



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

BRUNA CARMEN DA SILVA SANTANA
SAGAN TOCANTINS DOS SANTOS JÚNIOR

**ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM CONCRETO ARMADO:
ESTUDO DE CASO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO EM TUCURUÍ/PA,
BRASIL.**

TUCURUÍ
2025

BRUNA CARMEN DA SILVA SANTANA
SAGAN TOCANTINS DOS SANTOS JÚNIOR

**ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM CONCRETO ARMADO:
ESTUDO DE CASO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO EM TUCURUÍ/PA,
BRASIL.**

Trabalho de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Ma. Grazielle Tigre de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Manoel José Mangabeira Pereira Filho

TUCURUÍ
2025

Página destinada à inserção da ficha catalográfica, não deve ser contada nem numerada.

Para gerar a ficha catalográfica, acesse: <http://bcficat.ufpa.br/>.

Em trabalhos impressos, deve constar no verso da folha de rosto.

Em trabalhos em formato eletrônico, deve constar imediatamente após a página de rosto.

BRUNA CARMEN DA SILVA SANTANA
SAGAN TOCANTINS DOS SANTOS JÚNIOR

**ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM CONCRETO ARMADO:
ESTUDO DE CASO EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO EM TUCURUÍ/PA,
BRASIL.**

Trabalho de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Ma. Grazielle Tigre de Souza
Coorientador: Prof. Dr. Manoel José Mangabeira Pereira Filho

Data da aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ma. Grazielle Tigre de Souza
FEC/CAMTUC/UFPA

Prof. Dr. Manoel José Mangabeira Pereira Filho
FEC/CAMTUC/UFPA

Prof. Me. Davi Barbosa Costa da Silva
FEC/CAMTUC/UFPA

Ma. Marília Caires Freire
ENGENHEIRA CIVIL/IFPA

Ao nosso filho, Benício, a maior inspiração e
motivação da nossa jornada e a certeza de que
todo esforço vale a pena.

AGRADECIMENTOS – BRUNA CARMEN DA SILVA SANTANA

Primeiramente, agradeço a Deus, por ser a minha base inabalável, por me conceder a coragem de sair de casa em busca de um sonho e pela força que me permitiu permanecer firme nesta caminhada até o fim. Sua presença foi o alicerce que sustentou cada passo.

Aos meus pais, Rosamilene e Sergio Santana, expresso minha mais profunda gratidão pelo amor incondicional e pelo incentivo diário. Mesmo nos momentos em que a dúvida me atingia e eu acreditava que não conseguiria, o apoio de vocês foi a luz que me guiou e a certeza de que eu não estava sozinha.

Ao meu irmão, Victoriano, dedico este agradecimento com a esperança de que eu possa ser um exemplo a ser seguido. Sua existência é um lembrete constante da responsabilidade e do carinho que nos une.

Ao meu esposo, amigo e parceiro de TCC, Sagan Santos, meu obrigada por ter permanecido ao meu lado durante todos esses anos de faculdade. Seu apoio nos momentos difíceis, a parceria na construção deste trabalho e a compreensão diária foram fundamentais para a conclusão desta jornada. Sua presença foi um porto seguro.

Ao meu filho, Benício, que chegou no final desta jornada acadêmica, mas que se tornou a maior inspiração e motivação da nossa vida. Sua chegada trouxe a certeza de que todo esforço vale a pena e que o futuro é ainda mais promissor ao seu lado. Tudo é por você e para você, meu amor.

Aos Professores Grazielle Tigre e Manoel Mangabeira, agradeço imensamente pela paciência, pela orientação técnica e pela contribuição para a construção e aprimoramento deste trabalho. Seus ensinamentos foram cruciais para o desenvolvimento e a qualidade final do TCC.

AGRADECIMENTOS – SAGAN TOCANTINS DOS SANTOS JUNIOR

Agradeço primeiramente a Deus e aos meus pais, Sagan e Simoni Santos pelo apoio incondicional, amor e incentivo em cada etapa desta jornada. Vocês são minha base, e sem vocês nada disso seria possível.

À minha companheira de TCC e da vida, Bruna Santana minha eterna parceira, obrigado por estar ao meu lado em todos os momentos, compartilhando risos, desafios e sonhos. Sua presença torna tudo mais leve e significativo.

Aos meus professores, em especial a Grazielle Tigre e Manoel Mangabeira minha gratidão pelo conhecimento compartilhado, pela paciência e pela orientação que me guiaram ao longo deste trabalho. Vocês foram fundamentais para meu crescimento acadêmico e pessoal.

E ao meu filho, Benicio minha maior inspiração. Você é a luz que ilumina meus dias e o motivo pelo qual busco ser melhor a cada dia. Que este trabalho seja um exemplo para você de que com dedicação e amor, podemos alcançar nossos sonhos. Te amamos meu pequeno dino.

“Nós moldamos nossos edifícios, e depois eles nos moldam.”

Winston Churchill

RESUMO

As manifestações patológicas em estruturas de concreto armado são um desafio recorrente na construção civil, comprometendo a durabilidade, segurança e funcionalidade das edificações. Este trabalho teve como objetivo analisar as manifestações patológicas em uma instituição de ensino em Tucuruí/PA, a fim de diagnosticar suas causas e propor medidas corretivas e preventivas. Para o desenvolvimento foi adotado uma abordagem sequencial, partindo da inspeção visual para mapeamento dos danos, seguida por uma análise computacional da estrutura em um software baseado no Método dos Elementos Finitos (MEF), a partir disso os resultados da simulação foram correlacionados com os dados da inspeção para a elaboração do diagnóstico. A análise computacional demonstrou que, embora a estrutura atenda aos critérios de segurança no Estado Limite Último (ELU), a edificação apresenta desempenho inadequado no Estado Limite de Serviço (ELS). Portanto, indica-se que a causa raiz das fissuras é a deformação excessiva (flecha) de vigas críticas, que atingiram valores quase duas vezes superiores ao limite normativo da ABNT NBR 6118:2023. Com isso, propõe-se o reforço estrutural com Sistemas de Fibras de Carbono (SFC) para o controle das deformações, associado ao tratamento das fissuras e à implementação de um plano de manutenção predial. Portanto, estudo reforça a importância do controle de deformações em projetos estruturais para garantir a vida útil das edificações.

Palavras-chave: Patologia das Construções. Concreto Armado. Análise Estrutural. Fissuras. Reforço Estrutural.

ABSTRACT

Pathological manifestations in reinforced concrete structures are a recurring challenge in civil construction, compromising the durability, safety, and functionality of buildings. This work aimed to analyze the pathological manifestations in an educational institution in Tucuruí/PA, in order to diagnose their causes and propose corrective and preventive measures. For the development, a sequential approach was adopted, starting with a visual inspection to map the damages, followed by a computational analysis of the structure in a software based on the Finite Element Method (FEM). From this, the simulation results were correlated with the inspection data to elaborate the diagnosis. The computational analysis showed that, although the structure meets the safety criteria in the Ultimate Limit State (ULS), the building presents inadequate performance in the Serviceability Limit State (SLS). Therefore, it is indicated that the root cause of the cracks is the excessive deformation (deflection) of critical beams, which reached values almost twice the normative limit of ABNT NBR 6118:2023. With this, structural strengthening with Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) systems is proposed for deformation control, associated with the treatment of cracks and the implementation of a building maintenance plan. Therefore, this study reinforces the importance of deformation control in structural projects to ensure the service life of buildings.

Keywords: Construction Pathology. Reinforced Concrete. Structural Analysis. Cracks. Structural Strengthening.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mecanismos de deterioração do concreto.....	22
Figura 2 - Exemplo de injeção por pistola de aplicação manual e cartucho	27
Figura 3 - Reparo de uma fissura por costura.....	28
Figura 4 - Esquema metodológico da pesquisa.	31
Figura 5 - Formato das vigas analisadas.....	31
Figura 6 - Modelagem da estrutura em 3D.....	32
Figura 7 - Localização da área de estudo.	35
Figura 8 - Fachadas posterior do edifício	35
Figura 9 - Comparativo entre o projeto estrutural original e o As built.	36
Figura 10 - Manifestação patológica identificadas após a inauguração.	37
Figura 11 - Fissuras analisadas nas vigas V2	39
Figura 12 - Fissura analisada na viga V3.	40
Figura 13 - Mapa de danos da edificação.	41
Figura 14 - Modelo 3D da viga em cruz.....	41
Figura 15 - Pórtico Unifilar: Deslocamentos Imediatos no ELS.....	42
Figura 16 - Planta de Formas do 1º e 2º Pavimento com Nomenclatura das Vigas	43
Figura 17 - Deformada da Estrutura no Estado Limite Último (ELU).....	44
Figura 18 - Diagrama de Momento Fletor (DMF) da Viga V22 no 2º Pavimento	45
Figura 19 - Diagrama de Esforço Cortante (DEC) da Viga V22 no 2º Pavimento	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de agressividade ambiental (CAA).....	21
Tabela 2 – Denominação e abertura das fissuras.....	23
Tabela 3 - Roteiro básico para o tratamento de fissuras.....	26
Tabela 4 - Classificação das fissuras	39
Tabela 5 - Resumo das Flechas Totais Críticas (ELS)	43

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAA	Classes de Agressividade Ambiental
DEC	Diagrama de Esforço Cortante
DMF	Diagrama de Momento Fletor
ELS	Estados Limites de Serviço
ELU	Estados Limites Últimos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFPA	Instituto Federal do Pará
MEF	Método dos Elementos Finitos
NBR	Norma Brasileira
SFC	Sistema de Fibras de Carbono
SIMEC	Sistema Integrado de Monitoramento e Controle de Obras
UEPA	Universidade do Estado do Pará
UFPA	Universidade Federal do Pará
UNEd	Unidade de Ensino Descentralizada de Tucuruí
VUP	Vida Útil de Projeto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Objetivos.....	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
1.2	Justificativa	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Concreto Armado.....	18
2.2	Desempenho do Concreto Armado.....	18
2.3	Patologia de Estrutura de Concreto Armado	20
2.3.1	Fissuras	22
2.4	Recuperação de Manifestações Patológicas em Concreto Armado.....	25
2.4.1	Recuperação de Fissuras.....	25
2.5	Análise Estrutural	29
2.5.1	Introdução a Softwares de Análise Estrutural	29
2.5.2	Softwares Baseados no Método dos Elementos Finitos (MEF)	29
3	METODOLOGIA.....	31
3.1	Procedimentos Metodológicos.....	31
3.3.1	Levantamento Preliminar e Inspeção em Campo	32
3.3.2	Análise Computacional e Simulação Estrutural	32
3.3.3	Diagnóstico das Manifestações Patológicas	34
3.2	Caracterização da Área de Estudo	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1	Análise Preliminar e Levantamento de Informações.....	36
4.2	Caracterização e Mapeamento das Manifestações Patológicas	38
4.3	Análise computacional do sistema estrutural	41
4.3.1	Análise do Estado Limite de Serviço (ELS).....	42
4.3.2	Análise do Estado Limite Último (ELU).....	44
4.3.3	Correlação entre Análise Computacional e Inspeção Visual.....	45
4.4	Proposta de Intervenção.....	46
5	CONCLUSÃO.....	49

REFERÊNCIAS	50
APÊNDICE A - Classificação geral das fissuras do edifício.....	52

1 INTRODUÇÃO

A infraestrutura escolar exerce papel fundamental no processo educacional, garantindo ambientes seguros, confortáveis e adequados para o ensino. No Brasil, a Constituição Federal de 1988 (Capítulo III, seção I, Artigo 205) assegura que a educação é um direito de todos e dever do Estado e da família, exigindo, para sua efetivação, edificações capazes de atender às necessidades pedagógicas e de proteger a integridade física dos usuários (Brasil, 1988). Entretanto, mesmo com essa exigência legal, muitas instituições públicas enfrentam problemas estruturais e de manutenção, que comprometem tanto a qualidade do ensino quanto a segurança dos ocupantes.

Um ambiente escolar bem estruturado não apenas facilita a propagação de conteúdo, mas também melhora a concentração, o engajamento e o bem-estar geral dos estudantes, impactando diretamente seu desempenho acadêmico e desenvolvimento socioemocional. Em contrapartida, uma edificação que apresenta falhas em seu desempenho, manifestadas por problemas visíveis de conservação, compromete sua funcionalidade essencial. A presença de anomalias construtivas gera um ambiente inadequado para as atividades de ensino, podendo interferir na segurança e no conforto dos usuários e, conseqüentemente, prejudicar a capacidade de aprendizado e a rotina da comunidade escolar.

Grande parte dessas edificações é executada em concreto armado, material amplamente utilizado pela resistência, durabilidade e versatilidade. Contudo, essas vantagens não impedem sua degradação ao longo do tempo, especialmente quando ocorrem falhas de projeto, execução inadequada, falta de manutenção preventiva ou exposição a agentes agressivos, resultando em manifestações patológicas como fissuras, infiltrações e corrosão das armaduras, que comprometem o desempenho estrutural e estético. Além disso, no caso das obras públicas, a durabilidade das estruturas pode ser ainda mais comprometida devido a deficiências na fiscalização, falhas na gestão e planejamento inadequado (BRITO, 2017). Tal cenário evidencia a importância da inspeção predial como ferramenta de gestão da manutenção, uma prática hoje normatizada pela ABNT NBR 16747:2020, que estabelece as diretrizes para garantir a segurança e a longevidade das construções.

O surgimento de manifestações patológicas é, portanto, a evidência física que a evidência física de que a estrutura está respondendo a deficiências de projeto, materiais de baixa qualidade ou vícios construtivos. Exemplos comuns incluem fissuras, que podem evoluir para trincas e rachaduras, comprometendo a integridade estrutural. Essas anomalias não são, portanto, meros defeitos estéticos, mas a evidência física de que a estrutura está respondendo a

deficiências de projeto, materiais de baixa qualidade ou vícios construtivos, exigindo uma análise técnica aprofundada.

Esses problemas são especialmente críticos no contexto das instituições públicas de ensino, pois envolvem não apenas custos elevados de reparo, mas também a interrupção de atividades acadêmicas e administrativas. Por isso, a identificação precoce e a análise técnica dessas manifestações patológicas são etapas essenciais para a definição de estratégias de manutenção e recuperação, capazes de prolongar a vida útil da estrutura e preservar o investimento público.

Diante desse cenário, o presente estudo concentra-se na análise das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado do prédio principal do Instituto Federal do Pará – Campus Tucuruí. Por meio de inspeção visual, mapeamento de danos e análise computacional, busca-se compreender as causas das anomalias e propor medidas corretivas e preventivas, contribuindo para a segurança, funcionalidade e longevidade da edificação.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar as manifestações patológicas em estruturas de concreto armado do Instituto Federal do Pará (IFPA) – Campus Tucuruí.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Mapear as manifestações patológicas presentes nas vigas do edifício do IFPA – Campus Tucuruí por meio de inspeção visual.
- Identificar os padrões de ocorrência das manifestações patológicas nos diferentes pavimentos da edificação, correlacionando-os com possíveis fatores causadores.
- Correlacionar os danos observados na inspeção visual com os resultados da análise computacional da estrutura.
- Propor medidas preventivas e corretivas para as anomalias identificadas, visando a segurança, funcionalidade e longevidade da edificação.

1.2 Justificativa

Nas últimas décadas, a expansão da infraestrutura educacional no Brasil trouxe consigo avanços significativos, mas também expôs fragilidades relacionadas à qualidade das obras públicas. Em muitos casos, as edificações são entregues sem considerar planos de manutenção

preventiva, o que resulta em manifestações patológicas ainda nos primeiros anos de uso, comprometendo a durabilidade e a segurança estrutural (Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 5674: 2012). Esse cenário levanta discussões sobre a eficiência na gestão dos recursos públicos e sobre a necessidade de um olhar mais rigoroso para a conservação de prédios escolares, que possuem papel essencial para o desenvolvimento social.

As manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, como fissuras, infiltrações e processos de corrosão, são cada vez mais recorrentes e trazem preocupação quanto à integridade das edificações (ABNT NBR 15575: 2021). Além de representarem riscos à segurança dos usuários, tais anomalias acarretam custos elevados de reparo e podem interromper atividades pedagógicas, prejudicando diretamente a comunidade escolar. Dessa forma, compreender as causas e os efeitos desses problemas se torna fundamental para garantir a funcionalidade e a longevidade das edificações públicas (Mariano, 2020).

No caso do Instituto Federal do Pará – Campus Tucuruí, objeto deste estudo, manifestações patológicas foram identificadas poucos anos após a conclusão da obra, indicando a necessidade de uma avaliação criteriosa do desempenho estrutural. Analisar tais ocorrências não apenas contribui para a preservação do patrimônio público, mas também auxilia na prevenção de novos problemas, orientando futuras intervenções e reforçando a importância da manutenção preventiva.

Nesse contexto, a presente pesquisa se justifica pela necessidade de compreender as causas das anomalias identificadas, verificar se as correções aplicadas foram adequadas e contribuir para a garantia da segurança, funcionalidade e longevidade da edificação. Além disso, o estudo busca fornecer subsídios para a prevenção de manifestações patológicas em estruturas semelhantes, destacando a relevância do projeto, da qualidade da execução e da manutenção preventiva no desempenho de construções em concreto armado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Concreto Armado

Conforme Bastos (2023), o concreto é um material amplamente empregado na construção civil, obtido pela junção de cimento, água e agregados, como areia e brita. Sua versatilidade está na possibilidade de ser moldado enquanto se encontra em estado plástico e, posteriormente, endurecer, adquirindo elevada resistência e durabilidade.

Apesar do concreto ser um material com diversas vantagens, como economia, durabilidade e elevada resistência aos esforços de compressão ele apresenta baixa resistência à tração. Diante dessa limitação, recomenda-se sua combinação com o aço, que possui excelente resistência ao esforço de tração, dando origem assim ao concreto armado.

Assim como todo material, o concreto armado não está imune do processo de degradação ao longo do tempo. Sua durabilidade pode ser afetada por diversos fatores, incluindo a exposição às intempéries, bem como falhas na execução da obra e a aplicação de sobrecargas. Entretanto, quando o projeto e a execução são conduzidos da forma correta e o concreto é especificado e dimensionado de acordo com as condições ambientais a que será submetido, é possível prolongar de forma significativa sua vida útil (Dresh, 2018).

No dimensionamento de estruturas de concreto armado, são considerados os Estados Limites de Serviço (ELS) e os Estados Limites Últimos (ELU). O ELU refere-se à capacidade resistente da estrutura, sendo dimensionado para evitar a ruptura ou colapso, garantindo a segurança da edificação e de seus usuários. Já o ELS está relacionado ao desempenho da estrutura em condições normais de uso, buscando assegurar o conforto dos usuários, a estética e a durabilidade da construção, evitando deformações excessivas, fissuras ou vibrações que possam comprometer a funcionalidade ou a sensação de segurança e garantia. O dimensionamento adequado, considerando ambos os estados limites, é fundamental para a longevidade e o bom desempenho das estruturas de concreto armado

2.2 Desempenho do Concreto Armado

O concreto armado, apesar de enorme durabilidade, não é imune à degradação ao longo do tempo. O desempenho de uma estrutura de concreto armado pode ser afetado por diversos fatores, resultando na diminuição de sua vida útil e na necessidade de intervenções. Essa degradação é um processo natural que ocorre devido à interação do material com o ambiente e a ação de agentes agressivos (Coplas, 2019).

Geralmente, a redução do desempenho de uma estrutura está associada aos seus problemas patológicos, que podem surgir em decorrência de danos e vícios construtivos manifestados ao longo dos anos em determinados edifícios, conforme os processos de

deterioração (Do Carmo, 2003). A exposição a intempéries e agentes agressivos, como dióxido de carbono, cloretos e sulfatos, pode penetrar na estrutura do concreto. Isso desencadeia reações químicas que levam à corrosão da armadura de aço, fissuração e desagregação do concreto.

Além dos fatores ambientais, a qualidade da execução da obra e a especificação inadequada dos materiais são cruciais para a durabilidade do concreto armado. Falhas no cobrimento da armadura, adensamento insuficiente do concreto, cura inadequada e o uso de materiais de baixa qualidade podem acelerar a degradação, comprometendo o desempenho da estrutura ao longo do tempo.

É fundamental reconhecer que a vida útil de uma estrutura de concreto armado não é infinita, e seu desempenho tende a diminuir com o passar dos anos. A compreensão dos mecanismos de degradação e a adoção de medidas preventivas, desde a fase de projeto até a execução e manutenção, são essenciais para garantir a longevidade e a segurança das edificações. Neste contexto, a NBR 15575, conhecida como Norma de Desempenho, desempenha um papel vital.

A ABNT NBR 15575:2021 estabelece critérios e requisitos de qualidade para edificações habitacionais, visando assegurar o conforto e a segurança dos usuários, bem como a durabilidade dos componentes ao longo da vida útil. Embora focada em edificações habitacionais, seus princípios de desempenho, especialmente em relação à durabilidade e à Vida Útil de Projeto (VUP), são aplicáveis e fundamentais para a compreensão do desempenho de qualquer estrutura, incluindo as de concreto armado.

Esta norma complementa outras diretrizes, como a ABNT NBR 6118: 2023, ao enfatizar o desempenho em uso. Ela exige que materiais e sistemas construtivos garantam um nível mínimo de qualidade, considerando aspectos como segurança estrutural, estanqueidade, desempenho térmico e acústico, e durabilidade.

A ABNT NBR 15575:2021 introduz o conceito de Vida Útil de Projeto (VUP), definindo-o como o período em que a edificação e seus sistemas devem atender aos requisitos de desempenho, desde que submetidos à manutenção adequada. Para estruturas de concreto armado, isso implica que o projeto deve considerar a agressividade do ambiente e especificar materiais e processos construtivos que assegurem a durabilidade esperada.

Adicionalmente, a norma reforça a importância da durabilidade, exigindo que as edificações mantenham suas características de desempenho ao longo do tempo. Isso está diretamente relacionado à proteção do concreto e da armadura contra agentes agressivos, como cloretos e dióxido de carbono, que podem provocar corrosão e degradação estrutural.

A manutenibilidade também é abordada pela ABNT 15575:2021, referindo-se à facilidade com que a edificação pode ser mantida e reparada. Para o concreto armado, isso significa que o projeto deve prever acessos para inspeções e reparos, e o manual de uso e manutenção do imóvel deve conter orientações claras para preservar a estrutura.

É importante ressaltar que a vida útil de uma estrutura de concreto armado não é infinita e seu desempenho cai com o passar dos anos. A compreensão dos mecanismos de degradação e a adoção de medidas preventivas, desde a fase de projeto até a execução e manutenção, são essenciais para garantir a longevidade e a segurança das edificações de concreto armado.

2.3 Patologia de Estrutura de Concreto Armado

As manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado são manifestações que podem comprometer não apenas a estética da edificação, mas também sua funcionalidade, estabilidade e segurança. O surgimento dessas anomalias está frequentemente associado a um conjunto de fatores que atuam de forma isolada ou combinada ao longo da vida útil da estrutura.

Para compreender melhor o problema e identificar soluções adequadas, as manifestações patológicas podem ser classificadas conforme sua origem. De acordo com Helene (1992), essas causas podem ser organizadas nas seguintes categorias:

- **Falhas de Projeto:** Erros no dimensionamento das estruturas, detalhamento inadequado das armaduras, especificação incorreta de materiais ou falha em prever as condições de exposição ambiental a que a estrutura será submetida.
- **Falhas de Execução:** Utilização de materiais de baixa qualidade, dosagem incorreta do concreto (traço), contaminação dos agregados, falhas no processo de adensamento e cura do concreto, ou posicionamento incorreto das armaduras.
- **Falhas de Uso e Manutenção:** Exposição da estrutura a sobrecargas não previstas no projeto original, alterações de uso da edificação sem a devida verificação técnica, e ausência de um plano de manutenção preventiva.
- **Ação do Meio Ambiente:** Exposição a agentes agressivos presentes na atmosfera, como cloretos (em zonas marinhas) e dióxido de carbono (em centros urbanos), que desencadeiam processos químicos e físicos de degradação.

A ABNT NBR 6118:2023 estabelece uma classificação para a agressividade do ambiente, conhecida como Classes de Agressividade Ambiental (CAA). Essa classificação é fundamental para o projeto de estruturas de concreto, pois orienta a definição de requisitos de durabilidade,

como a espessura do cobrimento da armadura e a resistência do concreto. A tabela a seguir detalha essas classes.

Tabela 1 – Classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1, 2}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹	Grande
		Industrial ^{1, 2}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1, 2}	Elevado
		Respingos de maré	
<p>1. Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).</p>			

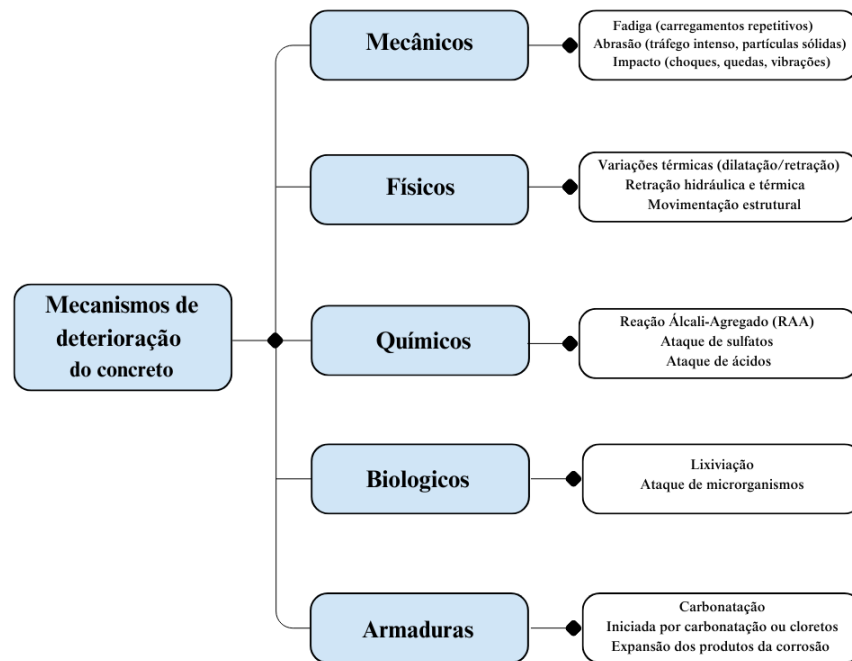
Fonte: Adaptado, ABNT NBR 6118:2023.

De acordo com a Tabela 1, a classificação varia de "Fraca" (Classe I), típica de ambientes rurais e com risco insignificante, a "Muito forte" (Classe IV), encontrada em zonas de respingos de maré e ambientes industriais agressivos, onde o risco de deterioração é elevado. A correta identificação da CAA é o primeiro passo para garantir a vida útil da estrutura, prevenindo manifestações patológicas decorrentes da ação do meio ambiente.

Entre as manifestações patológicas mais comuns em estruturas de concreto armado, destacam-se a corrosão das armaduras, as fissuras e as rachaduras. Além dessas causas, a ABNT NBR 6118:2023 detalha os mecanismos de envelhecimento e deterioração das estruturas de concreto, que são cruciais para a compreensão das manifestações patológicas. Esses mecanismos podem ser classificados em relação ao concreto, à armadura e à estrutura como um todo.

Segundo a ABNT NBR 6118:2023, os principais mecanismos de deterioração do concreto incluem: lixiviação, que remove componentes solúveis e reduz a resistência; expansão por sulfatos e reação álcali-agregado, que geram fissuras e desagregação; carbonatação e ataque por cloretos, que comprometem a proteção da armadura; ataque por ácidos e crescimento de cristais, que degradam o material; e variações volumétricas por temperatura e umidade, que causam tensões e fissuras.

Figura 1 - Mecanismos de deterioração do concreto



Fonte: Autores (2025).

Quanto aos mecanismos preponderantes de deterioração relativos à armadura (ABNT NBR 6118:2023), o principal é a corrosão, geralmente causada pela carbonatação ou penetração de cloretos, que removem a camada passiva do aço e permitem a oxidação. A fadiga, perda de resistência do aço por ciclos repetidos de carregamento, também pode levar à fratura da armadura.

Por fim, os mecanismos de deterioração da estrutura propriamente ditam abrangem a fissuração, que são fendas no concreto causadas por retração, sobrecarga, recalques diferenciais ou corrosão, comprometendo a durabilidade e segurança. Deformações excessivas, que afetam a funcionalidade e estética, e a desagregação, perda de material do concreto, também são relevantes. O arrancamento de cobrimento, que expõe a armadura ao ambiente, acelera a corrosão.

Dentre as várias possíveis manifestações patológicas abordadas que podem ocorrer no concreto armado, o foco será dado às fissuras em vigas, uma vez que foram as únicas manifestações patológicas encontradas na metodologia aplicada ao edifício em questão.

2.3.1 Fissuras

Nesse contexto, as fissuras são manifestações patológicas em forma de cortes e se manifestam como estreitas e alongadas aberturas na superfície do concreto, em geral, são de natureza leve e superficial (Thomaz, 1989). Vale ressaltar, mesmo sendo de natureza leve elas

podem, em certos casos, evoluir para anomalias mais severas se não forem adequadamente monitoradas e tratadas.

A ocorrência de fissuras está diretamente relacionada à superação da capacidade resistente do material frente às tensões internas ou externas a que a estrutura está submetida. Essas tensões podem ser geradas por diversos fatores, como a ação de cargas permanentes e acidentais, variações térmicas, retração do concreto no processo de cura, fluência, recalques diferenciais de fundação, erros de projeto ou execução, além de fenômenos ambientais como a umidade e a exposição prolongada a agentes agressivos.

Para Ripper (1998), a fissuração não deve ser vista apenas como um problema estético, mas como um indicador de que a estrutura está trabalhando sob esforço, seja por retração dos materiais, movimentação térmica ou pela ação de carregamentos.

A classificação com base na amplitude das aberturas é uma das abordagens mais utilizadas na prática da engenharia, pois auxilia na definição do nível de gravidade da manifestação patológica e na escolha do tipo de intervenção necessária. Cabe ressaltar que não há consenso na literatura quanto às nomenclaturas e aos limites de amplitude estabelecidos. Entretanto, segundo Olivari (2003), essa classificação pode ser organizada conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Denominação e abertura das fissuras

Denominação	Abertura da fissura (mm)
Fissura capilar	< 0,2 mm
Fissura	0,2 mm a 0,5 mm
Trinca	0,5 mm a 1,5 mm
Rachadura	1,5 mm a 5,0 mm
Fenda	5,0 mm a 10,0 mm
Brecha	> 10,0 mm

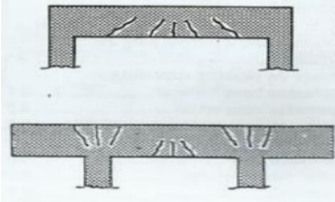
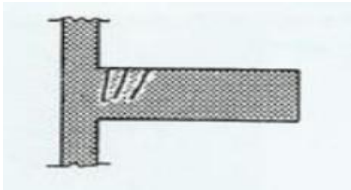
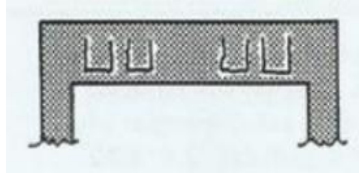

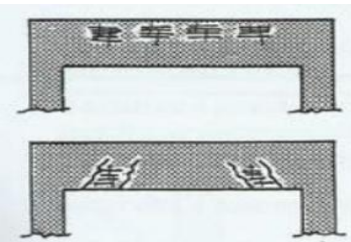
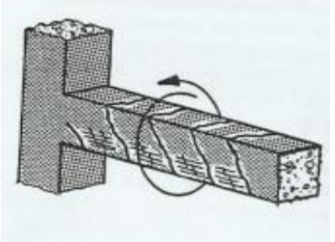
Fonte: adaptado (Olivari, 2003)

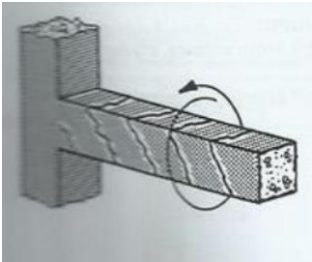
Além da amplitude, outros aspectos devem ser considerados na análise de fissuras, como sua orientação (vertical, horizontal, diagonal), localização (região de tração, compressão, apoios, vãos), evolução no tempo (estável ou ativa) e associação com outros sinais de degradação, como corrosão de armaduras ou desagregação do concreto. A análise desses parâmetros permite identificar com mais precisão a origem das fissuras e definir intervenções adequadas para garantir a segurança, funcionalidade e durabilidade da estrutura.

Os agentes causadores manifestações patológicas como fissuras podem ser variados, o surgimento desses problemas patológicos indica, de maneira geral, a existência de falhas

durante a execução e o controle de qualidade de uma ou mais etapas do processo de construção civil. O Quadro 1 apresenta os tipos de fissuras em vigas e suas principais causas.

Quadro 1 - Tipos e diagnósticos de fissuras em vigas.

Tipo de fissura		Diagnóstico	Exemplo
Flexão (Vigas)	Flexão	Sobrecarga não prevista Armadura insuficiente Ancoragem insuficiente Armadura mal posicionada no projeto ou na execução.	
	Flexão na parte superior (marquises, balcões)	Ancoragem insuficiente Armadura mal posicionada no projeto ou na execução Sobrecargas não previstas Armadura insuficiente.	
	Flexão e escorregamento da armadura	Sobrecargas não previstas Má aderência da armadura ao concreto Concreto com resistência inadequada Ancoragem insuficiente	
Tipo de fissura		Diagnóstico	Exemplo
Cisalhamento (Vigas)		Sobrecarga não previstas Estribos insuficientes Estribos mal posicionados no projeto ou na execução Concreto de resistência inadequada	
Esmagamento do concreto (Vigas)	Esmagamento do concreto	Concreto de resistência inadequada Sobrecargas não previstas	
	Esmagamento do concreto por torção	Sobrecargas não previstas Concreto de resistência inadequada Seção do concreto insuficiente	

Torção	Sobrecargas não previstas Desconsideração de torção de compatibilidade Armadura insuficiente Armadura mal posicionada no projeto ou na execução	
--------	--	---

Fonte: Adaptado (Helene, 1992)

2.4 Recuperação de Manifestações Patológicas em Concreto Armado

A recuperação de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado consiste no conjunto de técnicas e procedimentos aplicados com o objetivo de restabelecer as condições de segurança, durabilidade e funcionalidade da edificação. De acordo com Helene (1992), a etapa de recuperação deve estar sempre vinculada a um diagnóstico preciso, garantindo que não apenas os sintomas, mas principalmente as causas das manifestações patológicas sejam tratadas.

Um processo de recuperação bem-sucedido não se limita a reparar o dano visível, mas busca restaurar ou até mesmo elevar o desempenho da estrutura, garantindo que ela atenda aos requisitos de segurança e vida útil de projeto. A escolha do método de reparo depende diretamente de um diagnóstico preciso, que deve considerar a causa da anomalia, a extensão do dano e as condições de exposição da estrutura (Cánovas, 1988).

2.4.1 Recuperação de Fissuras

As fissuras são a manifestação patológica mais característica e comum das estruturas de concreto. Elas representam um dano que, além do comprometimento estético, pode indicar problemas estruturais e, principalmente, serve como porta de entrada para agentes agressivos, acelerando a deterioração do concreto e a corrosão das armaduras (Souza; Ripper, 1998).

As fissuras passivas ou estáveis são aquelas cuja causa responsável pela geração já deixou de existir. Nestes casos, o objetivo é "fechar" a fissura para restabelecer o monolitismo e a capacidade resistente da peça. A técnica mais comum é a injeção de um material aderente e resistente, como a resina epoxica, que garante o preenchimento do espaço formado entre as bordas da fenda. Já as fissuras ativas ou vivas são aquelas que continuam a se movimentar. Tentar restabelecer o monolitismo com um material rígido faria a peça voltar a se abrir.

Portanto, para fissuras ativas, deve-se promover a vedação, cobrindo os bordos externos com um material elástico e não resistente, como um selante. A ideia é criar uma obstrução

macia, que admita e conviva com a anomalia, impedindo, no entanto, a entrada de agentes agressivos (Souza; Ripper, 1998).

De acordo com Marcelli (2007), é possível optar pelo reforço estrutural para sustentar a sobrecarga existente, ou preservar a estrutura original e reduzir a carga sobre ela. Esta última opção é viável apenas se as condições de uso permitirem e não conflitarem com as diretrizes da ABNT para a situação específica. O autor também sugere que, ao escolher a redução da sobrecarga em vez do reforço, deve-se avaliar a necessidade de preencher as fissuras, considerando a agressividade do ambiente, conforme detalhado na Tabela 3, que apresenta as recomendações de tratamento para fissuras em diferentes ambientes e espessuras.

Tabela 3 - Roteiro básico para o tratamento de fissuras.

Ambiente Interno Não Agressivo			
Tipo	Espessura (mm)	Condição	Tratamento
Abertura	Menor que 0,3	-	Dispensa
Abertura	Maior que 0,3	Passiva	Injetar resina epóxi
Abertura	Maior que 0,3	Ativa	Tratar com selante

Ambiente Agressivo e Úmido			
Tipo	Espessura (mm)	Condição	Tratamento
Abertura	Menor que 0,1	-	Dispensa
Abertura	Maior que 0,1	Passiva	Injetar resina epóxi
Abertura	Maior que 0,1	Ativa	Tratar com selante

Fonte: Adaptado (Marcelli, 2017).

2.4.1.1 Técnica de injeção de fissuras.

A técnica de injeção é empregada para o tratamento de fissuras passivas (estáveis), cujo objetivo principal é a reconstituição estrutural do elemento. O processo consiste na introdução de um material fluido de alta resistência sob baixa pressão, visando o preenchimento completo da fenda para restaurar a homogeneidade e a capacidade de transmissão de esforços (Souza; Ripper, 1998). As resinas à base de epóxi são os materiais mais indicados para esta finalidade, devido à sua elevada aderência ao substrato de concreto e às suas altas resistências mecânicas. Em situações em que o reparo não possui finalidade estrutural, como o simples preenchimento de vazios, podem ser utilizadas alternativas como caldas de cimento aditivadas. A execução

correta do procedimento exige um controle rigoroso, incluindo a preparação da superfície, a instalação de bicos injetores e o monitoramento da pressão para não causar danos secundários.

Figura 2 - Exemplo de injeção por pistola de aplicação manual e cartucho



Fonte: Souza; Ripper, (1998).

2.4.1.2 Técnica de selagem das fissuras.

Diferentemente da injeção, a selagem é a técnica recomendada para fissuras ativas, onde a principal preocupação não é restaurar a capacidade resistente, mas sim garantir a estanqueidade da abertura, impedindo a infiltração de água e outros agentes agressivos. O método consiste na aplicação de um material com alta deformabilidade e baixo módulo de elasticidade, como selantes à base de poliuretano ou silicone. Estes produtos são capazes de absorver as movimentações da fissura sem se romper, mantendo a junta vedada e, assim, protegendo a estrutura e prolongando sua vida útil. O procedimento geralmente envolve o alargamento superficial da fissura para criar um reservatório com geometria adequada para o selante.

A seleção do selante e a correta execução da junta são cruciais para a eficácia do sistema. A escolha do material deve considerar fatores como a amplitude de movimentação esperada, a exposição a intempéries e a compatibilidade química com o substrato de concreto. Além disso, a geometria do reservatório, definida pela sua largura e profundidade, deve ser cuidadosamente controlada. A relação entre essas duas dimensões, conhecida como "fator de forma", é determinante para o desempenho do selante. Um fator de forma inadequado pode induzir tensões excessivas no material durante a movimentação da fissura, resultando em falhas de aderência ou coesão e, conseqüentemente, no comprometimento da estanqueidade que se buscava obter.

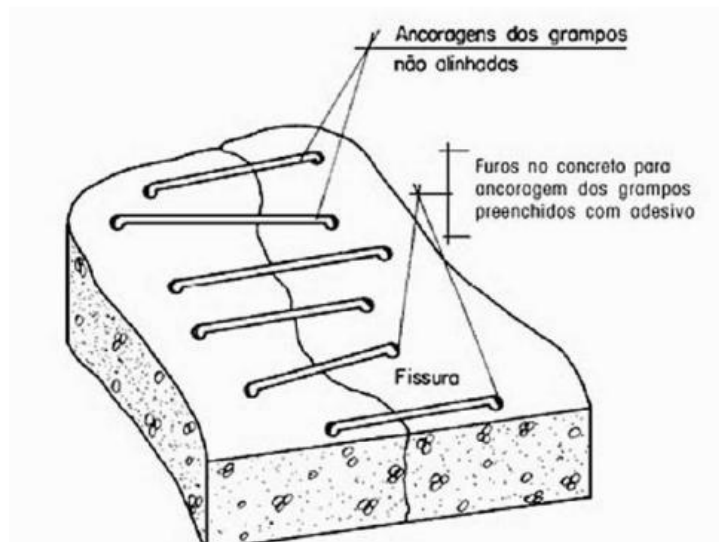
2.4.1.3 Técnica de costura das fissuras.

A costura, também conhecida como grampeamento, é um método de reforço estrutural aplicado em fissuras passivas de maior gravidade, onde a simples injeção de resina não é

suficiente para garantir a transferência de tensões. A técnica consiste em executar pequenos cortes ou sulcos transversais à fissura, nos quais são inseridos grampos de aço (vergalhões). Estes grampos são então fixados com argamassa de alta resistência ou resina epóxi, "costurando" as duas bordas da fenda e restabelecendo a continuidade estrutural. Frequentemente, a técnica de costura é utilizada de forma complementar à injeção, garantindo tanto o preenchimento interno da fissura quanto a transferência de esforços na superfície (Souza; Ripper, 1998).

O sucesso da técnica de costura depende de um dimensionamento preciso dos grampos e de uma execução rigorosa. O diâmetro, o comprimento e o espaçamento dos grampos de aço devem ser calculados por um engenheiro especialista para garantir que a transferência de tensões de tração através da fissura seja efetiva. É fundamental que o comprimento de ancoragem dos grampos em cada lado da fissura seja suficiente para evitar o arrancamento. Durante a execução, a profundidade dos sulcos deve ser adequada para assegurar o recobrimento mínimo da armadura do grampo, protegendo-a contra a corrosão e futuras manchas na superfície do concreto. Uma falha em qualquer um desses aspectos pode tornar o reforço ineficaz e não impedir a reabertura da fissura sob novas solicitações de carga.

Figura 3 - Reparo de uma fissura por costura



Fonte: Souza; Ripper, (1998)

2.5 Análise Estrutural

2.5.1 Introdução a Softwares de Análise Estrutural

O avanço contínuo da engenharia estrutural, com projetos cada vez mais arrojados e otimizados, tem sido diretamente impulsionado pela evolução dos softwares de cálculo. A complexidade das estruturas modernas exige ferramentas computacionais que garantam alta precisão e confiabilidade, tornando a análise computacional um pilar para o desenvolvimento de soluções seguras e economicamente viáveis.

Esses programas atuam como ferramentas de apoio essenciais para o engenheiro, permitindo a simulação do comportamento estrutural sob diversas condições e a verificação de conformidade com as normas técnicas. A capacidade de testar rapidamente múltiplas alternativas de projeto otimiza o uso de materiais e eleva a qualidade final da estrutura. É crucial ressaltar que o software é uma ferramenta que potencializa o conhecimento do profissional, não o substituindo (PEREIRA, 2008).

Embora existam no mercado diversos softwares voltados para projetos de edificações convencionais, eles podem apresentar limitações diante de estruturas com geometrias complexas ou comportamentos não-lineares, como é o caso de edifícios em paredes de concreto. Para superar esses desafios, a prática comum é recorrer a softwares de propósito geral baseados no Método dos Elementos Finitos (MEF), que oferecem maior flexibilidade e poder de análise.

2.5.2 Softwares Baseados no Método dos Elementos Finitos (MEF)

Para o enfrentamento de desafios em projetos estruturais que envolvem geometrias complexas, comportamentos não-lineares ou a necessidade de análises mais aprofundadas, os softwares de propósito geral baseados no Método dos Elementos Finitos (MEF) emergem como ferramentas indispensáveis. Diferentemente de programas desenvolvidos para tipologias estruturais convencionais, essas plataformas oferecem uma flexibilidade e um poder computacional significativamente maiores, permitindo a modelagem e a análise de uma vasta gama de sistemas estruturais, desde os mais simples até os de alta complexidade, como pontes, barragens e edifícios com características especiais.

A natureza de propósito geral desses softwares implica que o engenheiro possui um controle mais granular sobre o processo de análise. Isso se traduz na necessidade de configurar manualmente diversos parâmetros, como as propriedades dos materiais, as condições de contorno, os tipos de elementos finitos a serem utilizados e as combinações de carregamento. Embora essa característica demande um conhecimento técnico mais aprofundado por parte do usuário, ela, em contrapartida, oferece total transparência e controle sobre cada etapa da

simulação, garantindo que as premissas e os resultados estejam alinhados com as necessidades específicas do projeto e as exigências normativas.

A capacidade de simular com precisão o comportamento de sistemas estruturais complexos é o grande diferencial dessas ferramentas. Elas permitem uma investigação detalhada de fenômenos que seriam inviáveis ou extremamente onerosos de serem analisados por métodos convencionais ou softwares mais automatizados. A aplicação do MEF possibilita a consideração de efeitos como a interação solo-estrutura, flambagem, análise dinâmica e não-linearidade física e geométrica, fornecendo subsídios cruciais para a tomada de decisões de projeto e para a garantia da segurança e desempenho da estrutura ao longo de sua vida útil.

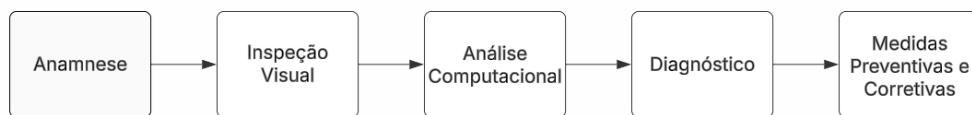
3 METODOLOGIA

3.1 Procedimentos Metodológicos

A presente pesquisa, de natureza aplicada, adotou uma abordagem metodológica qualitativa e descritiva, configurando-se como um estudo de caso do edifício do IFPA – Campus Tucuruí. Com isso, o objetivo foi analisar as manifestações patológicas em vigas de concreto armado, com foco na identificação, diagnóstico e proposição de medidas de intervenção.

A metodologia foi estruturada em etapas sequenciais, que incluíram: o levantamento preliminar de informações e documentos técnicos; a inspeção em campo para identificação e registro das manifestações patológicas; a análise computacional para modelagem e simulação da estrutura; o diagnóstico com a classificação e interpretação das causas; e, por fim, a proposta de intervenção com a sugestão de medidas corretivas e preventivas. A Figura 4 ilustra o fluxo completo dessas etapas.

Figura 4 - Esquema metodológico da pesquisa.



Fonte: Autores (2025).

O objeto central deste estudo é uma viga de concreto armado com geometria em cruz, parte integrante da estrutura do prédio principal do IFPA - Campus Tucuruí. Esta viga foi selecionada para análise devido à sua representatividade em relação aos elementos estruturais do edifício e à presença de manifestações patológicas que demandavam investigação aprofundada. A Figura 5 apresenta uma vista geral da viga, contextualizando sua localização e características estruturais no ambiente de estudo.

Figura 5 - Formato das vigas analisadas.



Fonte: Autores, 2025.

3.3.1 Levantamento Preliminar e Inspeção em Campo

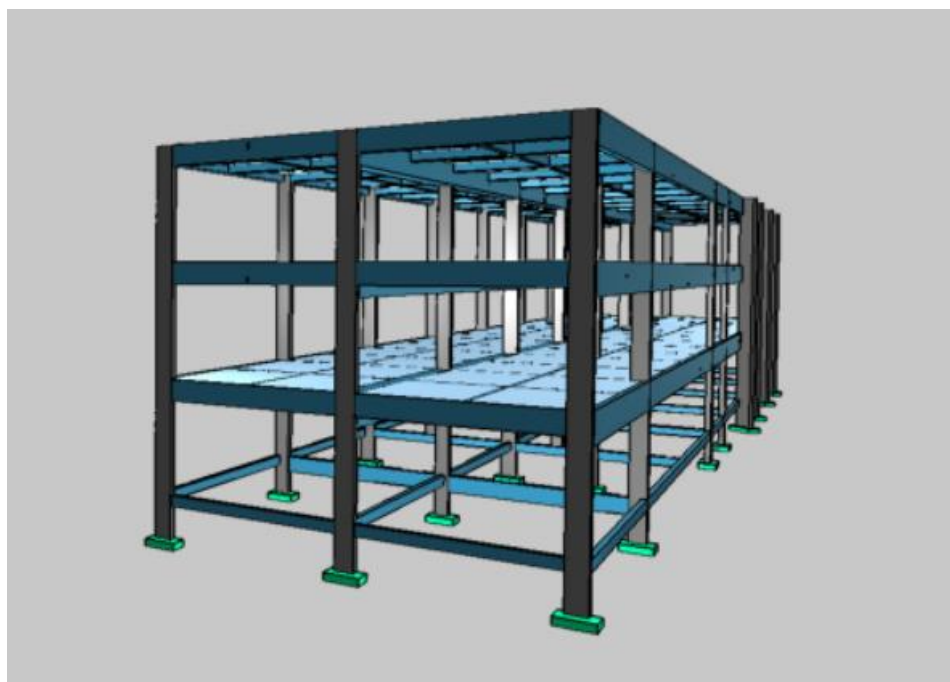
Inicialmente, realizou-se um levantamento de informações por meio de entrevista com a engenheira responsável pelo campus e da análise de documentos técnicos, como os projetos arquitetônico e estrutural. Paralelamente, foi conduzida uma revisão bibliográfica sobre manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, com base em normas técnicas e estudos de caso, para fornecer o embasamento teórico necessário à análise.

A coleta de dados ocorreu por meio de uma inspeção visual sensitiva no dia 25 de janeiro de 2025, focada nas vigas dos três pavimentos do edifício. Utilizou-se uma câmera fotográfica para registro e um fissurômetro para a medição das aberturas das fissuras. As vigas foram identificadas (V1, V2, V3 e V4), e as fissuras, demarcadas com lápis para facilitar o mapeamento. Para garantir maior precisão, foram realizadas três medições em pontos distintos de cada fissura.

3.3.2 Análise Computacional e Simulação Estrutural

Para aprofundar a compreensão do comportamento estrutural e sua relação com as anomalias observadas, foi realizada uma análise computacional utilizando o software TQS. Esta etapa consistiu na criação de um modelo 3D da estrutura do edifício, conforme visto na Figura 6, alimentado com os dados dos projetos originais.

Figura 6 - Modelagem da estrutura em 3D



Fonte: Eberick, 2025.

As modelagens dos sistemas estruturais incluíram todos os elementos da estrutura da edificação como vigas, pilares e lajes, com os devidos carregamentos impostos pelas propostas arquitetônicas. Foram verificados os estados limites último e de serviço, sendo adotadas as diretrizes da norma ABNT NBR 6118:2023, assim como na determinação dos carregamentos e seus coeficientes de majoração e ponderação. Para as dimensões e cobrimentos das armaduras foram considerados os valores de projeto.

Uma vez que o modelo 3D foi estabelecido, foram inseridos os parâmetros dos materiais e os carregamentos, em conformidade com as prescrições da norma ABNT NBR 6118:2023 (Projeto de Estruturas de Concreto — Procedimento) e da ABNT NBR 6120:2019 (Ações para o Cálculo de Estruturas de Edificações). Foram definidos:

- Resistência do Concreto (f_{ck}): Adotou-se o valor de 20 MPa, com base nos projetos.
- Aço das Armaduras: Considerou-se o aço tipo CA-50 e CA-60, conforme especificado para os elementos.
- Cargas Permanentes (g): Incluíram o peso próprio da estrutura, de revestimentos (piso, reboco), paredes de alvenaria e outros elementos construtivos fixos.
- Cargas Acidentais (q): Foram aplicadas as sobrecargas de utilização de acordo com o uso de cada ambiente (ex: 300 kgf/m² para salas de aula e corredores), conforme a NBR 6120.
- Classe de agressividade II: Moderada em ambiente urbano.

Após o processamento do modelo, o software Eberick forneceu os resultados dos esforços e deformações para cada elemento estrutural. A análise focou em dois aspectos principais, alinhados aos Estados Limites. Análise do Estado Limite Último (ELU) verificou-se a segurança da estrutura frente à ruptura. Foram analisados os diagramas de momentos fletores e esforços cortantes nas vigas V1, V2, V3 e V4. O objetivo foi comparar os esforços solicitantes calculados com a capacidade resistente das seções de concreto e da armadura existente, identificando pontos de concentração de tensão que pudessem justificar a origem de fissuras de natureza estrutural.

Já a análise do Estado Limite de Serviço (ELS) foi a verificação mais crítica para o diagnóstico das manifestações patológicas observadas. Analisaram-se os deslocamentos verticais (flechas) nas vigas. Os valores de flecha calculados pelo Eberick foram comparados com os limites normativos de aceitabilidade sensorial (visuais), definidos pela ABNT NBR 6118:2023 como $L/250$.

3.3.3 Diagnóstico das Manifestações Patológicas

Após a conclusão da análise computacional, a etapa de diagnóstico foi iniciada, consistindo na correlação entre os dados coletados em campo e os resultados obtidos na simulação estrutural. O objetivo desta fase foi identificar suas prováveis causas e compreender os mecanismos de degradação atuantes. O processo de diagnóstico foi desenvolvido em etapas sequenciais.

Na análise comparativa, os resultados da simulação no software Eberick, incluindo diagramas de momentos fletores e mapas de deformações (flechas), foram confrontados com o mapeamento das fissuras levantado na inspeção visual. Avaliou-se a correspondência entre a localização e a orientação das fissuras e as regiões de maior concentração de tensões ou deformações indicadas pelo modelo computacional.

Na classificação das fissuras foi feita com base na análise comparativa e no embasamento teórico da revisão bibliográfica, as anomalias foram categorizadas e suas prováveis causas foram interpretadas, considerando falhas de projeto, execução ou manutenção.

3.2 Caracterização da Área de Estudo

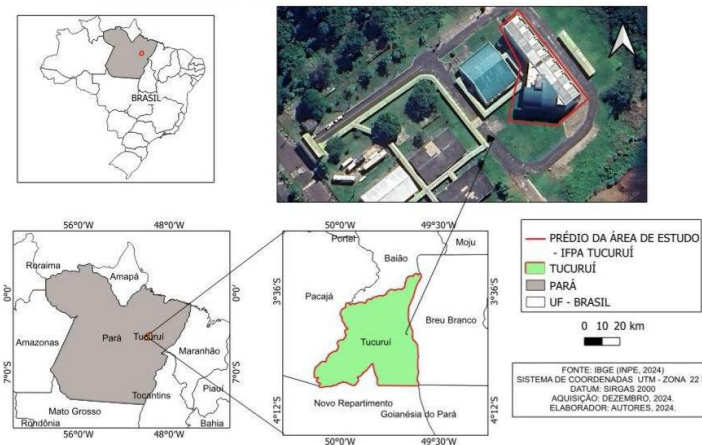
O município de Tucuruí, situado na mesorregião do Sudeste Paraense, é um importante polo regional do estado. Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), sua área totaliza 2.084,289 km² e sua localização geográfica é definida pelas coordenadas 3,77° de latitude Sul e 49,67° de longitude Oeste. A região apresenta clima equatorial, com altas temperaturas, elevada umidade relativa do ar e regime pluviométrico intenso ao longo do ano. Essas condições configuram um ambiente de moderada agressividade para estruturas de concreto armado, favorecendo processos de deterioração.

Fundado em 1781, o município possui relevância econômica, social e energética para a região, destacando-se pela presença da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, uma das maiores do país. Além do setor energético, a cidade conta com atividades industriais e comerciais, sendo também um grande polo educacional da região abrigando campi de importantes instituições de ensino, como a Universidade Federal do Pará (UFPA), a Universidade do Estado do Pará (UEPA) e o Instituto Federal do Pará (IFPA).

Segundo o Museu Virtual de Tucuruí (s.d), a história da educação na cidade passou por diversas fases, desde um ensino precário antes da usina até a chegada do ensino superior em 1997, com a criação do Núcleo de Tucuruí da UFPA. De acordo com o NAPNE IFPA (2010), a cidade também expandiu suas opções educacionais com a chegada do IFPA - campus Tucuruí, inicialmente como Unidade de Ensino Descentralizada de Tucuruí (UNEd), em 1995. A

presença dessas instituições reforça o papel de Tucuruí como um polo de desenvolvimento educacional e tecnológico na região, sendo o campus do IFPA o objeto de estudo (Figura 7) deste trabalho.

Figura 7 - Localização da área de estudo.



Fonte: Autores (2025).

Inaugurado em 2016, o novo prédio do IFPA – Campus Tucuruí tem se destacado como um importante centro de educação e pesquisa da região. O edifício em análise (Figura 8), construído em concreto armado, possui 1.641,35 m² de área construída, distribuídos em térreo e 2 andares. De acordo com o Sistema Integrado de Monitoramento e Controle de Obras (SIMEC), a obra foi iniciada em 2012, ficou paralisada aproximadamente durante quase um ano, sendo retomada em 2013 e concluída em maio de 2016.

Figura 8 - Fachadas posterior do edifício



Fonte: Autores (2025).

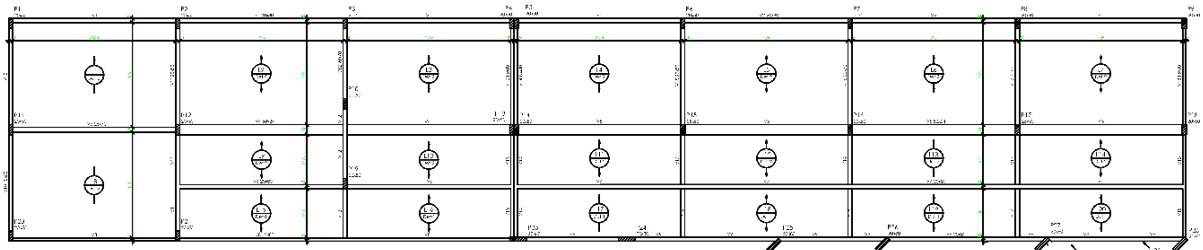
O térreo do edifício abriga o refeitório do campus, proporcionando um espaço para alimentação dos alunos e servidores. O 1º pavimento destina-se às atividades acadêmicas e administrativas, contando com cinco salas de aula, salas administrativas e banheiros. Já o 2º pavimento é composto por 6 salas de aula, sala dos professores e banheiros, oferecendo um ambiente adequado para o ensino e aprendizados. Além das áreas internas, o edifício possui uma varanda mecânica, onde se localiza o reservatório de água, garantindo o abastecimento do campus.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

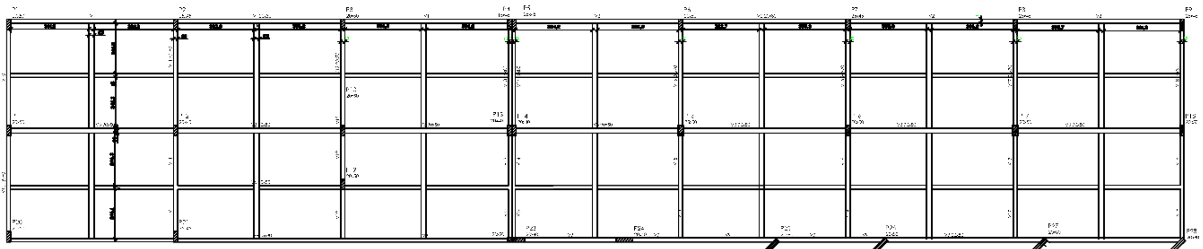
4.1 Análise Preliminar e Levantamento de Informações

A análise comparativa entre o projeto estrutural original e o As Built do edifício revelou divergências significativas na execução. Essas modificações, que possivelmente alteram o comportamento estrutural da edificação, são apresentadas visualmente na Figura 9, que ilustra as principais diferenças entre o projeto e a configuração construída.

Figura 9 - Comparativo entre o projeto estrutural original e o As built.
Projeto original



Projeto As Built



Fonte: Autores (2025).

Conforme a Figura 9 e a análise documental, identificou-se a presença de vigas em cruz em todas as salas, elementos ausentes nas plantas originais. Além disso, foram observadas mudanças nas dimensões das seções de vigas e pilares em relação ao projeto inicial. A estrutura

também apresentou eliminação e acréscimo de vigas, modificando o esquema estrutural previsto. Constatou-se ainda a diminuição dos vãos de lajes e o deslocamento de pilares de suas posições originais.

Essas múltiplas discrepâncias entre o projeto e a execução *as-built* representam alterações substanciais no sistema estrutural do edifício. Tais modificações, não previstas no dimensionamento inicial, impactam diretamente o fluxo de cargas e a distribuição de tensões, sendo fatores relevantes para a compreensão das manifestações patológicas observadas na edificação.

Diante da ocorrência dessas anomalias, que incluíam fissuras visíveis de diversas tipologias em elementos estruturais e não estruturais, foi informado, durante entrevista com a engenheira responsável pelo campus, um laudo técnico foi elaborado em 2019 por um engenheiro civil. Este documento teve como objetivo identificar as manifestações patológicas, avaliar a segurança estrutural do edifício e propor intervenções. Embora reparos tenham sido realizados nas áreas afetadas após o laudo, é importante notar que essas intervenções não incluíram reforços estruturais. A Figura 10 ilustra visualmente algumas das manifestações patológicas identificadas no período pós-inauguração, evidenciando a natureza dos problemas que motivaram a avaliação técnica inicial.

Figura 10 - Manifestação patológica identificadas após a inauguração.



Fonte: Acervo do IFPA.

Este levantamento inicial foi fundamental para contextualizar o problema das manifestações patológicas no edifício. O histórico de fissuras observadas, desde o período pós-inauguração, indica que as anomalias podem ter sua origem em deficiências de projeto ou execução. Adicionalmente, a ausência de um plano de manutenção preventiva, conforme preconizado pela ABNT NBR 5674:2024, foi identificada como um fator que pode ter contribuído para o retorno do processo de degradação. Este cenário inicial já sinalizava a

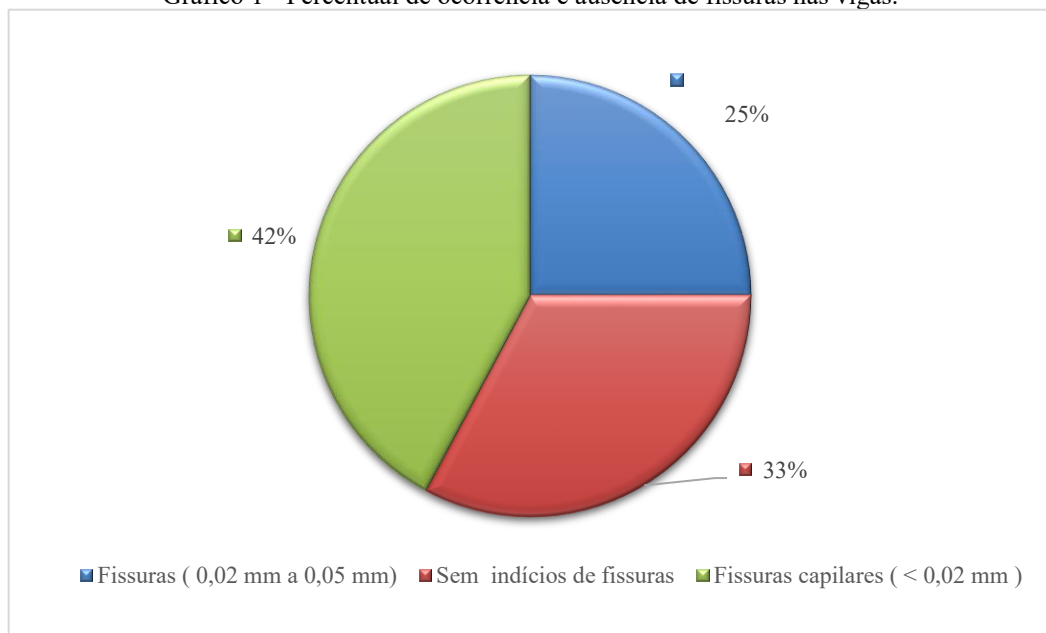
necessidade de uma investigação aprofundada para correlacionar os danos visíveis com as possíveis causas subjacentes.

4.2 Caracterização e Mapeamento das Manifestações Patológicas

A inspeção visual detalhada das manifestações patológicas revelou padrões distintos de ocorrência de fissuras em diferentes pavimentos do edifício. O pavimento térreo não apresentou fissuras, mas em contraste, o segundo pavimento concentrou o maior número de fissuras. Esse fato é particularmente interessante, visto que a carga estrutural principal é suportada pelo térreo, e a expectativa inicial poderia ser de maior incidência de fissuras nos níveis inferiores devido ao acúmulo de tensões. A alta concentração de fissuras no segundo pavimento pode indicar a presença de fatores específicos de carregamento, assentamento diferencial, ou problemas construtivos localizados que merecem investigação aprofundada.

Das 64 vigas inspecionadas, 27 apresentaram fissuras capilares (abertura < 0,2 mm) e 16 exibiram fissuras com aberturas entre 0,2 mm e 0,3 mm. Notavelmente, 21 vigas não apresentam fissuras. O mapeamento concentrou-se nas vigas dispostas em cruz, contabilizando 43 vigas afetadas, dos quais 17 pertencem ao primeiro pavimento e 26 ao segundo. O Gráfico 1 apresenta a distribuição percentual dessas ocorrências, evidenciando que a maioria corresponde a fissuras capilares, enquanto as fissuras mais abertas representam cerca de um terço do total.

Gráfico 1 - Percentual de ocorrência e ausência de fissuras nas vigas.



Fonte: Autores (2025).

A inspeção visual sensitiva identificou fissuras em diversos elementos estruturais da edificação, como as vigas V1, V2, V3 e V4. Para uma análise detalhada, foram classificadas e quantificadas as fissuras da sala de aula 10, localizada no segundo pavimento. A Tabela 4 resume os principais danos encontrados nesta sala, incluindo sua localização, tipo, quantidade e abertura média. É importante ressaltar que, embora o mapeamento em anexo mostre todas as fissuras identificadas na edificação, a classificação detalhada foi realizada apenas para a sala 10 neste momento.

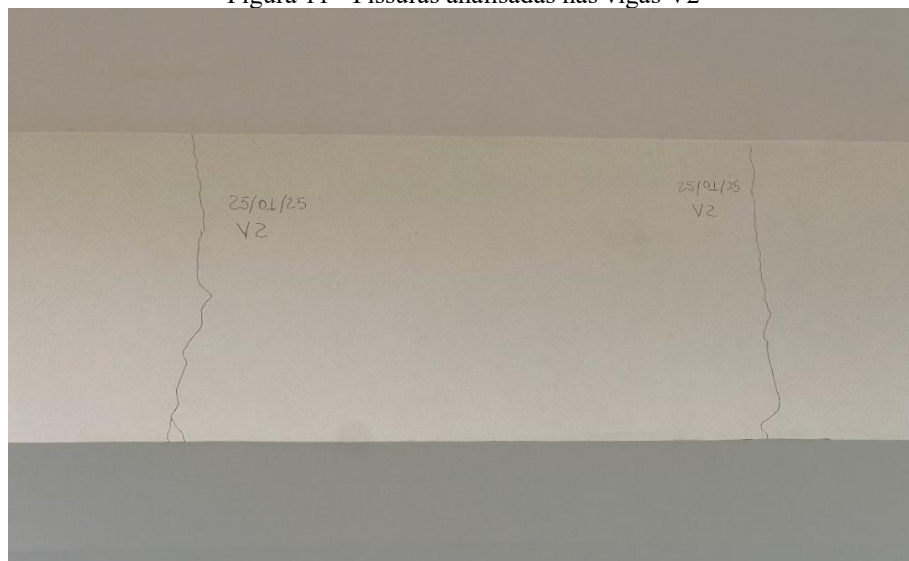
Tabela 4 - Classificação das fissuras

Viga	Tipo de Fissura	Quantidade de fissuras	Abertura média (mm)
V1	Fissura capilar	4 unid.	0,1
V2	Fissura	2 unid.	0,2
V3	Fissura capilar	3 unid.	0,1
V4	Fissura capilar	3 unid.	0,1

Fonte: Autores (2025).

A Figura 11, exemplifica a ocorrência dessa falha que consiste em duas fissuras capilares que surgem na região central do vão das vigas. Esse tipo de fissura geralmente indica problemas de flexão devido a uma sobrecarga ou erro de projeto e/ou execução.

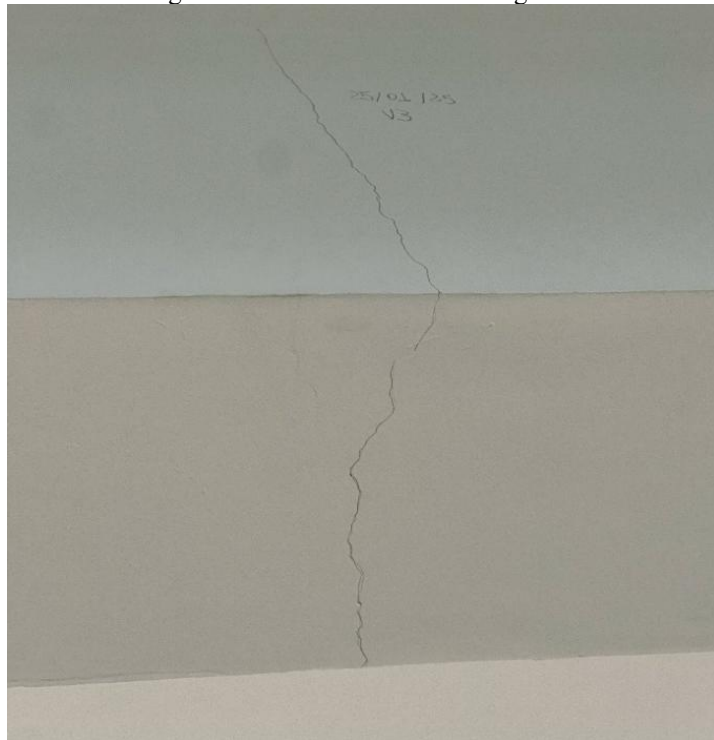
Figura 11 - Fissuras analisadas nas vigas V2



Fonte: Autores, 2025.

A Figura 12 apresenta um exemplar de uma das fissuras próxima dos apoios, cuja manifestação patológica se estende, contornando as faces laterais da viga. Este padrão indica uma propagação tridimensional da fissura.

Figura 12 - Fissura analisada na viga V3.



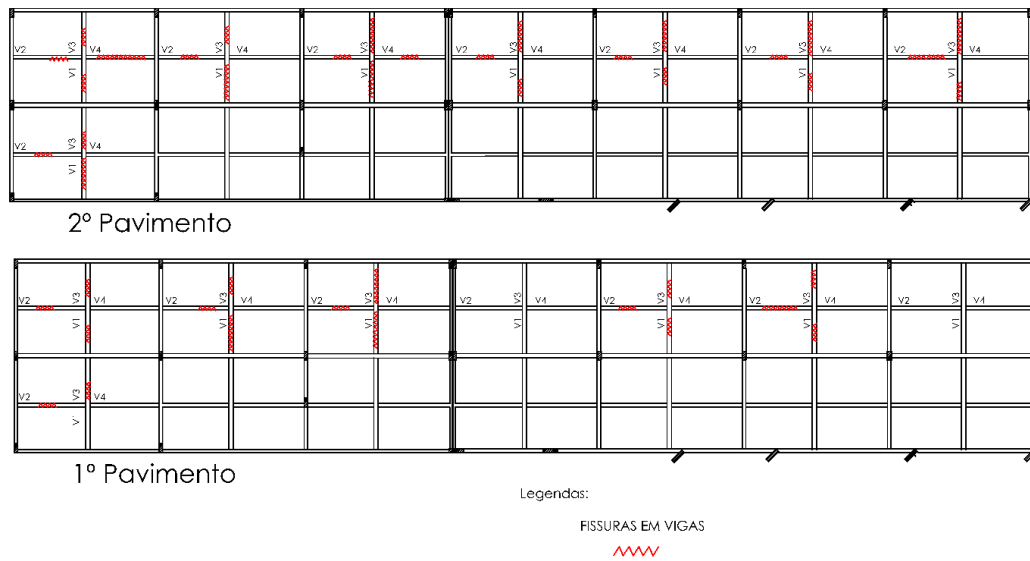
Fonte: Autores, 2025.

Um aspecto relevante observado durante a inspeção foi a ausência de fissuras na maioria das vigas classificadas como V4. Todas as vigas V4 estão posicionadas de forma similar na estrutura, o que pode indicar que seu dimensionamento, execução ou as condições de contorno a que estão submetidas as tornam menos suscetíveis a manifestações patológicas.

Para complementar a análise das fissuras e fornecer uma compreensão mais aprofundada das anomalias, foi criado um mapa de danos e um modelo 3D da viga em cruz. Essas ferramentas visuais permitem uma análise espacial das manifestações patológicas e a correlação com o comportamento estrutural.

O mapa de danos da edificação, apresentado na Figura 13, revela a distribuição detalhada das vigas que apresentam fissuras em todos os pavimentos. Através de uma análise visual do mapa, é possível observar que a concentração de fissuras é nitidamente maior no segundo pavimento. Essa predominância sugere que tal andar esteve sujeito a maiores esforços ou possui menor capacidade de resistência.

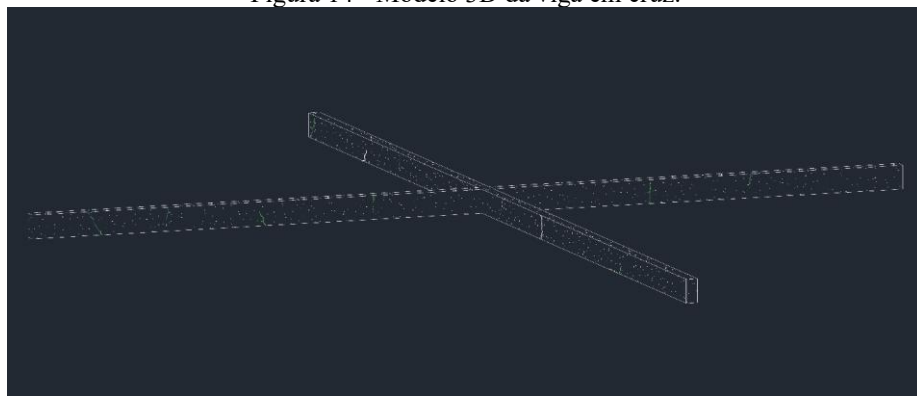
Figura 13 - Mapa de danos da edificação.



Fonte: Autores (2025).

O modelo 3D da viga em cruz da Sala de aula 10 representada na Figura 14 mostra uma perspectiva detalhada de um elemento estrutural específico, permitindo uma análise micro das fissuras. Neste modelo, as fissuras capilares são representadas em verde, enquanto as fissuras de maior abertura são representadas em branco. Este modelo ilustra a geometria da viga e a conformação das fissuras, fornecendo uma maior compreensão sobre a natureza dessas anomalias.

Figura 14 - Modelo 3D da viga em cruz.



Fonte: Autores (2025).

4.3 Análise computacional do sistema estrutural

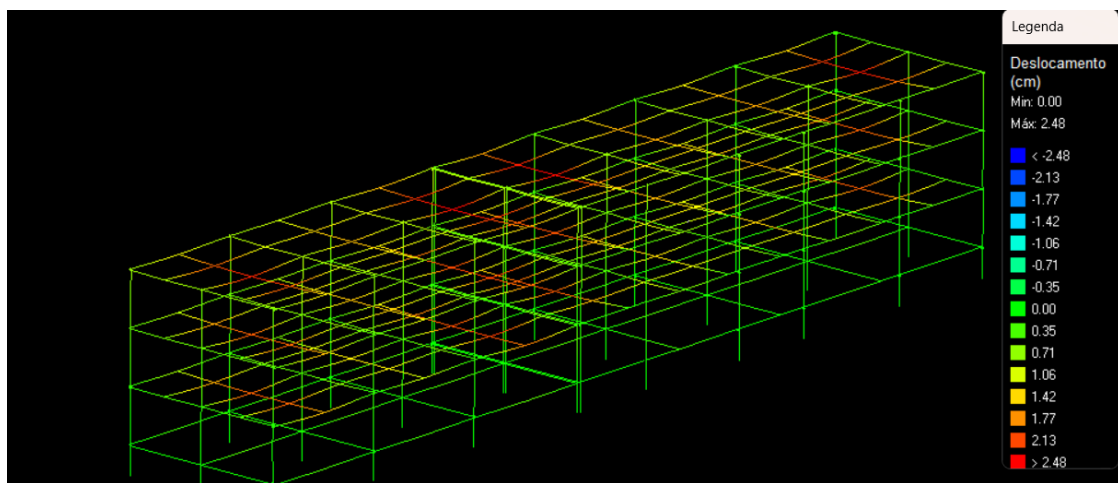
Para aprofundar o diagnóstico das manifestações patológicas, foi realizada uma análise computacional por meio do software Eberick. A simulação permitiu verificar o comportamento da estrutura em duas condições críticas: o Estado Limite de Serviço (ELS), focado nas

deformações em condições de uso normal, e o Estado Limite Último (ELU), focado na segurança da estrutura.

4.3.1 Análise do Estado Limite de Serviço (ELS)

No âmbito do ELS, a análise concentrou-se na verificação dos deslocamentos verticais (flechas), pois deformações excessivas em serviço são uma das principais causas de fissuras. A Figura 15 apresenta o pórtico unifilar com a deformada da estrutura para os deslocamentos imediatos, ou seja, aqueles que ocorrem no momento da aplicação das cargas.

Figura 15 - Pórtico Unifilar: Deslocamentos Imediatos no ELS

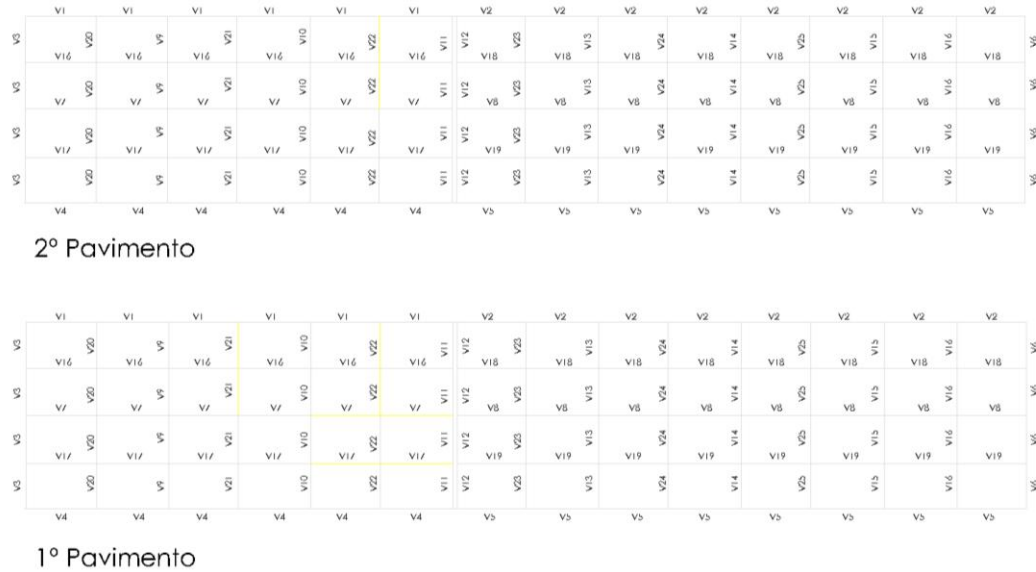


Fonte: Eberick (2025).

Conforme apresentado na Figura 15, a deformada inicial da estrutura sob cargas imediatas já evidencia os pontos de maior deslocamento. Embora estes forneçam uma visão preliminar, a verificação normativa, conforme a ABNT NBR 6118:2023, exige a consideração da flecha total, que incorpora os efeitos da fluência do concreto ao longo do tempo. Para garantir a aceitabilidade sensorial e evitar manifestações patológicas, a flecha total não deve ultrapassar o limite de $L/250$. A análise da flecha total revelou que diversas vigas em ambos os pavimentos excederam este limite normativo, confirmando que a estrutura apresenta deformações excessivas em condições de serviço.

A análise computacional identificou diversas vigas com deformações acima do recomendado. Para contextualizar espacialmente esses resultados, a Figura 16 exibe a planta de formas de ambos os pavimentos, identificando a nomenclatura de todas as vigas conforme o modelo do software e destacando em amarelo aquelas que se mostraram mais críticas durante a simulação.

Figura 16 - Planta de Formas do 1º e 2º Pavimento com Nomenclatura das Vigas



Fonte: Autores (2025).

Os valores numéricos específicos das flechas totais para as vigas mais relevantes são descritos na Tabela 5, onde detalha os deslocamentos calculados e os compara com o limite normativo, evidenciando os pontos da estrutura que não atendem aos requisitos de desempenho.

Tabela 5 - Resumo das Flechas Totais Críticas (ELS)

Viga	Pavimento	Vão analisado	Flecha calculada (cm)	Relação (L/250)	Status
V7	1º	3	3,26	L/249	No limite
V17	1º	3	3,33	L/245	Não atende
V21	1º	2	2,33	L/229	Não atende
V22	1º	2	3,71	L/143	Crítico
V22	2º	2	3,57	L/149	Crítico

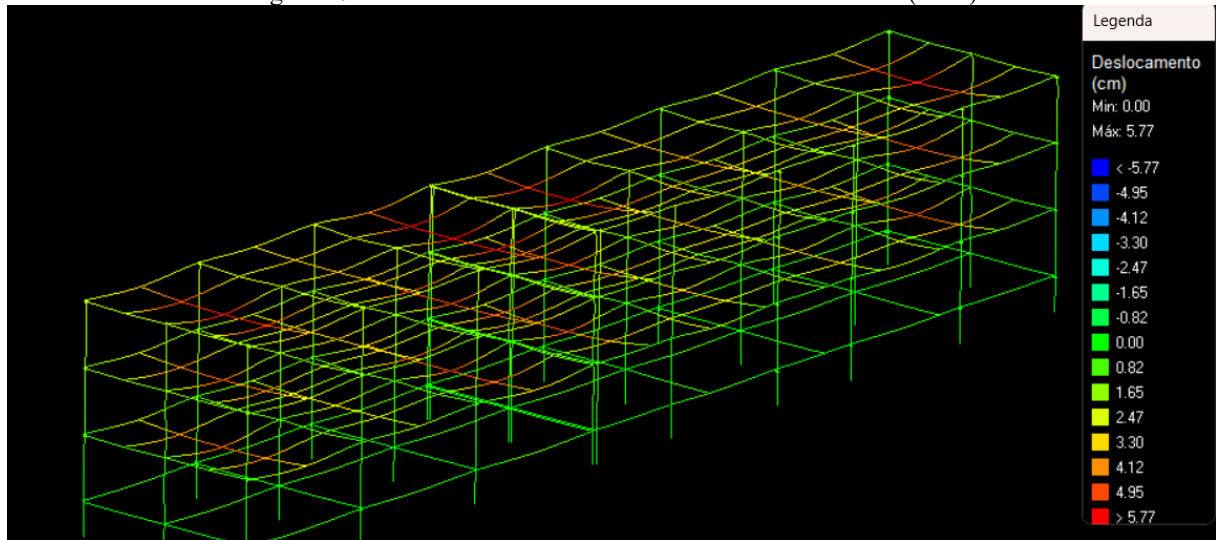
Fonte: Autores, (2025)

A análise confirma que a viga V22 é o elemento mais crítico da estrutura do ponto de vista de serviço. Sua deformação excessiva em ambos os pavimentos, atingindo quase o dobro do valor permitido pela norma, é um fator determinante para o surgimento das manifestações patológicas observadas em campo.

4.3.2 Análise do Estado Limite Último (ELU)

No Estado Limite Último, a análise visa garantir a segurança da estrutura frente à ruína. Para isso, foram verificados a estabilidade global, por meio dos deslocamentos sob cargas majoradas, e os esforços solicitantes nos elementos estruturais. A Figura 17 apresenta a deformada global da estrutura, a escala de cores indica os deslocamentos, que atingem um máximo de 5,77 cm nas áreas mais críticas (em vermelho).

Figura 17 - Deformada da Estrutura no Estado Limite Último (ELU)



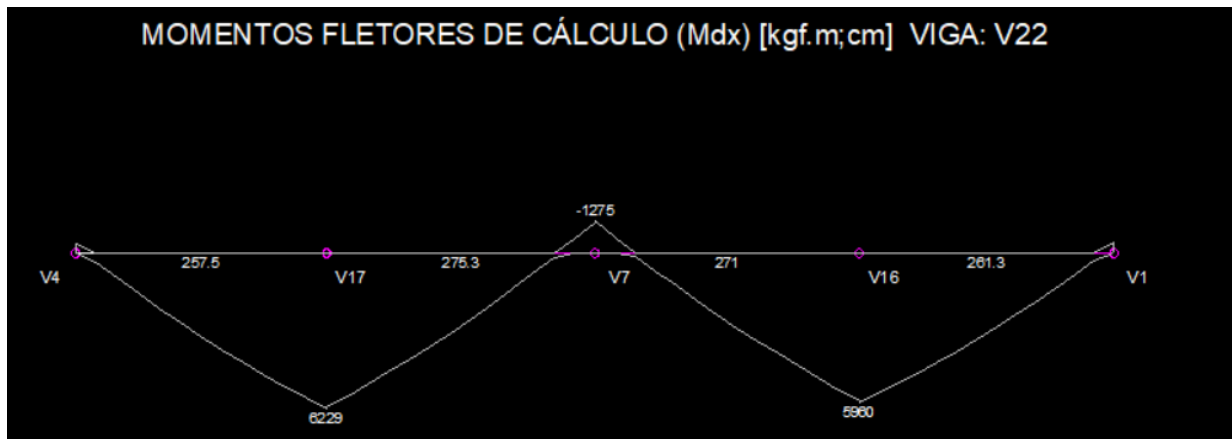
Fonte: Eberick (2025).

Conforme apresentado na Figura 17, como a estrutura se comporta sob as cargas máximas de cálculo, evidenciando que as maiores deformações ocorrem nos vãos centrais dos pavimentos superiores, sendo eles as vigas em cruz. Embora o software não tenha apontado problemas de instabilidade global, esses deslocamentos em ELU são a base para o cálculo dos esforços finais nos elementos.

A análise no ELU revelou os esforços de cálculo aos quais os elementos estruturais estão submetidos, permitindo uma correlação direta com as manifestações patológicas mapeadas. Os diagramas de esforços da viga V22 do 2º pavimento, o elemento mais crítico em serviço, foram analisados para validar as causas das fissuras.

O Diagrama de Momento Fletor (DMF), apresentado na Figura 18, expõe os resultados da análise de flexão. Foi constatado um momento fletor de cálculo (M_d) máximo de 6229 kgf.m no centro do vão. Este resultado é significativo, pois o ponto de esforço máximo coincide exatamente com a localização das fissuras verticais de flexão observadas em campo. A magnitude deste momento, embora suportada pela armadura dimensionada, é a força motriz que causa as tensões de tração e, conseqüentemente, a fissuração visível na face inferior da viga.

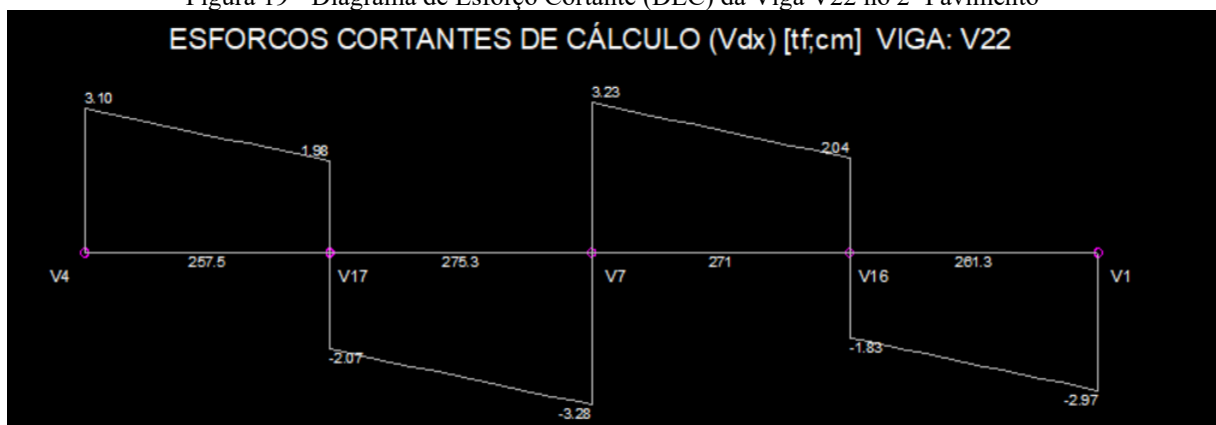
Figura 18 - Diagrama de Momento Fletor (DMF) da Viga V22 no 2º Pavimento (ELU)



Fonte: Eberick, (2025).

Os resultados da análise de cisalhamento estão apresentados no Diagrama de Esforço Cortante (DEC) na Figura 19. A simulação apontou um esforço cortante de cálculo (Vd) máximo de 3,28 tf na região do apoio V17. Este resultado comprova que as maiores tensões de cisalhamento ocorrem nas extremidades da viga. Tal esforço justifica plenamente o surgimento das fissuras inclinadas a 45° mapeadas próximo aos apoios, uma vez que o cisalhamento induz tensões de tração na diagonal. A conformidade da armadura transversal (estribos) com a segurança no ELU não impede que a manifestação da anomalia ocorra, validando a correlação entre o esforço calculado e o dano observado.

Figura 19 - Diagrama de Esforço Cortante (DEC) da Viga V22 no 2º Pavimento



Fonte: Eberick, (2025).

4.3.3 Correlação entre Análise Computacional e Inspeção Visual

O diagnóstico das causas das manifestações patológicas foi realizado a partir da correlação entre os resultados da análise computacional e as observações da inspeção visual em

campo. A simulação estrutural no software forneceu os subsídios técnicos (esforços e deformações) que validam as hipóteses sobre a origem das fissuras mapeadas na edificação. Esta abordagem integrada permite interpretar os danos observados com maior precisão.

A classificação das manifestações patológicas, realizada especificamente para as vigas da sala de aula 10, identificou dois tipos principais de fissuras, o primeiro tipo identificado foi as fissuras por flexão, este tipo de fissura, caracterizado pela orientação predominantemente vertical e pela localização no terço central dos vãos das vigas, é o mais recorrente na edificação. A análise computacional validou esta origem ao demonstrar que a localização dessas fissuras coincide precisamente com as regiões de máximo momento fletor positivo, onde a viga V22, por exemplo, atinge um esforço de 6229 kgf.m. Este esforço provoca tensões de tração na face inferior do concreto que, ao excederem a sua capacidade resistente, resultam na abertura das fissuras.

O segundo tipo foram as fissuras por cisalhamento, caracterizado pela orientação inclinada (com ângulo próximo a 45°) e pela localização nas extremidades das vigas, próximo aos apoios, também foi validado pela análise. O diagrama de esforço cortante comprovou que estas áreas são submetidas a picos de cisalhamento de até 3,28 tf. Este esforço gera um campo de tensões de tração diagonais que são a causa direta do padrão de fissuração observado).

Conforme o mapeamento realizado, a maioria das fissuras se enquadra na categoria de fissuras capilares e fissuras finas. De acordo com a ABNT NBR 6118:2023, aberturas dessa magnitude em um ambiente de agressividade urbana não representam um risco iminente para a segurança estrutural (ELU). Contudo, elas representam um risco significativo para a durabilidade da estrutura. Fissuras com abertura superior a 0,2 mm já são consideradas portas de entrada para agentes agressivos, como o dióxido de carbono (CO₂) e a umidade, que podem iniciar o processo de corrosão das armaduras. Portanto, embora não haja um perigo de colapso, a presença dessas fissuras indica o início de um processo de deterioração que, se não for tratado, pode levar a problemas mais graves e custos de reparo muito maiores no futuro.

4.4 Proposta de Intervenção

Com base no diagnóstico, que apontou a deformação excessiva em serviço (ELS) como a causa primária das manifestações patológicas, foi elaborada uma proposta de intervenção. As medidas sugeridas visam não apenas reparar os danos existentes, mas também restaurar o desempenho adequado da estrutura e garantir sua durabilidade a longo prazo.

Como medidas corretivas, a abordagem para a estrutura deve ser realizada em duas frentes complementares e integradas. Primeiramente, é necessário o tratamento de todas as

fissuras existentes, tanto as de flexão quanto as de cisalhamento. Este procedimento é essencial para restaurar a monoliticidade do concreto e, de forma crucial, para selar as vias de acesso de agentes agressivos que podem levar à corrosão das armaduras. A metodologia de tratamento deve ser selecionada conforme a natureza da fissura: para aquelas que serão passivadas pela intervenção de reforço, a injeção de resina epóxi de baixa viscosidade é a melhor via, pois "solda" as faces da fissura e recompõe a integridade do elemento. Já para fissuras em locais que não receberão reforço e que possam apresentar movimentação residual, a aplicação de selante ou resina epóxi a depende da atividade da fissura.

Contudo, o tratamento das fissuras, por si só, é uma medida paliativa que não ataca a origem do problema. A causa raiz, a deformação excessiva, só pode ser corrigida com o reforço estrutural dos elementos mais críticos, com foco especial na viga V22. Para este cenário, a solução técnica mais recomendada é o reforço à flexão com Sistemas de Fibras de Carbono (SFC). Este método consiste na aplicação de mantas ou lâminas de fibra de carbono na face inferior (tracionada) da viga, utilizando resina epóxi como adesivo. A fibra de carbono atuará como uma armadura externa de altíssima resistência, aumentando a rigidez da viga e sua capacidade de resistir aos esforços de flexão. Como resultado, as flechas em serviço serão significativamente reduzidas para níveis aceitáveis, resolvendo o problema de desempenho que originou as manifestações patológicas. É imprescindível que o dimensionamento deste reforço, incluindo a especificação do número de camadas de fibra, seja realizado por um engenheiro projetista especialista.

Tão importante quanto as ações corretivas é a implementação de um conjunto de medidas preventivas, que são cruciais para garantir a durabilidade a longo prazo da intervenção realizada e a saúde geral da edificação. A principal medida preventiva a ser adotada é a criação e implementação de um Plano de Manutenção Predial, conforme as diretrizes da ABNT NBR 5674:2024. A ausência de tal plano foi um fator que contribuiu para a evolução do quadro patológico. Este sistema de gestão deve formalizar rotinas essenciais, como a realização de inspeções visuais anuais em toda a estrutura para a detecção precoce de novas anomalias, além da manutenção contínua dos sistemas de drenagem e impermeabilização para proteger o concreto contra a ação da umidade.

Complementarmente ao plano de manutenção, recomenda-se o acompanhamento sistemático do comportamento da estrutura, especialmente após a execução do reforço. Esse monitoramento pode ser realizado por meio de diferentes técnicas, como registros fotográficos periódicos, inspeções visuais direcionadas às áreas tratadas e técnicas de monitoramento de fissuras em caso retornem, como o método dos selos de gesso ou marcas de traço, que consiste

em desenhar linhas sobre a trinca e registrar a data, permitindo visualizar se a fissura está crescendo já para a uma avaliação mais precisa, utilize um fissurômetro para medir a largura e acompanhar o deslocamento ao longo do tempo.

Além disso, a realização de medições de nivelamento topográfico a cada dois anos nos vãos reforçados permitirá quantificar o comportamento da flecha ao longo do tempo. Esse conjunto de ações de acompanhamento fornecerá informações essenciais para avaliar a eficácia da intervenção e assegurar que a estrutura mantenha condições satisfatórias de desempenho e segurança ao longo da sua vida útil.

5 CONCLUSÃO

A investigação confirmou a hipótese de que as fissuras observadas nas vigas são de origem mecânica, apresentando padrões que correspondem diretamente aos pontos de máximos esforços de flexão e cisalhamento identificados na análise estrutural. Os resultados obtidos permitem concluir que o quadro patológico não está relacionado a uma condição de insegurança iminente (Estado Limite Último), mas sim a um desempenho insatisfatório da estrutura em serviço (Estado Limite de Serviço). Observou-se que a deformação excessiva das vigas, com flechas atingindo valores ($L/143$) quase duas vezes superiores ao limite normativo da ABNT NBR 6118, constitui o fator determinante para a fissuração.

Pode-se destacar como contribuição deste estudo a apresentação de um caso prático que evidencia a relevância do controle de deformações em projetos de concreto armado — um critério frequentemente subestimado em relação à verificação da capacidade resistente. Ressalta-se que o atendimento aos requisitos de segurança não garante, de forma isolada, a durabilidade e a funcionalidade da edificação. Para a instituição de ensino, o trabalho oferece um diagnóstico técnico consistente que pode subsidiar decisões relativas à contratação de serviços de recuperação, contribuindo para a segurança e a longevidade do patrimônio.

Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se o monitoramento instrumental da estrutura após a execução das medidas corretivas, a fim de validar em campo a eficácia da solução de reforço com fibra de carbono. Além disso, uma análise mais aprofundada da influência das alterações de projeto (as-built) no comportamento dinâmico da estrutura, bem como a investigação de outras anomalias relatadas, como mofo e infiltrações, representam oportunidades relevantes para a continuidade desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747**: Inspeção predial — Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674**: Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.
- BASTOS, Paulo Sérgio. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO ARMADO**. Set. 2023. Apresentação de PDF. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>. Acesso em 12 agosto. 2025.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 01 de março de 2025.
- BRITO, Thaís Farias de. **Análise de manifestações patológicas na construção civil pelo método gut: estudo de caso em uma instituição pública de ensino superior**. 2017. 77 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.
- CÁNOVAS, M. F. *Patología y terapéutica del hormigón armado*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1988.
- Coplas (2019). **Concreto Armado: Saiba Qual a Durabilidade destas Estruturas**. Disponível em: <https://coplas.com.br/2019/10/10/qual-a-durabilidade-das-estruturas-de-concreto-armado/>. Acesso em: 13 de ago. 2025.
- DO CARMO, P. O. **Patologia das construções**. Santa Maria, Programa de atualização profissional – CREA – RS, 2003.
- DRESCH, Fernanda. **Patologia das estruturas**. Grupo A, 2018. E-book. ISBN 9788595023970. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595023970/>. Acesso em: 12 agosto. 2025.
- HELENE, P. R. L. **Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. 2ªed. São Paulo: Pini, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2022). **Panorama - Território e ambiente. Tucuruí**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/tucuruí/panorama>. Acesso em: 04 de março de 2025.

INSTITUTO FEDERAL DO PARÁ. **Conhecendo o Campus Tucuruí. Histórico do Campus Tucuruí**, 2010. Disponível em: < <https://napne-campus-tucuruí.webnode.page/galeria-de-fotos/> > Acesso em: 04 de março de 2025.

MARCELLI, Mauricio. **Sinistros na Construção Civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. São Paulo: Pini Ltda, 2007. 270 p.

MARIANO, G. H. C. **Manutenção preventiva e corretiva em edificações: uma revisão de literatura**. Engineering Sciences, v. 8, n. 2, p. 1-10, 2020.

MUSEU VIRTUAL DE TUCURUÍ. **História da Educação de Tucuruí. Museu Virtual de Tucuruí**. Disponível em: <<https://www.museuvirtualtucuruí.com.br/blog/historia-da-educacao-de-tucuruí/>> Acesso em: 04 de março de 2025.

OLIVARI, J. A. **Patologia das Edificações**. São Paulo: Pini, 2003.

PEREIRA, H. M. **Sistemas Construtivos em Estruturas**. Notas de Aula, Universidade Federal de Ouro Preto, 2008.

RIPPER, E. **Manual prático de materiais de construção**. São Paulo: Pini, 1998.

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

THOMAZ, Ercio. **Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo, Ed. Pini, 1989.

APÊNDICE A - Classificação geral das fissuras do edifício.

Pavimento	Sala	Viga	Tipo de fissura	Quantidade de fissuras	Abertura Média (mm)
Térreo	Não há fissuras no concreto armado				
1º pavimento	Setor pedagógico	Não há fissuras			
	Sala de aula 01	V1	Fissura	4 unid.	0,3
		V2	Fissura capilar	2 unid.	0,1
		V3	Fissura capilar	2 unid.	0,1
		V4	-	-	-
	Sala de aula 02	V1	Fissura capilar	1 unid.	0,05
		V2	Fissura capilar	2 unid.	0,1
		V3	Fissura capilar	2 unid.	0,1
		V4	-	-	-
	Sala de aula 03	Não há fissuras			
	Sala de aula 04	V1	Fissura capilar	3 unid.	0,1
		V2	Fissura	2 unid.	0,2
		V3	Fissura	1 unid.	0,2
		V4	-	-	-
	Sala de aula 05	V1	Fissura capilar	1 unid.	0,05
		V2	Fissura capilar	2 unid.	0,1
		V3	Fissura capilar	2 unid.	0,05
		V4	-	-	-
	Sala dos professores e coordenação	V1	Fissura	2 unid.	0,2
		V2	Fissura capilar	4 unid.	0,1
		V3	Fissura capilar	2 unid.	0,05

2 ° Pavimento		V4	-	-	-
		V1.1	-	-	-
		V2.1	Fissura	1 unid.	0,2
		V3.1	Fissura	1 unid.	0,2
		V4.1	-	-	-
	Sala de aula 06	V1	Fissura capilar	4 unid.	0,1
		V2	Fissura	2 unid.	0,25
		V3	Fissura capilar	3 unid.	0,1
		-	-	-	-
	Sala de aula 07	V1	Fissura capilar	3 unid.	0,1
		V2	Fissura	3 unid.	0,3
		V3	Fissura capilar	1 unid.	0,1
		V4	-	-	-
	Sala de aula 08	V1	Fissura capilar	1 unid.	0,1
		V2	Fissura	1 unid.	0,2
		V3	Fissura capilar	2 unid.	0,1
		V4	-	-	-
	Sala de aula 09	V1	Fissura	1 unid.	0,2
		V2	Fissura capilar	2 unid.	0,05
		V3	Fissura	1 unid.	0,2
V4		-	-	-	
Sala de aula 10	V1	Fissura capilar	4 unid.	0,1	
	V2	Fissura	2 unid.	0,2	
	V3	Fissura capilar	3 unid.	0,1	
	V4	Fissura capilar	3 unid.	0,1	
Sala de aula 11	V1	Fissura capilar	1 unid.	0,1	
	V2	Fissura	2 unid.	0,2	
	V3	Fissura capilar	1 unid.	0,05	
	V4	-	-	-	

Sala de desenho	V1	Fissura capilar	1 unid.	0,1
	V2	Fissura capilar	3 unid.	0,05
	V3	Fissura	2 unid.	0,2
	V4	Fissura	5 unid.	0,2
	V1.1	Fissura capilar	2 unid.	0,05
	V2.1	Fissura	1 unid.	0,2
	V3.1	Fissura capilar '	2 unid.	0,1
	V4.1	-	-	-