

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
CAMPUS CAJAZEIRAS

ANTONIO ALISON OLIVEIRA DA SILVA
ISAIAS GONÇALVES DA SILVA

**REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA ACERCA DAS PRINCIPAIS TÉCNICAS**

Cajazeiras-PB
2025

ANTONIO ALISON OLIVEIRA DA SILVA
ISAIAS GONÇALVES DA SILVA

**REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA ACERCA DAS PRINCIPAIS TÉCNICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, sob Orientação do Prof. Gastão Coelho de Aquino Filho e Coorientação da Prof.^a Sara de Oliveira Marques Luna.

Cajazeiras-PB
2025

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

S586r	<p>Silva, Antonio Alison Oliveira da. Reforço de estruturas de concreto armado : revisão bibliográfica acerca das principais técnicas / Antonio Alison Oliveira da Silva, Isaias Gonçalves da Silva. – 2025. 48f. : il.</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2025.</p> <p>Orientador(a): Prof. Me. Gastão Coelho de Aquino Filho. Coorientador(a): Prof^a. Sara de Oliveira Marques Luna.</p> <p>1. Construção civil. 2. Estrutura de concreto armado. 3. Reforço estrutural. 4. Manifestação patológica. I. Silva, Isaias Gonçalves da. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. III. Título.</p> <p>CDU: 625.8(043.2)</p>
-------	---

ANTONIO ALISON OLIVEIRA DA SILVA
ISAIAS GONÇALVES DA SILVA

**REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: REVISÃO
BIBLIOGRÁFICA ACERCA DAS PRINCIPAIS TÉCNICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,
Campus Cajazeiras, como parte dos
requisitos para a obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 19 de agosto de 2025.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente

GASTAO COELHO DE AQUINO FILHO

Data: 25/08/2025 17:35:47-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Gastão Coelho de Aquino Filho – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador



Documento assinado digitalmente

SARA DE OLIVEIRA MARQUES LUNA

Data: 25/08/2025 17:46:04-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Sara de Oliveira Marques Luna – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Coorientadora



Documento assinado digitalmente

DANIEL TORRES FILHO

Data: 25/08/2025 20:09:14-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Daniel Torres Filho – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador

À minha família, que nunca mediu esforços para me ver crescer. Agradeço pelo apoio incondicional, pelo amor constante e por sempre acreditar em mim.

Antonio Alison Oliveira da Silva
Aos meus pais, Francisco e Marciliana, que sempre foram minha maior fonte de motivação e nunca deixaram de acreditar no meu potencial. Todo o meu esforço e cada conquista serão sempre por vocês.

Isaias Gonçalves da Silva

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, quero agradecer a Deus por estar sempre comigo, por me dar forças para seguir em frente todos os dias desta jornada, pois, se estou aqui hoje, é porque Ele me deu coragem para não desistir.

À minha família: minha mãe, Ana Lúcia Carlos de Oliveira; meu pai, Ailton Ferreira da Silva; minha irmã, Ana Flávia Oliveira da Silva; e meu irmão, Arthur Vinícius Oliveira da Silva. Quero agradecer por todo o carinho, por todo o apoio. Vocês são tudo para mim e a principal razão de eu continuar lutando dia após dia.

Aos professores do curso, que, ao longo da graduação, compartilharam conhecimento e experiências fundamentais para minha formação acadêmica. Em especial agradeço à coorientadora desse trabalho, professora Sara de Oliveira Marques Luna e ao professor orientador Gastão Coelho de Aquino Filho pela paciência, disponibilidade e pelas contribuições valiosas ao longo do desenvolvimento deste trabalho. A orientação de vocês foi essencial para que este projeto se tornasse possível.

A todos os meus amigos de faculdade, em especial, Allefy, Allysson, Andressa, Ana Rute, Davi, Gustavo, Isaias, João, Livia, Rayanne e Samara, quero agradecer por toda a amizade e companheirismo durante essa jornada. Foi por causa de vocês que essa caminhada se tornou mais leve. Foi uma honra realizar esta graduação ao lado de vocês.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB) – *Campus* Cajazeiras, por proporcionar um ambiente de aprendizado, crescimento e desafios que foram fundamentais para a minha formação acadêmica.

Antonio Alison Oliveira da Silva

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me conceder esta conquista e por estar presente em toda a minha trajetória. Foi Ele quem me deu forças a cada dia, me auxiliou e me consolou nos momentos de dificuldade. A Sua presença em minha vida foi a razão pela qual consegui chegar até aqui.

À minha mãe, Marciliana Maria da Silva Sousa, e ao meu pai, Francisco Gonçalves de Sousa, não tenho palavras para expressar o quanto vocês são importantes para mim. Dedico esta formação a vocês, pois sempre serão minha maior inspiração, a fonte da minha dedicação e a força que me impulsiona a realizar meus sonhos. À minha irmã Ana Vitoria Gonçalves da Silva e à minha irmã Raquel Holanda Batista, que, junto aos nossos pais, me motivam diariamente a nunca desistir, mesmo sem saberem o quanto fazem parte desta conquista.

À minha tia Valmira, que foi como uma segunda mãe durante toda a minha jornada acadêmica, agradeço profundamente por todo o carinho, amor e apoio que me ofereceu. À minha tia Valnice, sou grato pelos conselhos e pelo cuidado constante. Ao meu tio Marcus, por sempre acreditar no meu potencial e me incentivar nos estudos. À minha prima Ana Rute, pelo companheirismo e pelo carinho ao longo desta caminhada.

À minha dupla de TCC, Antonio Alison, por todo companheirismo, estudo, conhecimentos compartilhados e amizade, não somente na realização deste trabalho, mas durante todo o curso. Estendo esse agradecimento a todos os amigos que a faculdade me presenteou. Vocês tornaram o processo mais leve, compartilharam conhecimentos e criaram memórias que levarei comigo para sempre.

Ao meu orientador, Gastão Coelho de Aquino Filho, e à minha coorientadora, Sara de Oliveira Marques Luna, meus sinceros agradecimentos por toda a paciência, disponibilidade e pelos conhecimentos compartilhados. Suas orientações foram valiosas e contribuíram de forma significativa para meu crescimento acadêmico.

Isaias Gonçalves da Silva

RESUMO

Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre as principais técnicas de reforço aplicadas em estruturas de concreto armado, com ênfase em suas vantagens, desvantagens e aspectos executivos. Diante da ocorrência de manifestações patológicas, como fissuras, infiltrações e corrosão das armaduras, ou à necessidade de adaptação estrutural para atender a novas demandas, como o aumento de carga, torna-se essencial compreender métodos eficazes para restabelecer ou ampliar a capacidade resistente das edificações. Foram analisados quatro tipos de técnicas amplamente utilizadas: encamisamento com concreto ou concreto armado, chapas de aço coladas com resina epóxi, protensão externa e fibras de carbono, considerando-se a aplicabilidade de cada uma conforme as condições da estrutura. Também foram descritos, de forma geral, os procedimentos de execução envolvidos em cada método. Para se aprofundar no tema em questão foi realizada uma revisão bibliográfica de caráter qualitativo, descritivo e exploratório, que se baseou em publicações acadêmicas dos últimos dez anos. Os resultados mostram que a escolha de cada técnica apresenta características próprias quanto à eficiência, execução e impacto na edificação. Dessa forma, a definição do método mais apropriado requer avaliação criteriosa das condições estruturais e dos objetivos da intervenção, aspecto fundamental para assegurar a segurança, a durabilidade e o desempenho eficaz das estruturas reforçadas.

Palavras-chave: reforço estrutural; técnicas de reforço; intervenção estrutural; concreto armado.

ABSTRACT

This paper presents a literature review of the main strengthening techniques applied to reinforced concrete structures, emphasizing their advantages, disadvantages, and practical aspects. Given the occurrence of pathological manifestations, such as cracks, leaks, and corrosion of reinforcement, or the need for structural adaptation to meet new demands, such as increased load, understanding effective methods to restore or expand the load-bearing capacity of buildings becomes essential. Four widely used techniques were analyzed: concrete or reinforced concrete casing, epoxy-bonded steel plates, external prestressing, and carbon fibers, considering the applicability of each according to the structural conditions. The execution procedures involved in each method were also described in general terms. To delve deeper into the topic in question, a qualitative, descriptive, and exploratory literature review was conducted, based on academic publications from the last ten years. The results show that the choice of each technique has its own characteristics regarding efficiency, execution, and impact on the building. Therefore, defining the most appropriate method requires a careful evaluation of the structural conditions and objectives of the intervention, a fundamental aspect to ensure the safety, durability and effective performance of the reinforced structures.

Keywords: structural reinforcement; reinforcement techniques; structural intervention; reinforced concrete.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação das aberturas em elementos de concreto.....	19
Figura 2 – Processo de lixiviação devido a infiltração.....	20
Figura 3 – Corrosão em estruturas de concreto armado	20
Figura 4 – Reforço por encamisamento.....	22
Figura 5 – Aumento da seção transversal.....	23
Figura 6 – Estrutura reforçada com chapas metálicas	26
Figura 7 – Reforço estrutural com protensão externa.....	28
Figura 8 – Reforço estrutural com protensão externa.....	29
Figura 9 – Fibras de carbono	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3	REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1	COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DO CONCRETO.....	15
3.1.1	<i>Concreto Armado</i>	15
3.1.2	<i>Estados Limites Últimos e Estados Limites de Serviço</i>	16
3.2	NECESSIDADE DE REFORÇO E RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL.....	17
3.2.1	<i>Manifestações Patológicas</i>	17
3.2.2	<i>Fissuras, Trincas e Rachaduras</i>	18
3.2.3	<i>Infiltrações</i>	19
3.2.4	<i>Corrosão das Armaduras</i>	20
3.2.5	<i>Aspectos Decisivos Para Recuperar ou Reforçar</i>	21
3.3	MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO E REFORÇO.....	22
3.3.1	<i>Encamisamento com Concreto ou Concreto Armado</i>	22
3.3.2	<i>Chapas de Aço Coladas</i>	24
3.3.3	<i>Protensão Externa</i>	27
3.3.4	<i>Polímero Reforçado com Fibra de Carbono (CFRP)</i>	31
4	METODOLOGIA	34
4.1	ABORDAGEM METODOLÓGICA.....	34
4.2	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	34
4.3	ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....	35
4.4	DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS EXECUTIVOS	35
4.5	ANÁLISE CRÍTICA DAS TÉCNICAS	35

5	RESULTADOS E ANÁLISES	36
5.1	LEVANTAMENTO DOS TRABALHOS	36
5.1.1	<i>Divisão dos Trabalhos</i>	37
5.1.2	<i>Análise Temporal</i>	37
5.2	REFORÇO POR ENCAMISAMENTO	38
5.3	REFORÇO COM CHAPAS DE AÇO	39
5.4	REFORÇO POR PROTENSÃO EXTERNA	40
5.5	REFORÇO COM FIBRAS DE CARBONO	41
6	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da civilização, a humanidade buscou criar técnicas construtivas com o objetivo de garantir a segurança, o conforto e a durabilidade das construções. Com isso, foram desenvolvidos uma série de estudos, bem como formulações, cálculos, análises científicas, sistemas de produção e novos materiais, até que conseguisse chegar à construção de grandes edificações com segurança e padronização do controle tecnológico.

O concreto armado consolidou-se como uma das principais soluções estruturais utilizadas na construção civil, sendo aplicadas em obras de diferentes tipos e tamanhos. Sua popularização está relacionada à combinação entre o concreto e o aço, que juntos oferecem resistência, durabilidade e a capacidade de atender as exigências cada vez maiores nos projetos. Como destaca Vieira (2018), essa união possibilitou o desenvolvimento de construções mais ousadas e com vãos maiores, tornando o concreto armado um elemento essencial da engenharia contemporânea.

Apesar de sua reconhecida eficiência, o concreto armado não está imune a manifestações patológicas, as quais representam um dos grandes desafios para a segurança e durabilidade das edificações. De acordo com Bolina, Tutikian e Helene (2019) o concreto armado apresenta mecanismos de deterioração, como: retração do concreto, movimentação térmica e desgaste superficial por erosão ou cavitação, podendo levar a redução parcial ou total das funcionalidades das peças, resultando em custos adicionais com reparos e manutenções.

Como consequência dessas falhas e deteriorações, surgem situações de perda de resistência e desempenho estrutural desejado nas construções. De acordo com Novaes e Poznyakov (2021), falhas na construção civil podem ocorrer por diversos motivos, como projetos mal elaborados, falhas nas etapas de execução, baixa qualidade dos materiais, mão de obra desqualificada, ausência de fiscalização, uso inadequado e falta de manutenção. Quando essas questões não são identificadas e corrigidas, a segurança e a durabilidade da estrutura podem ser comprometidas, tornando necessárias intervenções corretivas para restabelecer suas condições de uso e prevenir danos mais severos no futuro.

Diante desta problemática surge a possibilidade de intervenção na estrutura como o reforço estrutural, técnica utilizada quando se deseja aumentar a capacidade e rigidez de uma construção para atender novas solicitações e cargas de uso, outra opção é a recuperação estrutural acontece quando é necessário restabelecer as propriedades originais de uma edificação (Parente Neto *et al.*, 2021). Entre os principais tipos de reforço utilizados, estão a aplicação de protensão externa, chapas metálicas, fibras de carbono e encamisamento. Cada

técnica possui vantagens e desvantagens e a sua adequação irá depender de particularidades a serem analisadas, tais como custo de aplicação, desempenho do reforço e a preservação da arquitetura original.

Identificar o momento em que uma edificação necessita de reforço estrutural é fundamental para garantir sua segurança e evitar danos mais graves no futuro. A percepção precoce de falhas permite que medidas corretivas sejam tomadas antes que o problema se agrave, chegando à inviabilidade de retorno ao desempenho satisfatório da estrutura. De acordo com Santana (2024), o reforço de estruturas pode ser necessário por vários fatores, como fim da vida útil, mudanças no uso da edificação ou ocorrência de patologias. Nesses casos, a intervenção estrutural se apresenta como uma solução eficaz seja para restabelecer ou aumentar a capacidade resistente da estrutura, assegurando sua durabilidade e funcionalidade.

Após ser identificada a necessidade do reforço ou recuperação é indispensável realizar uma análise criteriosa para definir a solução mais adequada à realidade da edificação. Cada estrutura apresenta particularidades que exigem atenção quanto ao tipo de carga atuante, às condições de degradação, às características dos materiais existentes e às limitações de acesso para execução. De acordo com Polveiro *et al.* (2023), a escolha do método de intervenção deve considerar o tipo de gravidade do dano na estrutura, além de aspectos como viabilidade econômica, disponibilidade e compatibilidade do material, além das condições de localização da estrutura.

Uma vez definida a técnica a ser aplicada, a sua execução adequada é crucial para que a intervenção atinja os resultados esperados. Segundo Reis (2001), o preparo do substrato é responsável por grande parte do sucesso do reparo ou reforço, sendo necessário que o concreto base apresente resistência adequada e solidez para receber o tratamento. Falhas de execução podem comprometer a eficácia do reforço, resultando em defeitos que afetam a integridade da edificação. É fundamental a capacitação da equipe técnica e o acompanhamento contínuo para garantir que todos os cuidados necessários sejam tomados e os padrões de qualidade sejam cumpridos.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo fornecer uma análise das vantagens e desvantagens dos principais reforços estruturais a partir da revisão bibliográfica de trabalhos já publicados, além de apresentar procedimentos técnicos necessários para sua execução e principais fatores de escolhas de cada método, analisando a adequação da técnica, considerando as condições específicas de cada edificação, a severidade dos danos, as particularidades do caso e a eficiência da abordagem para garantir a segurança e a durabilidade das construções.

2 OBJETIVOS

Nesse capítulo estão delineados os objetivos que fundamentaram o Trabalho de Conclusão do Curso (TCC).

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as principais técnicas de reforço e recuperação estrutural aplicadas em estruturas de concreto armado, considerando aplicabilidade, vantagens, desvantagens e procedimentos de execução.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral, foram delineados os seguintes objetivos específicos:

- realizar levantamento de trabalhos que analisaram os métodos de reforço e recuperação estrutural;
- apresentar os critérios técnicos utilizados para seleção da técnica de reforço e recuperação mais adequada;
- descrever os procedimentos executivos das técnicas mais utilizadas no reforço e na recuperação de estruturas de concreto armado;
- analisar as técnicas quanto a complexidade, aplicabilidade e impacto na edificação.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Nessa seção, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre a temática abordada na pesquisa, onde estão dissertados tópicos sobre os conceitos dos principais tipos de reforço em estruturas de concreto armado.

3.1 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DO CONCRETO

O comportamento estrutural do concreto é um aspecto fundamental para a compreensão do desempenho das estruturas na engenharia civil. Trata-se de entender como esse material reage frente às diversas solicitações a que pode ser submetido ao longo de sua vida útil, como esforços de compressão, tração, flexão e cisalhamento. Essa análise é essencial para garantir a segurança, estabilidade e durabilidade das edificações. A seguir, estão apresentados conceitos relevantes sobre o concreto armado e os critérios normativos que orientam seu dimensionamento estrutural, com destaque para os Estados Limites Últimos e de Serviço.

3.1.1 *Concreto Armado*

Entende-se por concreto armado a combinação do concreto com armaduras de aço, formando um material composto com propriedades de resistência a esforços de compressão e de tração. De acordo com Longhi (2023), o concreto armado une os benefícios do concreto, como a resistência à compressão e sua durabilidade, aos atributos do aço, como a ductilidade e a resistência à tração. Essa junção das características destes dois materiais se tornou muito eficiente para a construção civil, suprimindo a deficiência do concreto frente aos esforços de tração por meio da contribuição do aço, enquanto explora de maneira eficiente a elevada capacidade do concreto em resistir à compressão.

No contexto da engenharia estrutural, o concreto armado desempenha um papel crucial no desenvolvimento e na evolução da construção civil, sendo amplamente utilizado tanto em obras de pequeno porte quanto em grandes empreendimentos. Entre as inúmeras vantagens que o tornam um material construtivo muito utilizado, destacam-se a ampla disponibilidade e o baixo custo de seus componentes, sua elevada durabilidade, excelente resistência ao fogo e a flexibilidade para ser moldado em diversas formas (Andolfato, 2002). Dessa forma, conhecer melhor as propriedades e o comportamento do concreto armado tornam-se importante para entender seu papel nas estruturas modernas.

O concreto armado também se destaca pela durabilidade, desde que sua execução siga

as normativas apropriadas, como o cobrimento mínimo e a proporção adequada entre água e cimento. Segundo Santos (2015, *apud* Martins, 2022), o concreto oferece duas formas de proteção ao aço nas estruturas de concreto armado: fisicamente, por meio do cobrimento, que impede o contato direto com agentes externos, e quimicamente, devido ao elevado pH, que favorece a formação de uma camada de passivação protetora. Dessa forma, a durabilidade do concreto armado é garantida, assegurando a resistência e segurança das estruturas ao longo do tempo, o que é essencial para a construção de vigas e outros elementos estruturais.

3.1.2 Estados Limites Últimos e Estados Limites de Serviço

Ao elaborar um projeto estrutural de concreto armado, é necessário analisar duas situações distintas. A primeira refere-se ao cenário que deve ser evitado a todo custo: o colapso total ou parcial da estrutura. A segunda está relacionada ao excesso de deformações nos elementos estruturais, que podem comprometer a sensação de segurança e o conforto dos usuários. De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023), os Estados Limites Últimos (ELU) envolvem a segurança estrutural contra colapso, enquanto os Estados Limites de Serviço (ELS) tratam da preservação da funcionalidade, durabilidade e conforto da estrutura.

Os Estados Limites Últimos têm como objetivo garantir que a estrutura suporte as cargas máximas previstas sem apresentar falhas, instabilidade ou colapso. Para isso, combinam-se e majoram-se as ações atuantes, representando o cenário mais desfavorável no dimensionamento, com base na resistência máxima dos materiais (Torres Filho, 2021). Isso inclui a análise de falhas por flexão, cisalhamento, compressão, além dos efeitos de segunda ordem e do risco de colapso progressivo. Avaliar esses aspectos é fundamental para manter a segurança e a integridade da estrutura.

Ainda segundo Torres Filho (2021), os Estados Limites de Serviço são atingidos quando os deslocamentos ou aberturas de fissuras ultrapassam os limites estabelecidos pelas normas, considerando as combinações de ações específicas para cada verificação. Nessas situações, devem ser adotadas medidas corretivas para restabelecer o desempenho adequado da estrutura. Embora não representem risco imediato à segurança, esses efeitos podem comprometer o conforto, a estética e a durabilidade da edificação, sendo, portanto, igualmente relevantes no projeto estrutural.

A norma NBR 6118 (ABNT, 2023) define critérios para modelos estruturais que representem o comportamento real da edificação, com base nos Estados Limites de Serviço (ELS) e nos Estados Limites Últimos (ELU). Para a verificação dos ELS, a norma indica que

os modelos adotados devem ser distintos dos utilizados nos ELU, pois consideram ações de serviço e apresentam, em geral, maior rigidez. Diante disso, é essencial que o dimensionamento estrutural atenda adequadamente aos requisitos de ambos os estados-limite, garantindo segurança quanto à deformação, estabilidade e fissuração. Em determinadas situações, as verificações relacionadas ao estado de serviço podem ser mais exigentes, em outras, as associadas ao estado último se mostram mais decisivas.

3.2 NECESSIDADE DE REFORÇO E RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL

Nesse subtópico estão delineadas as principais causas que justificam a necessidade do reforço em estruturas. Serão abordadas causas como deterioração estrutural e mudanças nas condições de uso.

3.2.1 *Manifestações Patológicas*

O termo patologia origina-se do termo grego *phatos*, que significa doença e *logia*, que significa estudo. Este termo é frequentemente utilizado na medicina para descrever enfermidades ou anomalias, porém, nos últimos tempos, seu uso vem sendo atrelado a outras áreas como a construção civil. De acordo com Souza e Ripper (1998) define-se como patologia das estruturas o campo da engenharia das construções que se ocupa ao estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de deterioração das estruturas.

A deterioração estrutural de edificações, principalmente aquelas em concreto armado, é consequência de uma série de fatores, entre os quais se destacam erros de projeto, escolha incorreta dos materiais, execução inadequada e falhas de manutenção. Como afirmado por Bolina, Tutikian e Helene (2019), muitas das manifestações patológicas têm sua origem na fase de concepção da estrutura devido a erros de projeto, entretanto, também existem patologias caracterizadas pelo processo natural de degradação das estruturas de concreto armado, como é o caso da corrosão das armaduras e carbonatação.

De acordo com Nascimento (2017), as manifestações patológicas são eventos naturais que surgem com o envelhecimento das edificações, impactando negativamente a durabilidade e a vida útil de seus elementos. Além de comprometerem o aspecto estético, essas manifestações também elevam os riscos à segurança dos usuários e frequentadores do ambiente. Entre essas manifestações estão inclusas trincas, fissuras, corrosão das armaduras e infiltrações, onde cada tipo de patologia apresenta diferentes mecanismos de deterioração, por isso, conhecer o tipo de

patologia é fundamental para definir a maneira adequada de tratamento e evitar maiores danos.

A partir da condição patológica determina-se a melhor forma de intervenção. Segundo Souza e Ripper (1998) a avaliação deve considerar não apenas o tipo e a gravidade do dano, mas também fatores como a vida útil restante da estrutura, as condições de exposição ambiental e os custos associados às possíveis soluções. O intuito é assegurar que a intervenção seja eficaz, durável e acessível, preservando características originais da estrutura. Muitas vezes, a escolha entre recuperar e reforçar a estrutura dependerá do equilíbrio entre viabilidade técnica e segurança estrutural.

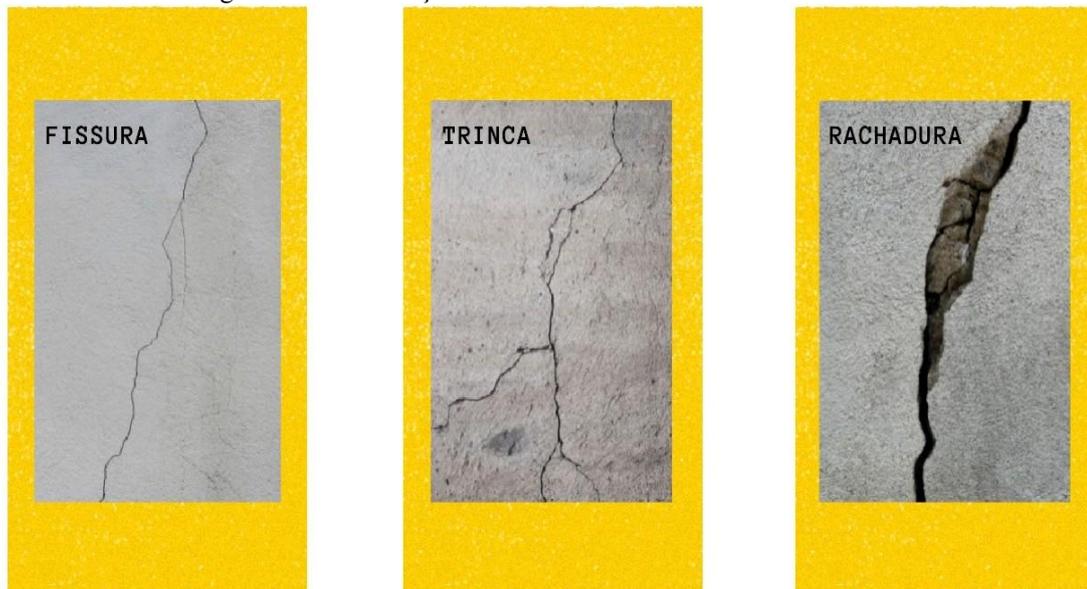
Sendo escolhido o reforço estrutural para aumentar a capacidade resistente das estruturas afetadas, sua execução pode ocorrer de várias maneiras, como a aplicação de chapas de aço, uso de técnicas de protensão externas, materiais compósitos ou adição de armaduras complementares. “A escolha de qual método de reforço será utilizado vai depender das condições específicas da estrutura, do projeto e características da carga aplicada” (Cardozo, 2023, p. 45).

3.2.2 Fissuras, Trincas e Rachaduras

Estes elementos referem-se a aberturas ou divisões que surgem em componentes estruturais, conforme ilustrado na Figura 1, podendo variar quanto à largura, profundidade e extensão. Elas funcionam como alertas da integridade dos componentes estruturais. Segundo Barreto (2025), essas manifestações podem surgir em lajes, vigas, pilares, pisos, alvenarias, entre outros elementos, frequentemente resultantes de tensões de tração. Caso os componentes sejam submetidos a uma força que ultrapasse sua capacidade resistente, haverá uma falha resultando em uma abertura, a qual dependendo de suas dimensões e profundidade, poderá ser categorizada como fissura, trinca ou rachadura.

Ademais é importante destacar que as fissuras podem ter outras origens além das solicitações estruturais excessivas. A norma NBR 6118 (ABNT, 2023), apresenta algumas razões para a ocorrência das fissuras, tais como retração plástica térmica ou devido a reações químicas internas do concreto nas fases iniciais. Isso demonstra a importância de se ter atenção não apenas ao dimensionamento estrutural, mas também ao processo de execução, a fim de evitar o surgimento precoce de manifestações patológicas que prejudicam a durabilidade e funcionalidade da estrutura.

Figura 1 – Classificação das aberturas em elementos de concreto.



Fonte: Anoni e Rodrigues (2022)

3.2.3 Infiltrações

Infiltração é uma das maneiras mais comuns pelas quais as estruturas de concreto podem ser comprometidas, interferindo negativamente em sua durabilidade e em seu desempenho ao longo do tempo. Esse fenômeno acontece quando a água penetra nos vazios ou microfissuras do concreto, permitindo a entrada de agentes químicos nocivos, como cloretos e sulfatos (Barreto, 2025), conforme ilustrado na Figura 2. Tais substâncias aceleram o processo de degradação interna, podendo levar a problemas como perda de aderência, expansão volumétrica e diminuição da resistência do elemento estrutural. Por isso, a infiltração deve ser tratada com atenção e sinal de alerta a possíveis problemas mais sérios que venham a exigir reforços estruturais.

As fissuras e vazios naturais do concreto, além das falhas na execução por má vibração e adensamento, favorecem a infiltração. Conforme apontam Souza e Ripper (1998), essas deficiências geram bolhas e cavidades que aumentam a porosidade da superfície, facilitando a entrada de agentes agressivos. Sendo assim as infiltrações podem acelerar a deterioração dos componentes internos, tornando necessário uma intervenção estrutural para restaurar a capacidade da estrutura.

Figura 2 – Processo de lixiviação devido a infiltração.



Fonte: Nunes e Gregório (2024)

3.2.4 Corrosão das Armaduras

A corrosão é o principal processo responsável pela redução da durabilidade das estruturas, provocando, em muitos casos, a necessidade de intervenção estrutural. De acordo com Sales *et al.* (2018), esse fenômeno consiste em uma interação destrutiva entre o material e o ambiente, ocorrendo em temperaturas usuais, entre 5°C e 65°C, como resultado de reações elétricas de natureza química ou eletroquímica, que podem estar associadas a ações físicas ou mecânicas de deterioração. A Figura 3 ilustra essa patologia.

Figura 3 – Corrosão em estruturas de concreto armado.



Fonte: Nunes e Gregório (2024)

Nos elementos de concreto armado, a corrosão das armaduras se manifesta por manchas superficiais causadas pelos produtos da oxidação, seguidas de fissuras, destacamento do concreto de cobrimento e redução da seção das barras, incluindo estribos. Esses danos levam à perda de aderência entre o aço e o concreto, comprometendo a segurança estrutural e o aspecto estético da estrutura ao longo do tempo (Sales *et al.*, 2018). Diante disso, a corrosão representa um desafio significativo para a manutenção da integridade estrutural, tornando imprescindível o desenvolvimento de técnicas eficazes de diagnóstico e reforço para prolongar a vida útil das construções.

3.2.5 Aspectos Decisivos Para Recuperar ou Reforçar

A identificação precoce da necessidade de uma intervenção estrutural em uma edificação é fundamental para que o profissional responsável possa tomar decisões adequadas quanto ao tipo de reforço a ser adotado. De acordo com a norma NBR 5674 (ABNT, 2024), as edificações devem passar por inspeções periódicas para avaliar seu estado de conservação e identificar eventuais necessidades de reparo ou intervenção, considerando o tipo, a idade, a finalidade de uso e a qualidade dos materiais e da execução. Essa avaliação prévia é essencial para garantir a segurança dos usuários, otimizar recursos financeiros e prolongar a vida útil da estrutura.

Além disso, a escolha da técnica de reforço estrutural está diretamente relacionada ao tipo e à extensão do dano identificado, à viabilidade econômica da solução, à compatibilidade do material com o ambiente da estrutura e ao domínio técnico do engenheiro sobre os métodos disponíveis para intervenção (Polveiro *et al.*, 2023). Dessa forma, não há uma técnica universalmente mais indicada em todos os casos e é fundamental realizar uma análise de viabilidade que considere diferentes alternativas, de modo a selecionar a mais adequada para cada situação específica.

A decisão do profissional responsável pelo reforço estrutural dependerá das condições específicas da edificação, dos interesses do proprietário, da necessidade de manter a arquitetura original ou da urgência na execução. Um estudo realizado por Santos *et al.* (2024), analisando técnicas como chapas metálicas, vigas metálicas e fibras de carbono, concluiu que a escolha do método mais adequado está diretamente relacionada ao tempo disponível para execução, ao custo envolvido e à capacidade adicional de carga exigida. Esses fatores reforçam a importância de uma análise técnica criteriosa e personalizada para garantir que a solução adotada atenda de forma eficiente às exigências estruturais e operacionais da obra.

3.3 MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO E REFORÇO

Nesta seção, estão discutidos alguns dos principais métodos utilizados na recuperação e reforço de estruturas de concreto, com ênfase em práticas frequentemente adotadas na engenharia civil. Dentre esses métodos, destacam-se o reforço por encamisamento com concreto ou argamassa, reforço com chapas de aço, implementação de protensão externa e a aplicação de materiais compósitos reforçados com fibras. As fibras mais comuns nesse contexto são as de carbono, vidro e aramida, cada uma com características distintas.

Essas técnicas estão descritas destacando suas principais aplicações e vantagens. Contudo é importante destacar que esta pesquisa tem como foco os métodos de reforço com chapas de aço, encamisamento, protensão externa e reforço com fibras de carbono.

3.3.1 Encamisamento com Concreto ou Concreto Armado

O reforço estrutural por meio de encamisamento surge como uma solução para as necessidades de reabilitação de estruturas de concreto armado. Conforme destacado por Zucchi (2015), a técnica de reforço por aumento de seção, também conhecida por encamisamento, consiste em envolver a estrutura já existente com uma nova camada de concreto e armação necessária para recuperação. Esse método aumenta a capacidade de carga e melhora a durabilidade dos elementos estruturais. O encamisamento se apresenta como uma das opções mais comuns na área de recuperação estrutural por sua eficácia e custo-benefício. A Figura 4 ilustra o encamisamento de um elemento estrutural.

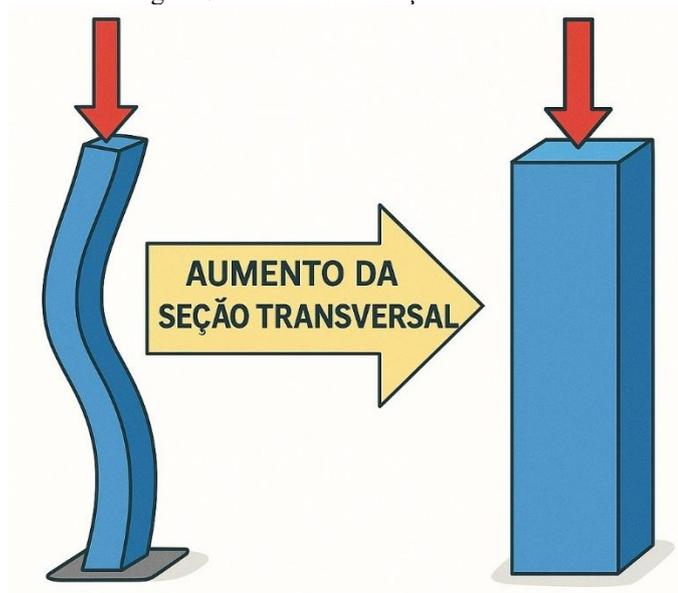
Figura 4 – Reforço por encamisamento.



Fonte: Secil (2025)

O encamisamento tem como objetivo principal o aumento da capacidade resistente de elementos estruturais através da ampliação de sua seção transversal e adição de armadura adicional. Segundo Vieira (2018), a técnica visa restaurar ou incrementar a segurança estrutural de pilares e vigas que apresentem insuficiência de resistência e necessitem de reforço. O autor também ressalta que utilizar a técnica de encamisamento contribui significativamente para a eliminação da flambagem, como é possível ver na Figura 5.

Figura 5 – Aumento da seção transversal.



Fonte: Autoria própria

A utilização dessa técnica é bastante indicada em casos de pilares que apresentam perda de desempenho devido a manifestações patológicas, ou com solicitações superiores às previstas inicialmente no projeto. De acordo com Leão (2025), o encamisamento permite tanto a recuperação da capacidade estrutural original, quanto a capacidade de adaptar a estrutura para novos usos, aumentando sua rigidez e ductilidade. O autor ainda destaca que ao revestir a seção original com uma nova camada de concreto armado, é possível melhorar o desempenho estrutural em relação aos esforços de flexão, compressão e cisalhamento.

Segundo Gama (2018), o reforço por encamisamento segue o seguinte processo de execução:

- a) Escoramento: antes de qualquer tipo de intervenção, é essencial fazer o escoramento da estrutura para assegurar a estabilidade e a segurança durante a execução do reforço;
- b) Preparação da superfície: primeiramente é realizada a preparação do substrato, consistindo em realizar uma retirada do concreto já existente ou deteriorado, deixando a armação à mostra, com o objetivo de garantir a aderência entre o novo concreto com o

- já existente. Em seguida é feita a limpeza da superfície por meio de jatos de alta pressão, assegurando a remoção de todos os materiais (pó, poeiras, substâncias oleosas, concretos desagregados, revestimentos diversos);
- c) Instalação das novas armaduras: nesta etapa é realizada a reposição de armaduras danificadas ou a adição de armaduras ligando-as à estrutura original.
 - d) Montagem de fôrmas e concretagem: após a colocação das armaduras, é realizada a montagem das fôrmas garantindo a estanqueidade, permitindo adensamento eficiente e assegurando o formato e as dimensões previstas no projeto. Logo após, ocorre a aplicação do concreto ou argamassa, realizada de forma contínua e monitorada para evitar segregações.
 - e) Cura: nesta etapa é realizado o controle térmico devido à hidratação do material de reposição.

De acordo com Leão (2025), a técnica de encamisamento proporciona várias vantagens relevantes para o reforço de elementos estruturais. Entre as vantagens, se destaca o aumento da resistência proporcionando maior capacidade de carga aos elementos estruturais e permitindo que resistam a acréscimos de carga decorrentes de alterações na utilização da estrutura, outro ponto relevante é a sua versatilidade, pois pode ser utilizada tanto em edifícios industriais que exigem um desempenho estrutural elevado quanto em construções históricas.

Segundo Vieira (2018), a técnica de encamisamento pode apresentar algumas desvantagens, uma delas é que pode influenciar negativamente do ponto de vista arquitetônico, visto que o aumento da seção pode comprometer a estética da estrutura. Além disso, há um aumento no peso da estrutura, podendo exigir reavaliações no dimensionamento. Também pode ocasionar uma restrição da utilização da estrutura, modificações podem limitar o espaço disponível. Por fim, o processo de execução pode gerar significativa poluição visual e sonora, devido à necessidade de concretagem e ao uso de equipamentos pesados na preparação das peças.

3.3.2 Chapas de Aço Coladas

O uso de chapas de aço como reforço estrutural é uma técnica tradicional na construção civil, aplicada principalmente em vigas de concreto armado, tanto em reparos quanto no aumento da capacidade resistente. Como destaca Santos (2008, *apud* Hugo, 2024), essa interação gera um conjunto com maior resistência aos esforços solicitantes, maior rigidez e deformação significativamente reduzida antes do colapso.

A técnica que consiste na colagem de chapas de aço ao concreto, utilizando resinas epóxi ou parafusos auto fixantes, tem como principal função criar área de aço complementar ao elemento estrutural original, colaborando com sua capacidade resistente. Essa área de aço adicional atua de forma solidária à peça, proporcionando ganhos expressivos na resistência aos esforços solicitantes, como cortante, flexão e torção, podendo alcançar melhorias de até 50% nesses parâmetros (Parente Neto *et al.*, 2021). Essa eficiência reforça a aplicabilidade do método em estruturas que demandam incremento de desempenho sem substituição completa dos elementos existentes.

Ainda segundo Parente Neto *et al.* (2021), o reforço com chapas de aço pode ser executado de diferentes maneiras, conforme as características da viga e a demanda estrutural:

- a) Reforço com chapas nas laterais: consiste na fixação de uma chapa metálica em cada lado da viga, técnica comumente utilizada em processos de calibração e bastante eficiente para resistir a esforços horizontais;
- b) Reforço com chapa na base: aplica-se uma chapa metálica diretamente sob a viga, contribuindo principalmente para a resistência à tração na região inferior;
- c) Reforço com perfil em "U" completo: envolve a colocação de chapas que cobrem simultaneamente a base e ambas as laterais da viga, formando um contorno em "U", o que proporciona maior solidarização ao conjunto estrutural;
- d) Reforço com perfil em "U" parcial: semelhante ao anterior, porém as chapas laterais não cobrem toda a altura da viga, alcançando apenas uma parte de sua dimensão vertical;
- e) Reforço com perfil em "T" invertido: requer a abertura de um canal longitudinal no centro da viga para o encaixe da alma do perfil metálico em "T", cuja base (mesa) é fixada na parte inferior da viga;

Ao serem aderidas ao concreto por meio de resinas estruturais, as chapas de aço passam a atuar junto ao elemento original, formando um sistema composto que aumenta a rigidez e a resistência da estrutura. Essa união permite a redistribuição dos esforços e o controle das deformações, resultando em um comportamento estrutural melhorado. A aplicação da chapa de aço em vigas de concreto armado é comum, pois ela possibilita ampliar a área de aço na região tracionada, promovendo o aumento ou a recuperação da resistência à flexão, sem provocar alterações significativas na geometria do elemento (Paliga *et al.*, 2019). Esse tipo de reforço pode ser visualizado na Figura 6, que ilustra uma estrutura com chapas metálicas aplicadas.

Figura 6 – Estrutura reforçada com chapas metálicas.



Fonte: Walsywa (2020)

Outro fator que torna essa técnica atrativa é o seu custo-benefício, já que os materiais utilizados são de fácil acesso, os processos de execução são convencionais não demandando alta especialização da mão de obra. Conforme Fraga *et al.* (2022), o reforço com chapas de aço em vigas de concreto armado apresenta custos inferiores quando comparado à outras soluções convencionais. Além disso, segundo Reis (2001), essa técnica gera baixo custo e provoca modificações mínimas na estrutura, causando pouca interferência nos aspectos arquitetônicos da peça. Por ser uma solução de rápida aplicação e baixo impacto, ela é indicada para reparos que exigem agilidade e economia, sem comprometer a estética ou a funcionalidade da edificação.

Para que essa técnica alcance bons resultados, é essencial que sua execução siga um rigoroso controle de qualidade, uma vez que falhas em qualquer etapa podem comprometer a eficácia do reforço. Um dos cuidados fundamentais, conforme destaca Lima (2020), consiste em manter a chapa firmemente pressionada contra o concreto durante a cura da resina epóxi, aplicando-se uma pressão leve e constante por, no mínimo, 24 horas. Esse procedimento garante a adesão adequada entre os materiais, contribuindo diretamente para o desempenho estrutural do reforço.

Ainda de acordo com Lima (2020), a execução do reforço com chapas de aço requer uma série de procedimentos técnicos específicos para garantir sua eficácia e durabilidade:

- a) remoção de resíduos e materiais soltos da superfície do concreto, seguida de uma limpeza criteriosa para garantir boa aderência;
- b) em casos em que há fissuras visíveis na viga, é necessário realizar cortes nas regiões afetadas, possibilitando a aplicação de resina epóxi por injeção e posterior vedação com argamassa polimérica;

- c) preparação adequada tanto da superfície de concreto quanto das chapas metálicas, a fim de favorecer a aderência entre os elementos por meio da aplicação da resina epóxi;
- d) aplicação da resina em camada fina, com espessura inferior a 1,5 mm, para assegurar uma colagem eficiente;
- e) utilização de chapas metálicas com espessura menor que 3 mm, exceto nos casos em que são empregados conectores metálicos nas áreas de ancoragem;
- f) durante a colagem das chapas, é necessário exercer pressão constante para eliminar o excesso de adesivo, mantendo o escoramento da peça até a cura total do produto, conforme as instruções do fabricante;
- g) adoção de medidas de proteção contra incêndio, considerando a baixa resistência térmica das resinas epóxi utilizadas no processo.

Por se tratar de chapas de aço expostas diretamente ao meio ambiente, essas estruturas estão sujeitas a riscos significativos de corrosão e deterioração ao longo do tempo. A ausência de uma adequada proteção química pode acelerar esse processo, comprometendo a integridade e a eficácia do reforço estrutural. Segundo Bueno (2025), essa vulnerabilidade inerente ao aço em contato com agentes atmosféricos torna imprescindível a aplicação de tratamentos anticorrosivos, que atuam como barreiras protetoras, prolongando a vida útil das chapas e assegurando o desempenho esperado do sistema de reforço.

Além disso, Branco (2012, *apud* Higashi, 2016) ressalta que os agentes atmosféricos podem comprometer a durabilidade da cola utilizada na colagem das chapas, especialmente com o aumento da temperatura, o que pode reduzir a aderência ao concreto. Caso a execução do reforço não seja rigorosa, essa perda de adesão pode causar o deslocamento das extremidades das chapas, prejudicando a eficácia do reforço estrutural.

Além dos aspectos já mencionados, uma limitação relevante dessa técnica é o peso elevado das chapas quando se trata de peças maiores, que pode dificultar tanto o manuseio durante a aplicação quanto sua utilização em estruturas com grandes vãos. Essa condição é apontada por Reis (1998 *apud* Parente Neto *et al.*, 2021) como um fator que pode restringir a adoção do método em determinadas situações.

3.3.3 Protensão Externa

Consiste em um método de reforço que aplica esforços externos à estrutura de concreto armado, por meio de elementos protendidos posicionados fora da seção resistente. Segundo Mariano (2015), a protensão externa é realizada com a instalação de cordoalhas externas ao

concreto, com apoio de desviadores metálicos, visando recuperar a capacidade original da estrutura ou adaptá-la a cargas superiores. Trata-se de uma técnica eficiente e versátil, amplamente empregada para reforço estrutural em concreto armado.

A aplicação da protensão externa, ilustrada na Figura 7, busca introduzir uma carga axial combinada com um momento fletor na viga de concreto armado, com o intuito de aumentar sua resistência à flexão e, em menor escala, ao esforço cortante, além de reduzir deformações e controlar fissuras no elemento estrutural (Lima, 2020). Por meio dessa técnica, é possível não só elevar os limites estruturais originais, mas também proporcionar maior controle sobre os estados limites de serviço, consolidando-se como uma solução eficaz para o reforço e a reabilitação de estruturas submetidas a condições adversas de carregamento.

Figura 7 – Reforço estrutural com protensão externa.



Fonte: Freyssinet (2025)

A protensão externa, ilustrada na Figura 8, também se destaca por possibilitar sua aplicação em estruturas em uso, sem a necessidade de longas interrupções. Segundo Oliveira (2020), essa técnica tem sido amplamente empregada no reforço de pontes no Brasil, pois permite aumentar a capacidade resistente sem modificar a seção original da estrutura ou interromper seu funcionamento. Além disso, Santana (2024) ressalta que diferente de outras técnicas, a protensão externa não exige o alívio dos esforços atuantes na peça a ser reforçada e possibilita a execução em grandes vãos, ampliando seu campo de aplicação.

Figura 8 – Reforço estrutural com protensão externa.



Fonte: STS (2021)

A técnica da protensão externa apresenta diversas vantagens técnicas e operacionais, mas também envolve alguns desafios que devem ser considerados durante sua aplicação. Conforme apontado por Oliveira (2020), os principais benefícios e limitações associados ao método são:

Vantagens:

- a) permite que a edificação continue em uso durante a realização do reforço;
- b) proporciona facilidade de acesso às cordoalhas para inspeções, manutenções e eventuais substituições;
- c) acrescenta pouca carga adicional à estrutura já existente;
- d) simplifica o processo de instalação dos cabos por estarem posicionados externamente à seção;
- e) oferece versatilidade no traçado dos cabos, possibilitando o controle de momentos positivos e negativos;
- f) reduz custos com escoramentos e fôrmas convencionais;
- g) diminui as perdas de protensão, já que os cabos não possuem aderência com o concreto;
- h) dispensa a injeção de pasta de cimento nos cabos;
- i) facilita o manuseio dos macacos de protensão para monocordoalhas, em razão da leveza e da capacidade dos equipamentos;
- j) elimina a necessidade de aumentar a seção estrutural, reduzindo o consumo de concreto.

Desvantagens:

- a) como os cabos são externos, ficam mais vulneráveis a impactos e ao fogo;

- b) exige o uso de equipamentos específicos e mão de obra qualificada;
- c) demanda cuidados rigorosos com proteção contra corrosão e exposição ao ambiente;
- d) os pesos dos blocos de ancoragem e desviadores devem ser considerados na carga permanente da estrutura;
- e) requer um comprimento estrutural suficiente para o adequado posicionamento dos cabos e acessórios;
- f) pode implicar na remoção de vigas transversinas para permitir a passagem das cordoalhas.

Trata-se de uma técnica que se mostra mais eficaz e viável em grandes obras, tanto do ponto de vista econômico quanto operacional. Ainda segundo Santana (2024), é um método relativamente oneroso e complexo na execução, sendo especialmente indicado para intervenções em estruturas de grande porte, como pontes e viadutos, onde a paralisação do tráfego causaria transtornos significativos à população. Por isso, essa técnica é recomendada quando a continuidade do uso da estrutura durante a obra é fundamental.

Além de sua aplicabilidade em estruturas em uso, a protensão externa também tem se mostrado eficaz no reforço de elementos que já apresentam danos. Por atuar externamente à seção estrutural, essa técnica pode induzir reações que contribuem para a recuperação da geometria e da funcionalidade original do elemento, promovendo a redução das deformações previamente existentes. Nesse contexto, Souza Junior *et al.* (2020) apontam que a técnica apresentou bom desempenho em estruturas comprometidas, permitindo sua execução sem provocar interferências destrutivas adicionais.

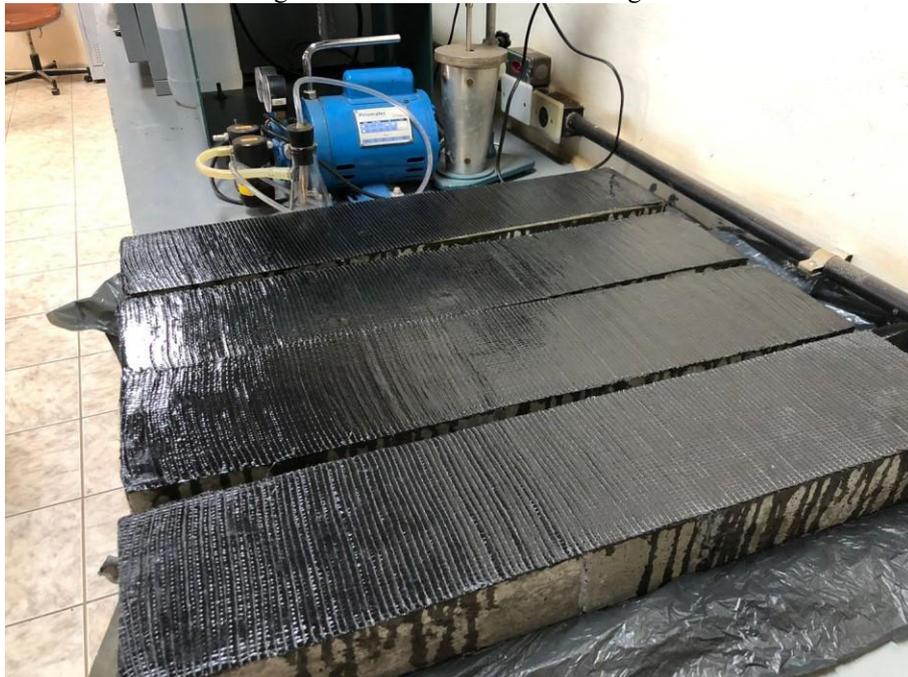
A execução da protensão externa exige etapas prévias de avaliação e preparação da estrutura, além de cuidados específicos durante a aplicação da técnica, de modo a garantir a eficácia do reforço e a integridade da estrutura existente. Os principais procedimentos a serem adotados, segundo Lima (2020), são os seguintes:

- a) identificar previamente o tipo de solicitação estrutural para que a técnica seja corretamente aplicada;
- b) selecionar cabos, conectores e desviadores compatíveis com o projeto, assegurando a qualidade da execução;
- c) reforçar as regiões de ancoragem e os pontos de desvio dos cabos, onde há maior concentração de tensões;
- d) realizar a protensão utilizando macacos apropriados, cuja capacidade atenda às exigências de carga previstas em projeto.

3.3.4 Polímero Reforçado com Fibra de Carbono (CFRP)

De acordo com Mendes, Clivatti e Araujo (2016), a fibra de carbono, apresentada na Figura 9, é um material que possui propriedades mecânicas excepcionais, resultantes do processo de carbonização de fibras de polímeros orgânicos como o rayon, a poliacrilonitrila (PAN) e o piche de petróleo, esse processo ocorre em altas temperaturas, aproximadamente 3000 °C, possibilitando o alinhamento dos átomos de carbono ao longo das fibras, criando um material leve, sólido e que possui grande resistência à tração.

Figura 9 – Fibras de carbono em vigas.



Fonte: Amaral (2023)

Segundo Gouvêa (2023), um compósito é formado pela combinação de materiais que não se dissolvem entre si, resultando em um produto de qualidade superior. O compósito de fibra de carbono possui dois constituintes básicos para sua formação: a matriz polimérica e o elemento estrutural. A matriz do compósito, geralmente uma resina, consiste em uma fase contínua que envolve a fase dispersa formada pelas fibras. As fibras suportam os esforços mecânicos, enquanto a matriz distribui tensões e protege contra agentes externos.

O uso do CFRP em reforços estruturais tem se estabelecido como uma ótima solução em projetos de restauração e adaptação de estruturas de concreto armado. Esse tipo de reforço é especialmente utilizado em casos que requerem um aumento de resistência à flexão, compressão ou cisalhamento, sem adicionar peso significativo à estrutura existente. Segundo Ramos (2023), as fibras de carbono apresentam alta resistência à tração, elevado módulo de

elasticidade e baixa massa específica, características que as tornam ideais em aplicações que exigem desempenho estrutural elevado associado ao baixo peso.

A aplicação do CFRP é comum na recuperação de vigas, lajes e pilares que apresentam deterioração ou não atendem mais às exigências de carga. De acordo com Ramos (2023), a aplicação ocorre geralmente nas zonas tracionadas, utilizando adesivos epóxi que garantem a transferência eficaz de esforços entre o concreto e o compósito. Além disso, Freitas (2023), ressalta que a utilização do CFRP não se limita apenas à recuperação, mas também pode ser aplicada para aumentar a resistência do elemento caso ele tenha alguma limitação construtiva. Logo, quando vigas ou pilares não podem ter suas dimensões geométricas alteradas, o CFRP surge como alternativa viável para o incremento de capacidade resistente.

De acordo com Ramos (2023) o processo de execução do reforço com fibras de carbono pode ser realizado da seguinte maneira:

- a) Recuperação e o preparo do substrato de concreto: a primeira etapa consiste na regularização da superfície de concreto por meio do uso de argamassa polimérica, com o intuito de corrigir imperfeições e garantir uma resistência mecânica apropriada. Esse preparo é fundamental para assegurar uma transferência eficiente de esforços que ocorre na interface entre o concreto e o compósito de fibra de carbono. Vale destacar que a técnica de aplicação pode variar conforme o tipo de reforço escolhido, sendo este, uma manta ou uma lâmina;
- b) Limpeza do local: depois da regularização, a superfície deve ser limpa para remover poeira, óleos, graxas, partículas soltas e quaisquer resíduos que possam comprometer a aderência do reforço;
- c) Aplicação de primer epóxi: na sequência, uma camada de primer epóxi é aplicada sobre o concreto, este produto tem a função de impregnar os poros da superfície e facilitar a adesão entre o concreto e os demais elementos do sistema de reforço;
- d) Aplicação da resina epóxi: após um intervalo de cerca de duas horas após a aplicação do primer epóxi, inicia-se a utilização da resina epóxi saturante no substrato. A resina pode ser aplicada diretamente na estrutura ou na manta;
- e) Instalação da fibra de carbono: logo após a aplicação da resina, é feita a colocação da fibra de carbono, que pode se apresentar em forma de manta ou lâmina. A instalação deve ocorrer dentro do tempo útil da resina, que gira em torno de 25 minutos, para garantir a aderência e eficácia do sistema;
- f) Aplicação em camadas: nos casos em que várias camadas de reforço sejam necessárias,

o processo de saturação e aplicação é repetido, lembrando que para assegurar o desempenho adequado, é preciso remover as bolhas entre as camadas, utilizando rolos específicos;

- g) Cura e acabamento: o tempo de cura da resina é, geralmente, de 7 dias, conforme especificação do fabricante. Após finalizar a cura, pode ser feito um acabamento estético ou protetivo. Normalmente as opções mais comuns são, pinturas com tinta resistente a radiações ultravioleta e revestimentos em concreto projetado.

As vantagens do uso dos compósitos de fibra de carbono no reforço de estruturas de concreto armado, conforme Batista *et al.* (2017), incluem: a elevada resistência às tensões de tração e cisalhamento, o baixo peso do material, sua resistência à corrosão, a adaptabilidade de aplicação em diferentes geometrias e, principalmente, a agilidade na execução do reforço. Outro fator importante, segundo Pedroza e Abdalla (2024), é a elevada durabilidade do CFRP, uma vez que o material não sofre deterioração em função da ação de agentes agressivos, sejam eles químicos, físicos ou biológicos, o que contribui diretamente para a longevidade e o desempenho contínuo do sistema de reforço ao longo do tempo.

No entanto, apesar das vantagens, o uso de CFRP também apresenta algumas desvantagens que devem ser consideradas. De acordo com Freitas (2023), o alto custo dos materiais e da mão de obra qualificada pode representar um desafio significativo para o projeto. Além disso, um dos principais desafios é a sensibilidade do material a superfícies irregulares, mal preparadas ou com um nível de umidade excessivo. Nesses casos, a capacidade de adesão do compósito pode ser comprometida, resultando em falhas precoces no reforço. Outra limitação do CFRP, segundo Pedroza e Abdalla (2024), é a sua baixa resistência à exposição prolongada a raios ultravioletas, o que pode levar à deterioração da matriz polimérica que envolve as fibras de carbono.

4 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta o percurso metodológico utilizado para alcançar os objetivos propostos, detalhando os procedimentos, as estratégias e os recursos necessários para este fim.

4.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Para metodologia deste trabalho adotou-se uma abordagem qualitativa, pois tem o intuito de aprofundar a compreensão sobre as principais técnicas de reforço aplicadas em estruturas de concreto armado. A abordagem qualitativa foi escolhida por sua capacidade de proporcionar uma análise mais sensível às particularidades de cada técnica estudada. Segundo Coelho (2019) a pesquisa qualitativa considera que existe uma relação entre o mundo e o sujeito além daquela traduzida em números.

A respeito do objetivo, a pesquisa tem caráter descritivo e exploratório, uma vez que, ao mesmo tempo em que visa aprofundar o entendimento sobre o assunto, também busca descrever suas características, os critérios de escolha de cada método e os cuidados necessários para sua execução. De acordo com Coelho (2019) a pesquisa exploratória é um tipo de pesquisa, cujo propósito é conduzir um estudo para que o pesquisador se acostume com o objeto de investigação durante a pesquisa.

4.2 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Inicialmente, foi realizada a revisão bibliográfica, utilizando fontes como dissertações e artigos científicos. O levantamento desses materiais foi realizado por meio de consultas em base de dados como, Google Acadêmico, Scielo, Repositórios e Periódicos CAPES. Para coleta dos materiais, foram empregadas palavras chaves relacionadas ao tema, além de filtros temporais, priorizando publicações dos últimos dez anos para obter resultados mais atuais e relevantes. O objetivo dessa etapa foi entender os fundamentos teóricos, os campos de aplicação das técnicas de reforço como também os critérios técnicos para escolha do melhor método em cada caso.

Foi feita uma análise de referências bibliográficas que tratam das principais técnicas de recuperação e reforço estrutural em estruturas de concreto armado. O levantamento considerou diversas metodologias e soluções, com ênfase em técnicas de reforço com chapas de aço, fibras de carbono, protensão externa e encamisamento. As informações coletadas foram organizadas de maneira sistemática para permitir uma análise mais detalhada sobre cada método.

4.3 ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Realizou-se a identificação das principais manifestações patológicas que indicam a necessidade de reforço estrutural, como fissuras, trincas, infiltrações e corrosão das armaduras. A pesquisa destacou como cada patologia pode impactar no desempenho e na resistência da estrutura e como a identificação precisa dessas patologias é essencial para orientar na escolha da solução mais apropriada. Desse modo, para cada manifestação patológica, foi analisada qual técnica de reforço é mais indicada, considerando a capacidade de restaurar e melhorar o desempenho da edificação.

4.4 DESCRIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS EXECUTIVOS

Foi realizada uma análise detalhada dos procedimentos executivos das técnicas de reforço mais utilizadas em estruturas de concreto armado. Para cada método, foram detalhados os passos indispensáveis para sua execução, como a preparação da superfície, que inclui a limpeza da área afetada e correção de imperfeições, como o tratamento de fissuras, a escolha dos materiais, que depende do método a ser utilizado e a maneira de aplicar o reforço. Além do mais, foram considerados os procedimentos básicos de verificação após a execução, visando assegurar que o reforço foi realizado adequadamente e está funcionando como previsto.

4.5 ANÁLISE CRÍTICA DAS TÉCNICAS

Após a coleta e organização das informações adquiridas nas etapas anteriores, foi realizada uma análise crítica das principais técnicas de reforço citadas no referencial teórico. Os aspectos analisados foram o custo de execução, a facilidade em se obter a matéria prima, a complexidade de execução. Além disso, foram analisadas para cada técnica suas vantagens, como facilidade de execução, rapidez na aplicação e aumento da resistência, mas também suas desvantagens, como custo elevado e necessidade de mão de obra especializada para aplicação. Por fim, foi possível observar qual opção é mais adequada para os principais casos patológicos anteriormente analisados.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo, estão apresentados os dados coletados através do levantamento bibliográfico, juntamente com uma análise interpretativa e crítica desses materiais.

5.1 LEVANTAMENTO DOS TRABALHOS

A busca inicial resultou na identificação de aproximadamente 20.880 títulos, distribuídos entre as bases de dados Google Acadêmico, Scielo e Periódicos Capes. Essa etapa utilizou as palavras-chave “reforço estrutural; concreto armado”, com o objetivo de captar um panorama geral sobre o tema. Para refinar os resultados e garantir a relevância, foi aplicado um filtro que considerou apenas os últimos 10 (dez) anos, o que reduziu de maneira considerável a quantidade de publicações.

Em seguida, utilizando termos mais específicos, como “reforço por encamisamento”, “reforço com chapas de aço”, “reforço com fibras de carbono” e “reforço por protensão externa”, o número total de documentos foi reduzido ainda mais, restando apenas os trabalhos que discutem diretamente as técnicas de reforço estrutural em elementos de concreto armado. O Quadro 1 apresenta o resumo das quantidades obtidas.

Quadro 1 – Resumo da busca na base de dados.

BASE DE DADOS	PRIMEIRA BUSCA	%	FILTRO DE 10 ANOS	%	FILTRO COM PALAVRAS CHAVES	%
Google Acadêmico	20800	99,62%	13800	99,60%	7629	99,78%
Scielo	37	0,177%	22	0,16%	5	0,07%
Periódico Capes	43	0,206%	33	0,24%	12	0,16%
Processo Snowballing	-	-	-	-	-	-
TOTAL	20880	100,00%	13855	100,00%	7646	100,00%
BASE DE DADOS	TRABALHOS SELECIONADOS	%	AVALIAÇÃO DOS TÍTULOS	%	LEITURA DINÂMICA DO TRABALHO	%
Google Acadêmico	37	39%	21	37%	20	39%
Scielo	5	5%	3	5%	2	4%
Periódico Capes	10	11%	8	14%	6	12%
Processo Snowballing	42	45%	25	44%	22	45%
TOTAL	94	100%	57	100%	50	100%

Fonte: Autoria própria

A filtragem resultou na seleção de 50 trabalhos que atendem aos critérios determinados para esta revisão bibliográfica.

5.1.1 Divisão dos Trabalhos

Esses estudos foram organizados de acordo com o tipo de reforço estrutural abordado, bem como sua natureza (dissertação, artigo ou livro), conforme mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Distribuição dos trabalhos segundo o tipo de reforço.

Tema	Total	Dissertações	Artigos	Livro
Reforço por encamisamento	5	4	1	-
Reforço com chapas de aço	6	3	3	-
Reforço com fibras de carbono	8	5	3	-
Reforço por protensão externa	7	4	3	-
Trabalhos com mais de um tipo de reforço	15	8	7	-
Patologias em estruturas de concreto	7	4	3	2

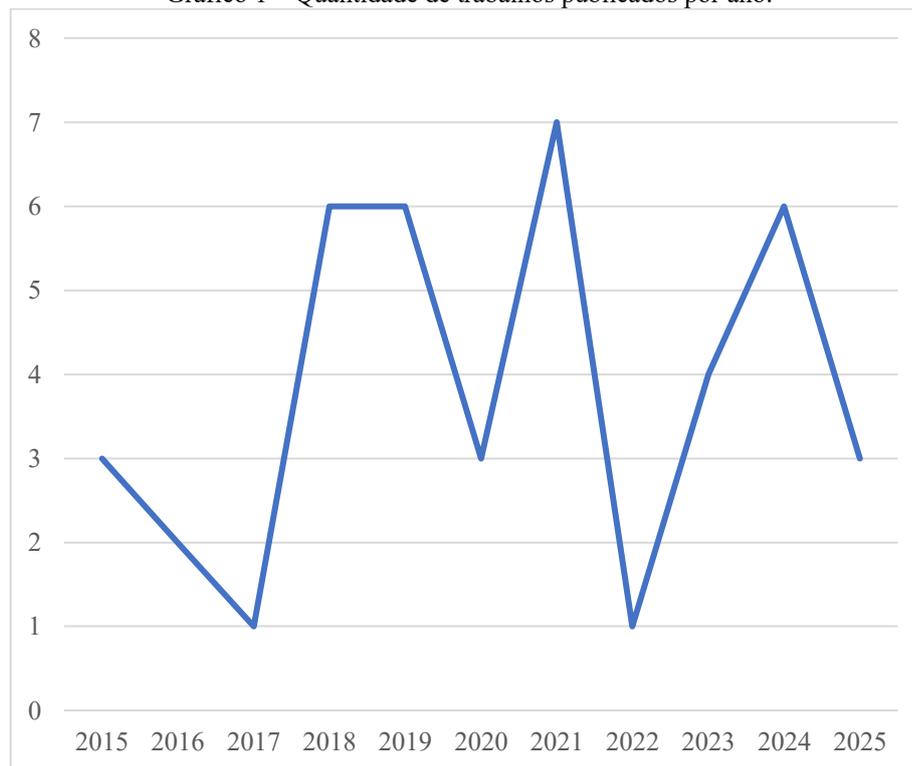
Fonte: Autoria própria

Observando a distribuição dos trabalhos, constatou-se que a abordagem mais recorrente na literatura corresponde à estudos que tratavam de mais de um tipo de reforço estrutural, somando 16 publicações. Esse dado indica um aumento na busca por soluções que combinam ou comparam os diferentes métodos de reforço estrutural.

5.1.2 Análise Temporal

O levantamento temporal foi realizado com o objetivo de analisar a progressão dos estudos a respeito das técnicas de reforço em estruturas de concreto armado ao longo do tempo. A análise permitiu destacar os períodos de maior concentração de estudos, especialmente os anos de 2018, 2019, 2021 e 2024, que tiveram maior número de publicações, evidenciando momentos em que o tema ganhou maior relevância dentro da comunidade acadêmica. Isso demonstra que se trata de um assunto relevante e ainda atual, com estudos recentes que reforçam sua importância e contínua investigação na área. O Gráfico 1 apresenta a linha do tempo das publicações.

Gráfico 1 – Quantidade de trabalhos publicados por ano.



Fonte: Autoria própria

5.2 REFORÇO POR ENCAMISAMENTO

Entre os materiais revisados, foram identificados diversos que abordam o reforço estrutural por meio do encamisamento com concreto, demonstrando a importância dessa técnica, especialmente em elementos estruturais que apresentam perda de capacidade resistente. Estudos como os de Leão (2025) e Santos e Avelar (2018) destacam o reforço por encamisamento como uma solução frequentemente utilizada em obras de reabilitação.

De acordo com o estudo de Leão (2025), a escolha da técnica de reforço por encamisamento se baseia em critérios técnicos como a necessidade de aumento da capacidade resistente dos elementos, principalmente em pilares e vigas submetidos a elevadas cargas. O autor destaca que essa técnica se mostrou especialmente indicada em casos onde há redução na capacidade resistente da seção original, seja devido à deterioração do concreto, corrosão das armaduras ou pela necessidade de adaptar a estrutura a novas condições de carga.

Do ponto de vista prático, Santos e Avelar (2018) relatam que a utilização do encamisamento foi fundamental para assegurar a estabilidade de uma construção, onde ocorreu uma mudança significativa na carga estrutural devido a inclusão de um novo pavimento e laje pré-moldada. O reforço foi realizado seguindo as diretrizes do *Comité Euro-International du Béton* de 1983, que envolveu etapas fundamentais como, a escarificação da superfície,

saturação adequada do concreto antigo, uso de concreto com resistência superior e o controle da cura, visando uma boa aderência entre os materiais.

Ainda segundo os autores, a análise do comportamento estrutural após a execução do reforço evidenciou a eficácia do método adotado mediante as novas solicitações aplicadas à estrutura, uma vez que não foram identificadas fissuras, trincas ou qualquer outro tipo de patologia que indicasse falhas na concepção ou na execução do reforço, comprovando a adequação técnica da solução adotada.

A pesquisa realizada por Santos e Avelar (2018) também enfatiza que, do ponto de vista financeiro, a técnica de reforço estrutural por encamisamento é um dos reforços mais econômicos, devido à utilização de materiais amplamente disponíveis e à mão de obra comum. No entanto, Leão (2025) ressalta que, o aumento da seção transversal dos pilares pode representar um ponto negativo, já que interfere diretamente na arquitetura do ambiente, reduzindo o espaço útil e alterando o aspecto original da estrutura.

5.3 REFORÇO COM CHAPAS DE AÇO

Entre os materiais analisados, foram identificados diversos estudos que exploram o reforço estrutural com chapas de aço coladas por meio de adesivo epóxi, evidenciando o interesse crescente por essa técnica em virtude de sua eficiência e aplicabilidade em estruturas de concreto armado. Trabalhos como os de Batti e Silva (2015) e Deghenhard *et al.* (2016) exemplificam essa abordagem, apresentando diferentes configurações de aplicação e avaliando o desempenho estrutural das vigas reforçadas.

Batti e Silva (2015) utilizaram o adesivo estrutural epóxi bicomponente de uma marca reconhecida no mercado, com alta aderência, resistência mecânica e química, além de ser impermeável e atingir cura total em sete dias. A aplicação seguiu as recomendações do fabricante, incluindo a limpeza da superfície com escova de aço, verificação da ausência de resíduos e homogeneização do adesivo por cinco minutos. Antes da colagem, ranhuras foram feitas com lixa N50 na viga e nas chapas de aço para melhorar a aderência. O adesivo foi aplicado com espátula, respeitando a espessura máxima de 2 mm.

Ainda neste mesmo estudo, obteve-se desempenho satisfatório com o uso do reforço por chapas de aço coladas com adesivo epóxi. As vigas íntegras reforçadas apresentaram aumento de 50% na capacidade de carga em relação às vigas de referência, enquanto uma viga previamente rompida e recomposta com epóxi obteve ganho de 49,20%. Em contrapartida, aquelas com fissuras preenchidas com argamassa apresentaram redução de 58,70% na

resistência. A aplicação do adesivo, além de prática, mostrou-se eficaz na colagem das chapas de aço SAE 1020, contribuindo significativamente para o aumento da resistência. Assim, o reforço demonstrou elevada eficiência tanto em elementos íntegros quanto em vigas recompostas com epóxi.

Deghenhard *et al.* (2016) analisaram o desempenho de chapas de aço SAE 1020 coladas em vigas de concreto armado, variando espessuras e comprimentos. Concluíram que espessuras maiores (1,50 mm e 2,25 mm) provocaram destacamento prematuro, tornando-se inviáveis sem ancoragem. A espessura de 0,75 mm, por outro lado, mostrou-se eficiente e de rápida aplicação, dispensando o uso de pinos. Quanto ao comprimento, chapas de 150 cm elevaram a resistência, mas apresentaram falhas por destacamento. Já as de 80 cm foram consideradas inadequadas devido ao destacamento precoce. Os autores destacam que, embora a técnica seja viável e de baixo custo, sua eficiência depende de uma ancoragem adequada e de cuidados com a durabilidade, como a prevenção à corrosão, especialmente em aplicações reais.

5.4 REFORÇO POR PROTENSÃO EXTERNA

A protensão externa tem se consolidado como uma técnica eficaz de reforço estrutural, especialmente em elementos lineares submetidos à flexão, como vigas e pontes. Sua aplicação permite o acréscimo de esforços de tração por meio de cabos ou barras externas, resultando em melhorias no desempenho estrutural sem a necessidade de intervenções invasivas. Estudos recentes reforçam a viabilidade dessa técnica, tanto em laboratório quanto em aplicações reais.

Souza Junior *et al.* (2020) demonstraram que, após a aplicação da protensão externa, houve uma recuperação significativa dos deslocamentos em vigas previamente comprometidas, indicando melhora na rigidez do sistema. Além disso, a capacidade de carga da viga foi elevada de 50 kN para cerca de 80 kN, representando um aumento de 60% em relação ao valor originalmente previsto, mesmo desconsiderando possíveis perdas relacionadas à deterioração estrutural anterior.

Oliveira (2020) analisou a aplicação da técnica em pontes de concreto armado pré-moldado, ressaltando sua efetividade na absorção de esforços adicionais sem alterações substanciais na geometria da estrutura original. O autor também destaca que tanto as normas técnicas quanto a literatura nacional oferecem respaldo adequado para a utilização da protensão externa, desde que acompanhadas por rotinas rigorosas de inspeção e manutenção para garantir a durabilidade e a segurança da intervenção.

Romanichen e Souza (2019) concluíram que o reforço de consolos por meio da

instalação de barras externas pós-tensionadas configura-se como uma alternativa técnica viável e eficiente. O método foi capaz de elevar significativamente a capacidade de carga desses elementos, além de reduzir a incidência de fissurações, o que reforça a versatilidade da técnica em diferentes tipos de componentes estruturais.

5.5 REFORÇO COM FIBRAS DE CARBONO

Os estudos analisados nesta pesquisa apontam os compósitos de fibra de carbono (CFRP) como uma solução eficiente e inovadora para o fortalecimento de estruturas de concreto armado. Estudos como os de Parente Neto *et al.* (2021) e Pedroza e Abdalla (2024), apresentam diferentes técnicas de aplicação do CFRP e avaliam o desempenho estrutural de elementos de concreto armado reforçados com esse material

Conforme evidenciado por Pedroza e Abdalla (2024), os CFRP oferecem um desempenho superior aos métodos tradicionais de reforço, como a utilização de chapas de aço e encamisamento. Isso se dá em razão de sua elevada resistência mecânica, leveza, resistência à corrosão e elevada capacidade de suportar tensões. Essas características reduzem consideravelmente o peso adicional nas estruturas e garantem maior durabilidade ao sistema reforçado.

Além disso, Pedroza e Abdalla (2024), enfatizam que os CFRP são altamente eficazes em elementos estruturais como pilares, vigas e lajes, apresentando um aumento considerável na capacidade de cargas, redução de deformações e melhora na durabilidade, oferecendo maior eficiência estrutural, menor impacto ambiental e redução do tempo de execução, sem implicar alterações na configuração arquitetônica original da edificação. Segundo Parente Neto *et al.* (2021), o CFRP também é bastante recomendado em casos de ocorrências de fissuras por causas mecânicas devido principalmente à sua elevada resistência à tração.

Contudo, ambos os estudos apontam que, apesar dos benefícios evidentes, o uso do CFRP apresenta limitações significativas, como o alto custo, que representa um obstáculo significativo, além disso a dificuldade em encontrar a matéria prima, juntamente com a necessidade de profissionais capacitados para realizar sua execução, limitam sua implementação em projetos menores.

Por fim o Quadro 3 mostra as principais características dos métodos de reforço analisados. A partir dessas informações, é possível identificar qual técnica é mais adequada conforme as propriedades e necessidades específicas de casos principais. Observa-se que o reforço com chapas de aço foi o que se mostrou mais versátil, apresentando um bom

desempenho em um maior número de situações quando comparado aos demais métodos.

Quadro 3 – Métodos de reforço recomendados para casos principais.

TIPO DE REFORÇO				
Características	Encamisamento	Fibras de Carbono	Chapas de Aço	Protensão Externa
Tempo de aplicação	Não Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado
Preservação da arquitetura	Não Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado
Custo	Recomendado	Não Recomendado	Recomendado	Não Recomendado
Facilidade de encontrar a matéria prima	Recomendado	Não Recomendado	Recomendado	Não Recomendado
Facilidade de encontrar mão de obra	Recomendado	Não Recomendado	Recomendado	Não Recomendado
Acréscimo de peso	Não Recomendado	Recomendado	Não Recomendado	Recomendado
Facilidade de execução	Recomendado	Não Recomendado	Não Recomendado	Não Recomendado
Desempenho do reforço	Recomendado	Recomendado	Recomendado	Recomendado

Fonte: Autoria própria

6 CONCLUSÃO

Diante do que foi desenvolvido ao longo deste trabalho, constata-se que o objetivo principal de analisar as principais técnicas de reforço estrutural aplicadas em estruturas de concreto armado foi alcançado. Por meio da revisão bibliográfica, foi possível compreender as vantagens, limitações e condições de aplicabilidade de cada método, considerando aspectos como o tipo de solicitação estrutural, o grau de deterioração, as condições de execução e os recursos disponíveis. Essa análise permitiu ampliar o entendimento técnico sobre o tema e evidenciou a relevância do reforço estrutural como estratégia essencial para a reabilitação e o prolongamento da vida útil das edificações em concreto armado.

A realização deste estudo evidenciou a importância do reforço estrutural como uma ferramenta técnica fundamental para restaurar ou ampliar a capacidade resistente de elementos em concreto armado. Diversos fatores contribuem para a necessidade dessas intervenções, desde falhas de projeto e execução até alterações no uso da edificação ou desgaste natural ao longo do tempo. Foram discutidas quatro técnicas amplamente utilizadas na engenharia estrutural: encamisamento, chapas de aço coladas, protensão externa e fibras de carbono. Cada uma delas apresenta particularidades que interferem diretamente na sua viabilidade técnica e econômica.

O encamisamento, apesar de ser uma técnica eficaz, pode alterar de maneira significativa a estética e a geometria da estrutura, uma vez que consiste na adição de uma nova camada de concreto armado ao redor do elemento estrutural existente. Essa técnica é comprovadamente eficiente no incremento da capacidade resistente, porém tem como principal limitação a alteração das dimensões originais da seção transversal, o que pode afetar negativamente os aspectos arquitetônicos e funcionais da estrutura.

Por outro lado, o reforço com chapas de aço oferece aplicação prática e baixo custo, sendo caracterizado pela fixação de chapas metálicas à superfície do elemento estrutural por meio de adesivos estruturais, esta solução oferece praticidade executiva e custo competitivo, entretanto, exige atenção especial com os processos de corrosão, o tratamento adequado das superfícies e à garantia de aderência eficiente entre os materiais envolvidos.

A técnica de protensão externa é considerada uma solução eficaz para o reforço de estruturas de concreto armado, especialmente em situações em que a estrutura permanece em uso durante a realização do reforço. Contribuindo consideravelmente no aumento da capacidade resistente e para o controle de deformações, contudo, sua implementação requer maior complexidade na execução, profissionais qualificados e rigoroso controle dos processos

construtivos. Fatores que influenciam diretamente no custo e na viabilidade da técnica.

Já o uso de compósitos de fibra de carbono representa uma solução moderna e de alto desempenho, combinando leveza, alta resistência e rápida instalação. Esses atributos fazem dessa técnica uma solução altamente eficiente para intervenções que exigem agilidade na execução, mínima interferência no uso da edificação e preservação dos elementos arquitetônicos originais. No entanto, apesar de suas vantagens, a adoção dessa técnica ainda encontra limitações, sobretudo em função do alto custo dos materiais e da necessidade de mão de obra especializada para garantir a correta aplicação.

Observa-se, portanto, que a escolha da técnica de reforço depende de fatores concretos, como o impacto na geometria da estrutura, a necessidade de mão de obra especializada, os custos envolvidos, o tempo disponível para execução e o grau de interferência no uso da edificação. Técnicas distintas atendem a demandas diferentes, e não há uma solução universalmente superior. A decisão deve sempre considerar as condições específicas da estrutura, a gravidade dos danos e os objetivos da intervenção, sendo fundamental uma análise técnica criteriosa para garantir eficácia e durabilidade.

Nesse sentido, esse trabalho buscou reunir e comparar métodos que, embora distintos entre si, compartilham o mesmo propósito: prolongar a vida útil das construções com segurança, economia e responsabilidade técnica. Espera-se que ele possa servir como base para decisões conscientes, bem como estímulo à continuidade dos estudos sobre o tema.

Trabalhos futuros poderão contribuir ainda mais, especialmente por meio de investigações práticas, testes experimentais e estudos de caso que explorem o comportamento real das estruturas após o reforço. A engenharia civil se fortalece quando teoria e prática caminham juntas, ampliando a eficácia das soluções aplicadas.

REFERÊNCIAS

AMARAL, J. M. **Análise do processo de recomposição em vigas de concreto armado com reforço de fibra de carbono.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2023. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/33669>. Acesso em 12 ago. 2025.

ANDOLFATO, R. P. **Controle tecnológico básico do concreto.** 1 ed. Ilha Solteira: NEPAE, 2002.

ANONI, L. G.; RODRIGUES, M. R. P. Manual sobre diagnóstico de fissuras em edificações residenciais. **Revista Acadêmica-Ensino de Ciências e Tecnologias**, v. 10, p. 69-86, jan./jun. 2022. Disponível em: <https://intranet.cbt.ifsp.edu.br/qualif/volume10/artigo8.pdf>. Acesso em 12 ago. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 5674:** manutenção de edificações – requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 6118:** projeto de estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro, 2023.

BARRETO, M. V. C. **Estudo das manifestações patológicas em paredes de concreto armado.** Síntese do método construtivo e tratamento aplicado a um condomínio residencial em Campo Grande, MS. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/11930>. Acesso em 3 ago. 2025.

BATISTA, J. T. M.; SILVA, V. A.; REZENDE, E. C. L.; MONTEIRO, E. C. B. Reforço com compósito de fibras de carbono: alternativa moderna no cotidiano das obras. *In:* CONFERÊNCIA NACIONAL DE PATOLOGIA NAS CONSTRUÇÕES – CONPAR, Recife, 2017. Disponível em: <http://revistas.poli.br/index.php/CONPAR/article/view/593>. Acesso em 26 maio 2025.

BATTI, M. M. B.; SILVA, B. do V. **Análise experimental de vigas de concreto armado reforçadas ao cisalhamento com chapa de aço.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma-SC, 2015. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/4045>. Acesso em 3 ago. 2025.

BOLINA, F. L.; TUTIKIAN, B. F.; HELENE, P. **Patologia de estruturas.** 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

BUENO, T. S. **Análise das estratégias de reforço estrutural utilizadas em um supermercado de Porto Alegre para adaptá-lo a um salão de vendas com porta-paletes.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2025. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/289927>. Acesso em 4 jul. 2025.

CARDOZO, P. M. **Manifestações patológicas em estruturas de concreto armado: estudo de caso em Santa Maria - RS.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2023. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/31106>. Acesso em 26 mai. 2025

COELHO, B. **Tipos de pesquisa: abordagem, natureza, objetivos e procedimentos.** Mettzer, 2019. Disponível em: <https://blog.mettzer.com/tipos-de-pesquisa/>. Acesso em: 27 fev. 2025.

DEGHENHARD, C. C.; TEIXEIRA, T.; VARGAS, A.; VITO, M.; PICCININI, Â. C.; SILVA, B. do V. Análise experimental de distintas configurações de chapa metálica no reforço à flexão em vigas de concreto armado. **Revista ALCONPAT**, v. 6, n. 2, p. 190 – 201, mai./ago. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.21041/ra.v6i2.138>. Acesso em 7 ago. 2025.

FRAGA, I. F.; SILVA, I. P. C.; FERNANDES, M. O.; PINTO, C. P.; CHRISTOFORO, A. L. Análise de incrementos de resistência à flexão simples em elementos de concreto armado reforçados pelas técnicas de encamisamento, chapas de aço e EBR com polímeros reforçados com fibras de carbono. **Revista Principia**. João Pessoa, v. 59, n. 4, p. 1203-1223, 30, dez. 2022. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/5690>. Acesso em 29 jul. 2025.

FREITAS, G. de O. **Reforço estrutural à flexão com fibra de carbono em viga de concreto armado.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2023. Disponível em: <https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/18533>. Acesso em 26 maio 2025.

FREYSSINET. **Maintenance of post-tensioning tendons.** 2025. Disponível em <https://www.freyssinet.com/solution/repair/maintenance-post-tensioning-tendons/>. Acesso em 12 ago. 2025.

GAMA, J. P. da S. **Reabilitação e reforço de estruturas de concreto: análise estrutural e dimensionamento do reforço de uma edificação residencial.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha-MG, 2018. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/681>. Acesso em: 3 ago. 2025.

GOUVÊA, G. H. R. **Reforço estrutural com fibra de carbono: eficiência à flexão em concretos de diferentes resistências.** 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade FUMEC, Belo Horizonte, 2023. Disponível em: <https://repositorio.fumec.br/xmlui/handle/123456789/967>. Acesso em: 3 ago. 2025.

HIGASHI, M. M. Y. **Reforço de estruturas de betão armado com chapas de aço.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP, Porto, 2016. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/302868747.pdf>. Acesso em: 3 ago. 2025.

HUGO, E. W. **Análise computacional de vigas reforçadas à flexão com a utilização de chapas de aço.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) –

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/279063>. Acesso em: 3 ago. 2025.

LEÃO, L. M. **Avaliação comparativa de soluções de reforço estrutural em edifícios sujeitos a mudanças de uso e condições de carga**. 2025. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2025. Disponível em: https://sigarra.up.pt/feup/pt/pub_geral.pub_view?pi_pub_base_id=721380. Acesso em 3 ago. 2025.

LIMA, E. F. S. de S. **Recuperação estrutural de vigas de concreto armado**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Recife, 2020. Disponível em: <http://tede2.unicap.br:8080/handle/tede/1311>. Acesso em: 3 ago. 2025.

LONGHI, M. L. P. **Análise comparativa entre sistemas estruturais moldados in-loco e pré-fabricado em edificações de grande porte: um estudo de caso**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2023. Disponível em: <https://hdl.handle.net/11449/251503>. Acesso em 27 fev. 2025.

MARIANO, J. R. **Recuperação estrutural com ênfase no método da protensão externa**. 2015. Monografia (Especialização em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUBD-A9MJKE>. Acesso em 1 ago. 2025.

MARTINS, D. K. M. Corrosão de armaduras em concreto armado. **Construindo**, v. 14, n. 2, p. 33-50, jul./dez. 2022. Disponível em: <https://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/8151>. Acesso em 7 maio 2025.

MENDES, A. P.; CLIVATTI, N.; ARAUJO, S. K. de. **Análise da eficiência de compósitos de fibra de carbono utilizados como reforço estrutural em pilares esbeltos de concreto armado**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/8049>. Acesso em 26 maio 2025

NASCIMENTO, A. R. do. **Capacidade de carga de vigas de concreto armado reforçadas com perfis de aço laminado**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/5708>. Acesso em 27 fev. 2025.

NOVAES, I. M. M.; POZNYAKOV, K. Patologias em estruturas de concreto armado. **Boletim do Gerenciamento**, n. 22, p. 67-78, jan. 2021. Disponível em: <https://nppg.org.br/revistas/boletimdoGerenciamento/article/view/539>. Acesso em 11 ago. 2025.

NUNES, S. V. B.; GREGÓRIO, T. M. 2024. **Análise de manifestações patológicas em uma estrutura de concreto armado: um estudo de caso em uma instituição de ensino**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Engenharia Civil) - Instituto Federal da Paraíba, Cajazeiras, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/4014>. Acesso em 20 jul. 2025.

OLIVEIRA, M. B. **Reforço estrutural de pontes rodoviárias em concreto armado utilizando protensão externa**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/30552>. Acesso em 7 ago. 2025.

PALIGA, C. M.; NICOLINE, N. G.; PALIGA, A. R.; TORRES, A. da S. Estudo experimental de vigas de concreto armado reforçadas à flexão com chapas de aço. **Revista de Engenharia Civil IMED**, Passo Fundo, v. 6, n. 1, p. 20-37, mai. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2019.v6i1.2835>. Acesso em 7 ago. 2025.

PARENTE NETO, T. G.; SOUSA, J. L. C.; SOUSA, B. F. M.; FROTA, J. I. P.; LIMA, É. M. F. Análise teórica comparativa entre os tipos de reforço estrutural aplicados em vigas de concreto armado. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, p. 1-16, mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i13.20182>. Acesso em 27 fev. 2025.

PEDROZA, R. V.; ABDALLA, A. M. W. Utilização de compostos de fibra de carbono em reforços de estrutura de concreto armado. **Revista Tecnológica da FATEC**, v. 15, n. 1, p. 1-17, mar. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.62790/rtfv15n1-020>. Acesso em 26 mai. 2025.

POLVEIRO, A. J. F.; MIRANDA, E. S. de; SILVA, J. M. e; BACARJI, E. Materiais utilizados em reforços de estruturas de concreto: mapeamento literário. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 19, n. 1, p. 37–49, mai. 2023. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/75163>. Acesso em: 3 ago. 2025.

RAMOS, L. A. **Reforço estrutural com utilização FRP em estruturas existentes de concreto armado**. 2023. Dissertação (Mestrado em Reabilitação de Edifícios, com Especialização em Reabilitação Estrutural de Edifícios) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Coimbra, 2023. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10316/110575>. Acesso em 26 maio 2025.

REIS, L. S. N. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUDB-8AKG76>. Acesso em 26 jul. 2025.

ROMANICHEN, R. M.; SOUZA, R. A. Consolos de concreto armado reforçados com protensão externa. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 12, n. 4, p. 812-831, ago. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1983-41952019000400006>. Acesso em 28 jul. 2025.

SALES, A.; TUTIKIAN, B. F.; SOUSA, C. A. C. de; ALMEIDA, F. do C. R.; CUNHA, M. P. T.; LOURENÇO, M. Z.; CASCUDO, O.; HELENE, P. **Corrosão e degradação em estruturas de concreto: teoria, controle e técnicas de análise e intervenção**. 2 ed. Rio de Janeiro: ED. Elsevier, 2018.

SANTANA, J. S. **Dimensionamento de reforço estrutural de um prédio com alteração de funcionalidade**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) –

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/263734>. Acesso em 1 ago. 2025.

SANTOS, A. C.; SARAH, A. A.; ARAÚJO, I. V. G.; ROSSI, L. R.; CAMARGO, P. H. A.; LEITE, I. C. S. Técnicas de reforço de estruturas em concreto armado. **Caderno Pedagógico**, Curitiba, v. 21, n. 12, p. 1-23, 10, out. 2024. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/10033>. Acesso em 10 jun. 2025.

SANTOS, D. M.; AVELAR, D. S. **Reforço estrutural de pilares de concreto armado por encamisamento**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Goiás – Uni-ANHANGUERA, Goiânia, 2018. Disponível em: <http://repositorio.anhanguera.edu.br:8080/jspui/handle/123456789/54>. Acesso em 23 jul. 2025.

SECIL. **Encamisamento de elementos estruturais**. 2025. Disponível em: <https://www.secil.pt/pt/solucoes/reabilitacao/reforco-estrutural/encamisamento-de-elementos-estruturais->. Acesso em 12 ago. 2025.

SOUZA JUNIOR, J. L.; DIÓGENES, H. J. F.; SILVA, A. B.; ARAÚJO, M. M. C.; MESQUITA, M. C. O. Análise experimental de uma viga de concreto armado reforçada com barras externas protendidas. *In: IBERO-LATIN AMERICAN CONGRESS ON COMPUTATIONAL METHODS IN ENGINEERING*, 41. Foz do Iguaçu, 2020. Disponível em: <https://publicacoes.softaliza.com.br/cilamce2020/article/view/6226>. Acesso em 2 jul. 2025.

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

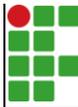
STS. **Structural strengthening**. 2021. Disponível em <https://sts-hydro.com/technologies/structural-strengthening/>. Acesso em 12 ago. 2025.

TORRES FILHO, D. Estruturas de concreto armado. 1 ed. Cajazeiras: Editora do Autor, 2021. *E-book*.

VIEIRA, A. T. **Técnicas de reforço e recuperação de estruturas de concreto armado**. 2018. Monografia (Especialização em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/50745>. Acesso em 27 fev. 2025.

WALSYWA. **Fixação para reforço estrutural em subsolo de edificação**. 2020. Disponível em: <https://walsywa.com.br/cases/fixacao-para-reforco-estrutural-em-subsolo-de-edificacao/>. Acesso em 12 ago. 2025.

ZUCCHI, F. L. **Técnicas para o reforço de elementos estruturais**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Disponível em: <https://www.academia.edu/40171915>. Acesso em 1 ago. 2025.

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus Cajazeiras - Código INEP: 25008978
	Rua José Antônio da Silva, 300, Jardim Oásis, CEP 58.900-000, Cajazeiras (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0005-07 - Telefone: (83) 3532-4100

Documento Digitalizado Restrito

TCC assinado.

Assunto:	TCC assinado.
Assinado por:	Antonio Alison
Tipo do Documento:	Dissertação
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Restrito
Hipótese Legal:	Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
Tipo da Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Antonio Alison Oliveira da Silva, ALUNO (202022200028) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS, em 25/08/2025 21:32:17.

Este documento foi armazenado no SUAP em 25/08/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1585485

Código de Autenticação: a665d117de

