um estudo aprofundado sobre a viabilidade do tratamento dessas fissuras é essencial para determinar se a intervenção deve ser restrita ao interior dos apartamentos ou se é necessário estendê-la à fachada externa.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGÊNCIA PERNAMBUCANCA DE ÁGUAS E CLIMAS – APAC. **Precipitação média por município**, 2024. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/193-climatologia/521-climatologia-por-municipio>. Acesso em 11 de setembro de 2024

AREAS, Daniel M. **Descrição do processo construtivo de parede de concreto para obra de baixo padrão**. 2013. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM; INSTITUTO BRASILEIRO DE TELAS SOLDADAS. **Parede de concreto: coletânea de ativos 2011-2013**. São Paulo: Comunidade da Construção, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16055: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

CORRÊA, Julio Marcelino. **Considerações sobre projeto e execução de edifícios em paredes de concreto moldadas in loco**. 2012. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

CORSINI, Rodnei. Paredes normatizadas. **Revista Técnica**, São Paulo, v. 20, n. 183, p. 40-46, jun. 2012. Disponível em: <https://revistatechne.com.br/rds/183>. Acesso em: 11 de agosto de 2024.

DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul**. 1988. 220 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

DANTAS, Jéssica. **Sistema de parede de concreto moldadas no local: variáveis intervenientes na ocorrência de fissuras**. 2024. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024

DOH, J. H.; FRAGOMENI, S. **Ultimate Load Formula for Reinforced Concrete Wall Panels with Openings**. In: *Advances in Structural Engineering*, V.9, No.1, 2006.

DUARTE, R. B. **Fissuras em alvenaria: causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação**. Porto Alegre: CIENTEC, 1998. Boletim técnico n. 25.

FJP (Fundação João Pinheiro). Brasil registra déficit habitacional de 6 milhões de domicílios. 2023. Disponível em: <https://fjp.mg.gov.br/brasil-registra-deficit-habitacional-de-6-milhoes-dedomicilios/#:~:text=Em%202022%2C%20o%20déficit%20habitacional,de%20habitação%20ocupadas%20no%20país>. Acesso em: 15 agosto. 2024.

HELENE, P. **Manual Para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992. 216 f

HOLANDA, O. G. J. **Influência de Recalques em Edifícios de Alvenaria Estrutural**. 224 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

LOTURCO, Bruno. Fissuras no último pavimento. **Revista Técnica**. Pini, n. 99, jun. 2005.

MISURELLI, H.; MASSUDA, C. Como construir paredes de concreto. **Revista Técnica**, Pini, n. 147, jun. 2009.

NAKAMURA, J. Fôrmas metálicas para parede de concreto: saiba como funciona. **Revista Equipe de Obras**, São Paulo: Pini, n. 63, setembro 2013. Não paginado. Disponível em: <http://equipedobra.pini.com.br/construcao-reforma/63/formasmetalicas-para-paredes-de-concreto-saiba-como-funciona-294280-1.aspx>. Acesso em 04 de julho de 2024.

OLIVEIRA, Alexandre Magno. **Fissuras e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações**. 2012. 96 f. Monografia (Especialização em Gestão em Avaliações e Perícias) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

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. 166 f. Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

SOUZA, V. C. M. D.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1998. 256f. 1ª. ed. São Paulo: Pini

THOMAZ, E. C. S.; **Fissuração – 168 Casos Reais**. Notas de aula. 2003. Instituto Militar de Engenharia (IME). Rio de Janeiro. Pág. 238.

THOMAZ, Érico. **Trincas em edifícios – causas, prevenção e recuperação**. 2. ed. São Paulo. Oficina de textos, 2020. 244 f.

WENDLER, A.; MONGE, R. Paredes de Concreto – Como ter uma obra sem manifestações patológicas. **Concreto & Construções**, São Paulo, v. 90, p. 38-41, abr./jun. 2018. Disponível em: http://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/pdfs/revista90.pdf. Acesso em 13 de julho de 2024.

ZUCHETTI, Pedro Augusto Bastianini. **Patologias da construção civil: investigação patológica em edifício corporativo de administração pública no Vale do Taquari/RS**. 2015. 114 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2015.