

CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA
CURSO DE Engenharia Civil

Gabriel Dias Marques

Fibra de Carbono: aplicação da Fibra de Carbono no reforço das estruturas.

RECIFE
2024

Gabriel Dias Marques

Fibra de Carbono: aplicação da Fibra de Carbono no reforço das estruturas.

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Disciplina TCC II do Curso de Engenharia Civil do
Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA, como parte
dos requisitos para conclusão do curso.

Orientador(a): Prof. Me. ou Dr.ou Espec. e o nome completo.
Coorientador(a):(se houver) Prof.Me. ou Dr.ou Espec. e o
nome completo.

RECIFE
2024

Ficha catalográfica elaborada pela
bibliotecária: Laís Cardoso, CRB-4/PE-1753/P.

M357f Marques, Gabriel Dias.

Fibra de carbono: aplicação da fibra de carbono no reforço das estruturas / Gabriel Dias Marques. - Recife: Edição do Autor, 2024.

22 p. : il. color.

Orientador(a): Carolina Lima França.

Trabalho de conclusão de curso - Centro Universitário Brasileiro – Unibra. Bacharelado em Engenharia Civil, 2024.

Inclui Referências.

1. Concreto. 2. Reforço. 3. Estrutural. 4. Carbono. 5. Aplicação. I. Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA. II. Título.

CDU: 624

Gabriel Dias Marques

Fibra de Carbono: aplicação da Fibra de Carbono no reforço das estruturas.

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Disciplina TCC II do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA, como parte dos requisitos para conclusão do curso.

Examinadores:

Orientador - Titulação

Examinador 1 - Titulação

Examinador 2 - Titulação

Nota: _____

Data: ____/____/____

RESUMO

O concreto armado é a união das qualidades do concreto convencional com as características do aço. E por ser uma das técnicas de maior relevância na construção civil possibilita construir elementos das mais variadas formas e dimensões, com relativa rapidez e facilidade, para os mais variados tipos de obra. Entretanto, os elementos estruturais podem apresentar patologias que pode ser devido das intempéries, também podem ser consequência de alguma falha, ou até mesmo de um conjunto delas, em qualquer fase da sua vida útil. Neste cenário, se faz necessário haver um aprimoramento na tecnologia de reparação e reforço de estruturas, quando estas apresentam patologias que ameaçam a sua segurança. Sendo assim, a fibra de carbono, que também pode ser aplicada nos elementos estruturais como reforço, vem se destacando nessa área devido à suas vantagens. Portanto, este estudo tem por objetivo investigar as principais características estruturais na aplicação dos compósitos de fibra de carbono como reforço do concreto.

Palavras-chave: Concreto; Reforço; estrutural; carbono; aplicação.

ABSTRACT

Reinforced concrete is the union of the qualities of conventional concrete with the characteristics of steel. And because it is one of the most relevant techniques in civil construction, it allows the construction of elements of the most varied shapes and dimensions, relatively quickly and easily, for the most varied types of work. However, structural elements can present pathologies that can be caused by bad weather, or can also be a consequence of some failure, or even a set of them, at any stage of their useful life. In this scenario, it is necessary to improve the technology of parts and reinforcement of structures, when they present pathologies that threaten their safety. Therefore, carbon fiber, which can also be applied to structural elements as reinforcement, has stood out in this area due to its advantages. Therefore, this study aims to investigate the main structural characteristics in the application of carbon fiber composites as concrete reinforcement.

Keywords: Reinforced; concrete; Structural; reinforcement; Carbon; application.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	2
1.2 OBJETIVOS:	2
1.2.1 OBJETIVO GERAL	2
1.2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	2
2.1 Concreto Armado	3
2.2 Fibra de Carbono	4
2.2.1 Aplicação e instalação da fibra de carbono	6
2.2.2 Fabricação	Erro! Indicador não definido.
2.3. PATOLOGIAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	8
2.3.1 Conceitos e Generalidades	8
2.4 Tipos de recuperação estrutural.	10
2.4.1 Recuperação Estrutural: Conceitos e Métodos Executivos	10
2.4.2 Reforço pelo método do aumento da seção transversal.....	10
2.4.3 Reforço pelo método da Incorporação de chapas metálicas	12
2.4.4 Reforço estrutural com fibra de carbono	13
3 METODOLOGIA/ MATERIAIS E MÉTODOS	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1 Características do concreto armado	16
4.2 Características da fibra de carbono	16
4.3 Aplicação e instalação da fibra de carbono	17
4.4 Especificações atuais de durabilidade	18
4.5 Patologia das construções:	18
4.6 Reforços estruturais	19
4.7 Técnicas de reforço:	20
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
REFERÊNCIAS	22

1 INTRODUÇÃO

Segundo Arquez (2010) atualmente o reforço de elementos estruturais de concreto armado com o uso de polímeros reforçados, fibras de carbono, está cada vez mais difundido. O polímero moderno vem sendo estudada e aplicado através do uso de diversas técnicas. A fibra de carbono se destaca por suas qualidades como elevada resistência à tração e à corrosão, baixo peso e agilidade de aplicação são os principais fatores para essa disseminação. Com o surgimento da necessidade de reparos em estruturas que não atendem, mas aos requisitos de segurança, devido a vários fatores como o grau de agressividade do ambiente, a reação álcalis agregado a corrosão de armadura, entre outros, essa solução de reforço estrutural se faz necessária devido as suas propriedades únicas.

Conforme Ripper (2009) os problemas patológicos, são suscetíveis a aparecer, em qualquer uma das etapas construtivas e são provenientes de erros ou falhas cometidas durante alguma etapa da obra. Comumente, há uma maior incidência nas etapas de uso e execução. Neste cenário, é de extrema importância conhecer a origem da manifestação, principalmente para fins judiciais, para que se possa identificar em que fase ocorreu a falha.

Segundo Helene (2019) a vida útil de projeto (VUP) é uma definição teórica, e seu valor prático deve ser estabelecido na etapa de concepção da edificação. Esse período irá balizar todo o processo de elaboração da obra, bem como fundamentar o modo como a edificação será utilizada. Todos os envolvidos na edificação possuem a responsabilidade de edificar um bem que atenda a uma vida útil de, no mínimo, o tempo definido em projeto.

De acordo com Emmons (1996), quando uma estrutura ou parte dela apresenta força insuficiente (em termos de comportamento ou estabilidade), é possível modificar a estrutura utilizando diversas técnicas de estabilização e reforço. As distinções entre "estabilização" e "reforço" são um tanto sutis e, em alguns casos, esses termos são usados como sinônimos. A estabilização refere-se ao processo de impedir que uma condição indesejada avance.

1.1 JUSTIFICATIVA

De acordo com Ripper (2009) atualmente há uma grande demanda quanto ao reforço de estruturas patologicamente comprometidas. E essa necessidade surge com a finalidade de recuperar a estrutura na sua condição de segurança. Reabilitando-a para sua capacidade portante na qual foi projetada ou no caso de uma sobrecarga estrutural, devido a um uso não previsto no projeto. Vale ressaltar, que existem várias técnicas e materiais para a recuperação e o reforço de estruturas, mas o uso da fibra de carbono se destaca dos demais pelas suas características.

Neste cenário, o emprego de composto de resina epóxi com fibra de carbono tornaram-se uma alternativa eficiente de reforço estrutural por apresentar maior resistência e rigidez em relação aos demais materiais.

Segundo Ripper (2009) em relação aos métodos convencionais como colagem de chapas metálicas ou método de aumento de suas seções em concreto armado, as fibras de carbono se sobressaem em relação aos métodos supracitados pois, possuem elevada resistência a tração, elevado módulo de elasticidade, facilidade de sua aplicação, redução de carga. Ou seja, dentre as possibilidades de aplicação existentes, podem ser utilizadas para elevar a resistência da estrutura, principalmente à flexão e ao esforço transversal de vigas e lajes, ressaltando, a cerca de um cuidado especial quanto aos detalhes da sua aplicação e amarração na estrutura de concreto.

1.2 OBJETIVOS:

1.2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é analisar como é feito a aplicação da fibra de carbono no reforço de estruturas.

1.2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para isso foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Investigar as características do concreto armado e da fibra de carbono;
- Aplicar a fibra de carbono no reforço de estruturas;
- Investigar as manifestações patológicas mais recorrentes e suas possíveis causas;
- Propor possíveis soluções para esses problemas detectados;
- Investigar o tempo de vida útil das estruturas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Concreto Armado

O concreto armado é uma combinação de concreto simples e barras de aço que conferem resistência à tração ao material (MACGREGOR, 2009, página 1). Ele é amplamente utilizado em uma variedade de estruturas devido às suas vantagens, tais como:

Vantagens do concreto armado:

a) Custo: os componentes do concreto estão disponíveis em quase todas as regiões do Brasil. É importante calcular o custo global da estrutura considerando-se o custo dos materiais, da mão de obra e dos equipamentos, bem como o tempo necessário para a sua elevação;

b) Adaptabilidade: as estruturas de concreto permitem as mais variadas formas, porque o concreto no estado fresco pode ser moldado com relativa facilidade, o que favorece o projeto arquitetônico. A estrutura, além de resistir às diversas ações atuantes, pode compor também a arquitetura. O concreto pré-moldado pode ser uma opção estrutural e arquitetônica à estrutura de concreto convencional;

c) Resistência ao fogo: uma estrutura deve resistir às elevadas temperaturas devidas ao fogo e permanecer intacta durante o tempo necessário para a evacuação de pessoas e permitir interromper o incêndio. As estruturas de concreto, sem proteção externa, têm uma resistência natural de 1 a 3 horas;

d) Resistência a choques e vibrações: as estruturas de concreto geralmente têm massa e rigidez que minimizam vibrações e oscilações, provocadas pelas ações de utilização e o vento. Os problemas de fadiga são menores e podem ser bem controlados;

e) Conservação: desde que o projeto e a execução tenham qualidade, as estruturas de concreto podem apresentar grande resistência às intempéries, aos agentes agressivos e às ações atuantes. Geralmente, os fatores mais importantes são a resistência do concreto e o correto posicionamento das armaduras, obedecendo os cobrimentos mínimos exigidos;

f) Impermeabilidade: o concreto comum, quando bem executado, apresenta muito boa impermeabilidade.

Os principais aspectos negativos das estruturas de concreto são os seguintes:

a) Baixa resistência à tração: a resistência do concreto à tração é baixa se comparada à sua resistência à compressão, cerca de apenas 10 %, o que o sujeita à fissuração. A armadura de aço, convenientemente projetada e disposta, minimiza esse problema, atuando de forma a restringir as aberturas das fissuras a valores aceitáveis, prescritos pelas normas de modo a não permitir a entrada de água e de agentes agressivos, e não prejudicar a estética e a durabilidade da estrutura. O Concreto Protendido pode ser uma opção ao Concreto Armado, especialmente no caso de ambientes muito agressivos, por possibilitar o projeto de peças sem fissuras, ou fissuras que possam surgir apenas sob carregamentos menos frequentes ao longo do tempo de vida útil da estrutura;

b) Fôrmas e escoramentos: a construção da estrutura de concreto (moldado no local) requer fôrmas e escoramentos que necessitam ser montados e posteriormente desmontados, acarretando custos elevados de materiais e de mão de obra. Como opção, o concreto pré-moldado elimina a necessidade de escoramentos, reutiliza as fôrmas e diminui o tempo de construção da estrutura;

c) Baixa resistência do concreto por unidade de volume: o concreto apresenta baixa resistência comparativamente ao aço estrutural, e elevada massa específica (2.450 kg/m³), o que resulta na necessidade de estruturas com elevados volumes e consequentemente pesos próprios muito elevados, caracterizando-se no principal aspecto negativo das estruturas de concreto. Por exemplo, considerando um aço estrutural com resistência de 250 MPa e massa específica de 7.850 kg/m³, o concreto deve ter resistência de 78 MPa para apresentar a mesma relação resistência/massa. Como a resistência dos concretos utilizados situa-se geralmente na faixa de 25 a 50 MPa, a elevada massa específica do concreto torna-se um aspecto negativo;

d) Alterações de volume com o tempo: o concreto pode fissurar sob alterações de volume provocadas por retração e pela fluência¹⁴, o que pode dobrar a flecha em um elemento fletido. (MACGREGOR, 2009, página 6 e 7)

2.2 Fibra de Carbono

As fibras de carbono são materiais compostos por átomos de carbono dispostos em estruturas hexagonais, semelhantes ao grafite. Os primeiros registros da produção de fibras de carbono de forma intencional são atribuídos a Thomas Edison, que empregou este material como filamento em lâmpadas elétricas incandescentes. Embora esta primeira preparação de fibras de carbono tenha ocorrido em 1878, este material só começou a ser produzido comercialmente a partir de 1964. (Brasilecola,2004)

O compósito de fibra de carbono é fabricado a partir do polímero de poliacrilonitrila, submetido a altas temperaturas para formar uma liga rígida e resistente, composta por átomos de carbono dispostos em folhas hexagonais. Esse material é impregnado com resina epóxi para garantir aderência com o concreto e transferência de tensões. (engenharia 360,2023)

As fibras de carbono são materiais compostos de carbono com alta resistência e baixo peso. Elas são cada vez mais utilizadas na construção civil devido às suas propriedades únicas, tais como:

- Alta resistência específica: As fibras de carbono possuem uma relação resistência-peso excepcionalmente alta, tornando-as ideais para aplicações onde o peso é uma preocupação.
- Resistência à corrosão: Ao contrário do aço, as fibras de carbono são resistentes à corrosão, o que as torna adequadas para ambientes agressivos.
- Flexibilidade: Elas podem ser moldadas em diferentes formas e geometrias, permitindo uma maior liberdade de design. (MACHADO, 2006, página 2)

No entanto, as fibras de carbono também apresentam algumas desvantagens:

1. Fragilidade: A fibra de carbono pode ser propensa a falhas súbitas sem aviso prévio quando sujeita a impactos ou flexões excessivas.

2. Desafios de reciclagem: A reciclagem de fibra de carbono é complexa e custosa, levando a preocupações ambientais sobre disposição e gestão de resíduos.

3. Custo: Os materiais de fibra de carbono são caros em comparação com materiais tradicionais como o concreto armado. (MACHADO, 2006, página 2)

4. Baixa resistência ao fogo da resina epoxy. (MACHADO, 2006, página 10)

5. Desafio de utilizar a fibra de carbono no Brasil falta de uma NBR própria no momento é utilizada são as normas técnicas norte-americanas (ACI 440 2R:02 (2008)) e o boletim 14XX da FIB (Federação Internacional do Concreto).

2.2.1 Aplicação e instalação da fibra de carbono

O concreto armado é amplamente utilizado nas obras de engenharia civil, já a fibra de carbono está ganhando cada vez mais espaço sendo empregadas em obras de recuperação estrutural, esse tipo de reforço é feito com um compósito de fibras de carbono e uma matriz polimérica, que absorvem as tensões de tração dos esforços.

Machado (2006) resumida a sequência para a execução dos sistemas compostos estruturados com fibras de carbono nas seguintes etapas:

1) Recuperação do substrato de concreto armado para que o sistema possa ser aderido com segurança.

2) Imprimação da superfície sobre a qual será aplicado o sistema para se estabelecer uma ponte de aderência entre o substrato de concreto e o sistema composto. Para tanto se utiliza um imprimador epoxídico (primer) com elevado teor de sólidos que, ao penetrar nos poros do concreto e ao estabelecer uma película sobre a superfície do concreto, cria uma interface altamente eficiente para a transmissão de esforços entre o composto e a peça de concreto.

2) Regularização e correção das imperfeições superficiais do substrato de concreto, de modo a estabelecer um plano adequadamente nivelado. É utilizada uma pasta epoxídica contendo alto teor de sólidos para calafetar eventuais imperfeições superficiais e criar um plano desempenado para a aplicação do sistema composto.

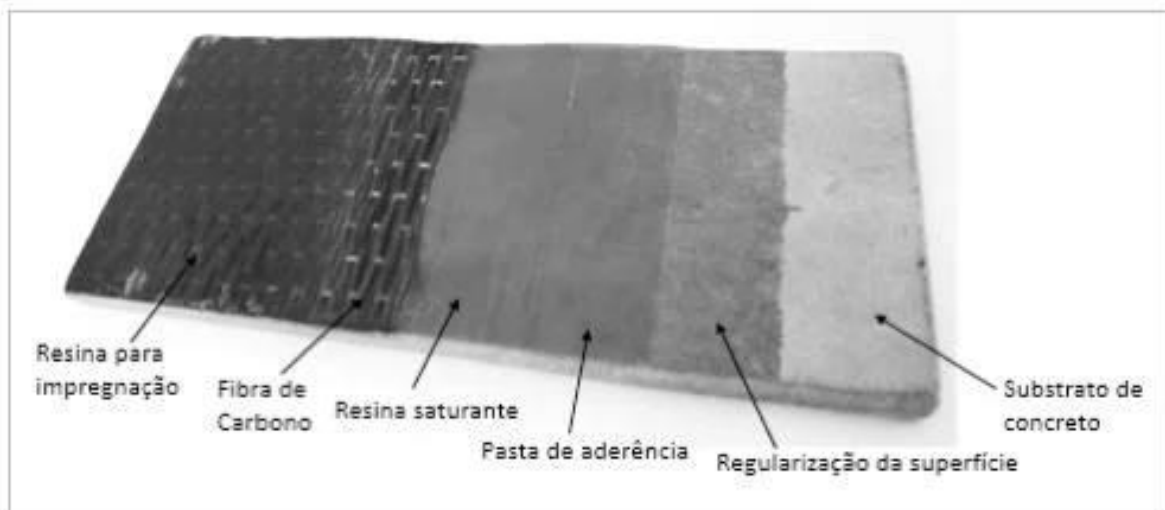
3) Aplicação da primeira camada de resina saturante com alto teor de sólidos que servirá para impregnar (saturar) a lâmina de fibra de carbono e aderi-la à superfície do concreto.

4) Aplicação da lâmina de fibra de carbono que vai reforçar o sistema composto.

5) Aplicação da segunda camada de resina saturante para completar a impregnação da lâmina de fibra de carbono e acabando de conformar a matriz epoxídica que envelopa o sistema.

6) Aplicação (opcional) de película de acabamento com elevado teor de sólidos, alto brilho e resistente à corrosão, com o objetivo de proteção e/ou acabamento estético para o sistema.
(Machado,2006, páginas 5 e 6)

Figura 2 – Camadas do reforço estrutural usando fibra de carbono.



Fonte: Página da engenharia 360¹

¹ disponível em <<https://engenharia360.com/reforco-estrutural-com-fibra-de-carbono/>>. Acesso em: 17 de maio de 2024

Figura 1 – Aplicação de fibra de carbono na laje.



Fonte: Página da engenharia 360¹

¹ disponível em <<https://engenharia360.com/reforco-estrutural-com-fibra-de-carbono/>>. Acesso em: 17 de maio de 2024

2.3. PATOLOGIAS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.3.1 Conceitos e Generalidades

Na construção civil o termo patologia refere-se às anomalias que podem ocorrer durante ou após a execução da obra, podendo comprometer a vida útil da estrutura. Com a entrada em vigor da norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2013), o tempo de vida útil das estruturas prediais (VUP) deve ser projetado para atingir no mínimo 50 anos, conforme mostrado na tabela 7, página 32 da norma citada. O termo vida útil não deve ser confundido com tempo de garantia da estrutura, tempo este que leva em consideração outros fatores como manutenção, tipo de exposição às intempéries e forma de utilização da edificação.

Ripper (2009) define a manutenção de uma estrutura refere-se ao conjunto de ações requeridas para assegurar seu desempenho adequado ao longo do tempo. Em outras palavras, consiste em uma série de procedimentos destinados a estender a vida útil da construção, equilibrando custos e benefícios.

A Tabela VUP

Sistema	VUP mínima em anos
Estrutura	≥ 50 Conforme ABNT NBR 8681
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

A tabela VUP da norma NBR 15.575 (ABNT, 2013) página 32.

Nesta tabela, é mostrado que o tempo de vida útil das estruturas das edificações prediais deve ser igual ou superior a 50 anos e leva em consideração a norma NBR 8681 (ABNT, 2004), que fixa os requisitos exigíveis para a verificação da segurança das estruturas e estabelece critérios de resistências a serem considerados nos projetos. Ainda na tabela 7 da Figura 3, são citadas as normas NBR 5674 (ABNT, 2012) que define a periodicidade e processos para manutenção da edificação, e a NBR 14037 (ABNT, 2014) que preconiza as diretrizes para a elaboração do manual a ser entregue para o proprietário, com as informações sobre o uso, operação e manutenção da edificação.

Ripper (2009) defini PATOLOGIA DAS ESTRUTURAS como o novo campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas, além da elaboração do projeto de recuperação estrutural.

Dessa forma, a demanda por restaurar, reabilitar e preservar estruturas existentes, motivado por razões tão diversas como as de fundo econômico, social, patrimonial ou histórico, está gerando um novo paradigma no campo do design e da engenharia estrutural. Nesse contexto, a avaliação das estruturas existentes em relação à sua capacidade de desempenho futuro, segurança, utilidade e vida útil tornou-se uma prioridade essencial.

Segundo Ripper (2009), alguns fatores são fundamentais para o aparecimento das patologias estruturais tais como:

- Problemas na execução do projeto, (projetos sem detalhamento adequado, com especificações equivocadas ou com falhas que possam levar a erro de interpretação por parte dos profissionais de campo);
- Problemas com materiais comprados fora da especificação do projeto ou com qualidade inferior ao especificado;
- Mão de obra não qualificada para a execução dos serviços dentro das técnicas necessárias;
- Fiscalização falha, ou inexistente, permitindo que os serviços ocorram fora da condição desejada e da boa técnica da construção civil;
- Falta de cobrimento adequado.

2.4 Tipos de recuperação estrutural.

2.4.1 Recuperação Estrutural: Conceitos e Métodos Executivos

Segundo Ripper (2009) a recuperação refere-se a intervenções destinadas a restaurar as propriedades originais para as quais a estrutura foi concebida. Por outro lado, o reforço envolve intervenções que visam aumentar a capacidade da estrutura para suportar novas demandas de uso. De modo geral, o termo reabilitação pode abranger tanto a recuperação quanto o reforço de uma estrutura de concreto. Atualmente, existem diversos processos empregados na reabilitação de estruturas de concreto, cada um com suas próprias vantagens e limitações.

2.4.2 Reforço pelo método do aumento da seção transversal

Também conhecido como encamisamento, é o processo mais antigo e mais utilizado ainda hoje, segundo Ripper (2009). Consiste no aumento da seção da peça incorporando uma ou mais camadas de armação e de concreto, para a recuperação e/ou aumento da capacidade de carga da estrutura, podendo assim ser utilizado tanto para a recuperação quanto para o reforço dessas estruturas.

Ripper (2009) cita algumas vantagens e desvantagens do método de reforço com aumento da seção transversal da estrutura.

Vantagens:

- ☐ Não necessita de mão de obra especializada;
- ☐ Facilidade na aquisição dos materiais (fôrma, concreto e armação), próximo às obras;
- ☐ Permite a execução com a edificação em uso sem necessidade de demolição da estrutura existente.

Desvantagens:

- ☐ Perda de área livre devido ao aumento da seção das peças;
- ☐ Aumento considerável do peso da estrutura sendo um problema, principalmente, para estruturas elevadas;
- ☐ Consumo excessivo de materiais e mão de obra;
- ☐ Grande mobilização de equipamentos como fôrmas, escoramentos e equipamentos de transportes.

A Figura 3.3 mostra um profissional instalando a armação de encamisamento para o reforço de um pilar.



Fonte: Página da Protecon engenharia ¹

¹ disponível em < <https://www.proteconengenharia.com/?lightbox=dataptem-kw9rgjhx2>>. Acesso em: 17 de maio de 2024

Dependendo do tipo de intervenção poderá ser necessário o escoramento da estrutura.

2.4.3 Reforço pelo método da Incorporação de chapas metálicas

Técnica muito utilizada que consiste na incorporação de chapas e perfis metálicos à estrutura por meio de fixação com resinas epoxídicas, parafusos ou chumbadores metálicos. Segundo Ripper (2009), estudos apontam necessidade de cuidados especiais para se evitar o aparecimento de corrosões na interface chapa e resina, podendo comprometer a ligação chapa-resina concreto. Vantagens, segundo Ripper (2009):

- ☐ Facilidade executiva;
- ☐ Aumento irrelevante na seção das peças estruturais, não comprometendo o espaço da área a ser recuperada;
- ☐ Obra rápida e limpa, causando menor transtorno aos usuários;
- ☐ Permite utilização parcial da edificação durante a obra.

Desvantagens, segundo Ripper (2009):

- ☐ Peso excessivo das chapas limitando a utilização para vãos maiores e o manuseio por parte da mão de obra;
- ☐ Incorporação de grande peso à estrutura em relação a outros métodos;
- ☐ Limitações decorrentes da temperatura;
- ☐ Necessidade de aplicação de proteção contra incêndio e corrosão;
- ☐ Dificuldade na detecção e localização de possíveis corrosões na ligação entre a chapa e o adesivo;
- ☐ Necessidade da criação de juntas de dilatação nas chapas devido às limitações do comprimento;
- ☐ Tendência de descolamento dos bordos da chapa devido à concentração de tensões.

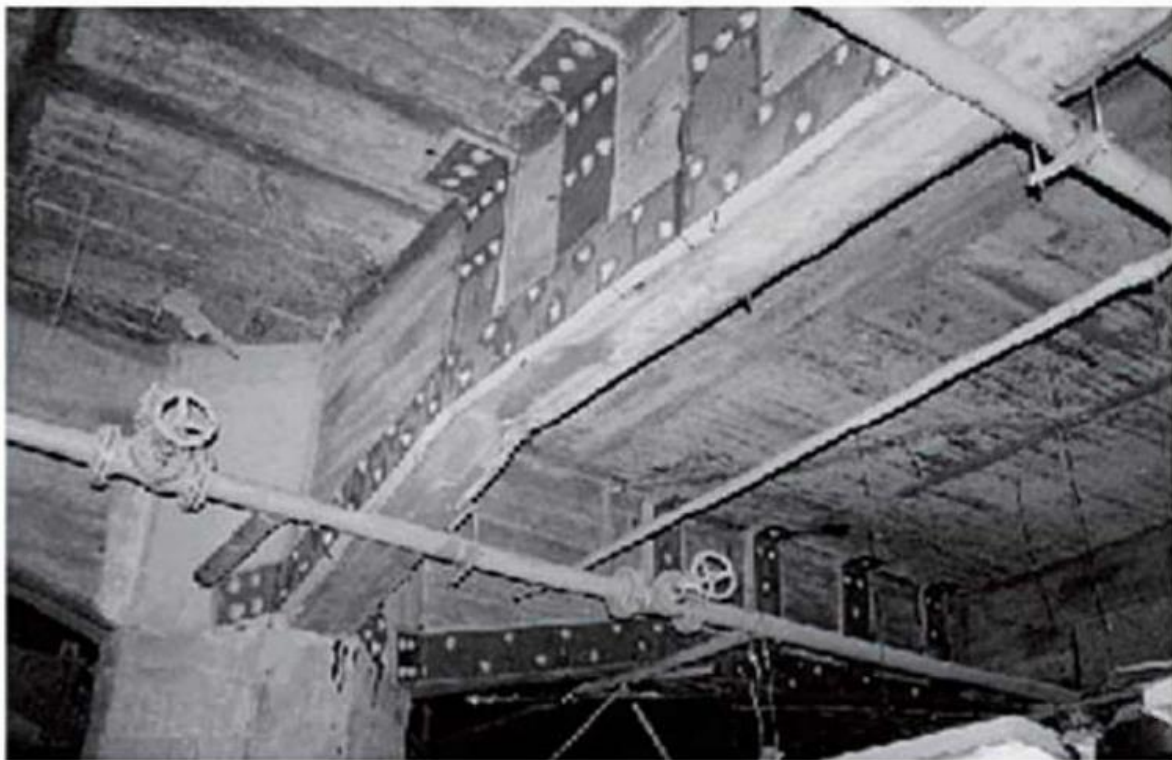
A ancoragem consiste na passagem de parafuso e travamento com porca metálica nas duas extremidades da peça a ser reforçada

A Figura 3.7 mostra a execução de reforço estrutural, utilizando o método da incorporação de chapa metálica em uma viga de concreto armado.



Fonte: Ripper (2009), Página 148

Figura 3.6 mostra detalhe esquemático da fixação de chapas metálicas.



Fonte: Ripper (2009), Página 151

Neste caso a solda elétrica foi utilizada nas cabeças dos parafusos e nas porcas metálicas, para enrijecimento total do sistema

2.4.4 Reforço estrutural com fibra de carbono

Segundo Ripper (2009) a adoção de compósitos reforçados com fibras (FRP) em elementos de concreto como uma alternativa ao aço teve início em meados do

século XX (Rubinsky and Rubinsky, 1954). No entanto, a simples substituição das barras de aço por elementos de FRP como armadura para o concreto tem sido limitada a situações bastante específicas. Esta técnica é predominantemente utilizada em estruturas destinadas a ambientes onde o uso do aço é inviável, como em instalações com ressonância magnética, em alguns hospitais, além de ser utilizada em reparos de vigas, pilares, lajes e outras estruturas de concreto armado. devido suas características.

Segundo Machado (2006), a manta de fibra de carbono pode ser unidirecional (todas as fibras alinhadas em uma única direção), ou bidirecional (fibras alinhadas perpendicularmente em duas direções).

Machado (2006) informa que, apesar de as resinas epoxídicas serem as mais utilizadas, em caso de reforço confinado deve se usar resinas de poliuretano. Segundo RIPPER (2009), a quantidade de resina aplicada não deve ser mais nem menos que o necessário. Quanto maior a quantidade, menor a resistência do processo.

Os compósitos de carbono em matrizes de resina epoxídica apresentam, em comparação com o aço de construção, para uma mesma espessura, um quarto do peso e resistência à tração oito a dez vezes maior, para o mesmo módulo de elasticidade (RIPPER, 2009).

A literatura cita algumas vantagens e limitações da utilização do compósito de fibra de carbono como reforço estrutural (MACHADO, 2006).

Vantagens segundo Machado (2006):

- ☐ Leveza e facilidade de manuseio;
- ☐ Grande resistência a ataques químicos;
- ☐ A manta de carbono resiste a temperaturas em torno de 1000°C;
- ☐ Execução do trabalho de forma limpa não necessitando de fôrmas e escoramentos;
- ☐ Baixo coeficiente de expansão térmica.

Segundo Machado (2006), na fibra de carbono este coeficiente é 50 vezes menor que o do aço;

- ☐ Adaptação às diversas formas da peça a ser reforçada.

Limitações segundo Machado (2006):

- Necessidade de proteção devido à vulnerabilidade a acidentes e ao vandalismo;
- Necessidade de proteção contra fogo e raios ultravioletas segundo Machado (2006), apesar da fibra de carbono suportar altas temperaturas as resinas suportam temperaturas da ordem de 60°C Machado (2006);
- Dificuldade de aplicação em superfícies irregulares.

3 METODOLOGIA/ MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho trata-se de um trabalho de pesquisa bibliográfica de caráter narrativo onde busca-se informações sobre a utilização da fibra de carbono no reforço estrutural de estruturas de concreto. Como fonte de pesquisa, utilizou-se plataformas como, Scielo e as bases da Capes/CNPq para busca de artigos, monografias, dissertações, teses, capítulos de livros ou publicações científicas pertinentes ao assunto, e que some para o conteúdo do trabalho. Como critério de escolha do trabalho a ser utilizado, houve uma propensão à busca de materiais com indicadores visíveis e que tivessem o maior número possível de citações e relevância para a comunidade científico acadêmica.

3.1 levantamento de dados no scielo, capes, além de sites especializados em engenharia civil como a engenharia 360 no período de 10 de fevereiro a 24 de maio de 2024, onde usou palavras chaves como reforço estrutural, reforço com fibra de carbono etc.

3.2: foi consultar os livros e Tccs sobre o assunto com: Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono que contém tudo o que precisa saber sobre o assunto, desde cálculos à aplicação da fibra no concreto de Machado, Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto armado dos autores Vicente Custódio Moreira de Souza e Thomaz Ripper e o livro *REINFORCED CONCRETE Mechanics and Design* de JAMES G. MACGREGOR e JAMES K. WIGHT (2009) foi usado para saber os pros e contras do concreto armado.

Depois foi consultado os sites especializados em engenharia civil como engenharia 360 onde continha um breve resumo sobre o assunto além de imagens que facilitariam o entendimento sobre o assunto. Além de sites feito o brasil escola onde tinha um artigo

científico escrito uma graduada em química na qual descreveu aspectos da estrutura química da fibra de carbono como também trouxe curiosidades, história de como foi descoberto a fibra de carbono.

3.3 etapas organização dos dados encontrados no word para a elaboração do tcc.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características do concreto armado

Características do Concreto Armado

Como descrito por MacGregor (2009) o concreto armado apresenta uma combinação única de vantagens, como custo acessível, adaptabilidade, resistência ao fogo e choques, durabilidade e impermeabilidade. Contudo, suas desvantagens, como a baixa resistência à tração, necessidade de fôrmas e escoramentos, baixa resistência por unidade de volume e alterações de volume ao longo do tempo, devem ser levadas em consideração no desenvolvimento de um projeto. A escolha entre o reforço estrutural de fibra de carbono, chapa de aço e alargamento de seção deve ser baseada nas necessidades do projeto e considerando o ambiente, os custos e a funcionalidade desejada.

4.2 Características da fibra de carbono

As fibras de carbono representam um material inovador na construção civil, oferecendo vantagens significativas como descrito por Machado (2006) em relação a resistência específica, resistência à corrosão e flexibilidade de design. No entanto, suas desvantagens, como fragilidade, desafios de reciclagem, custo elevado, baixa resistência ao fogo da resina epóxi e a falta de normas brasileiras específicas, devem ser cuidadosamente considerados.

Para a implementação eficaz das fibras de carbono na construção civil no Brasil, é crucial o desenvolvimento de normas nacionais que regulem seu uso, o Brasil poderia inclusive usar de parâmetro as normas americanas ACI 562-19 para reforço de estrutura com fibra de carbono e ACI 440.1R-15 para o uso de fibra de carbono no concreto.

A viabilidade econômica deste material deve ser avaliada em cada projeto, além de considera suas propriedades em relação as necessidades do projeto de reforço estrutural.

4.3 Aplicação e instalação da fibra de carbono

Na pesquisa foram identificados vários manuais de instalação e aplicação de fibra de carbono os que mais se destacaram foi o Machado (2006), ACI 440.1R-15, ACI 562-19 e o Bulletin 14 fib:01, 2001.

Machado (2006) resume as etapas de aplicação e instalação da fibra de carbono como:

- ☐ Recuperação do substrato de concreto armado para que o sistema possa ser aderido com segurança
- ☐ Imprimação da superfície sobre a qual será aplicado o sistema para se estabelecer uma ponte de aderência entre o substrato de concreto e o sistema composto. Para tanto se utiliza um imprimidor epoxídicas (primer) com elevado teor de sólidos que, ao penetrar nos poros do concreto e ao estabelecer uma película sobre a superfície do concreto, cria uma interface altamente eficiente para a transmissão de esforços entre o composto e a peça de concreto.
- ☐ Regularização e correção das imperfeições superficiais do substrato de concreto, de modo a estabelecer um plano adequadamente nivelado. É utilizada uma pasta epoxídica contendo alto teor de sólidos para calafetar eventuais imperfeições superficiais e criar um plano desempenado para a aplicação do sistema composto.
- ☐ Aplicação da primeira camada de resina saturante com alto teor de sólidos que servirá para impregnar (saturar) a lâmina de fibra de carbono e aderi-la à superfície do concreto.
- ☐ Aplicação da lâmina de fibra de carbono que vai reforçar o sistema composto.
- ☐ Aplicação da segunda camada de resina saturante para completar a impregnação da lâmina de fibra de carbono e acabando de conformar a matriz epoxídica que envelopa o sistema.
- ☐ Aplicação (opcional) de película de acabamento com elevado teor de sólidos, alto brilho e resistente à corrosão, com o objetivo de proteção e/ou

acabamento estético para o sistema.

É importante destacar a importância de se seguir o manual do fabricante, além de seguir as diretrizes da norma ACI 440.1R-15, ACI 562-19, já que no momento o Brasil carece de norma própria, além de contratar mão de obra especializada, capacitada a executar do projeto.

4.4 Especificações atuais de durabilidade

No Brasil, o tempo de vida útil das estruturas prediais (VUP), é determinado pela norma NBR 15.575 que estipula o tempo de vida útil das estruturas em 50 anos. Durante a pesquisa foi encontrado ACI 365.1R-00, NBR 15.575 e o fib Model Code 2006 for Service Life Design.

A norma americana ACI 365.1R-00 tem vários métodos que têm sido utilizados para prever a vida útil dos materiais de construção incluem estimativas baseadas na experiência, deduções do desempenho de materiais semelhantes, resultados de testes acelerados, modelagem matemática baseada na química e na física dos processos de degradação esperados e aplicações de confiabilidade e conceitos estocásticos.

Segundo o fib Model Code 2006 *for Service Life Design*, o projeto da vida útil utiliza 4 métodos para determinar a VUP uma abordagem totalmente probabilística, uma abordagem sem probabilística (design de fator parcial), seguir o euro code, prevenção da deterioração

A importância de se ter mais transparência e uma explicação matemática e probabilística do porquê de a norma brasileira determinar que são 50 anos o período de VUP ao invés de outro período.

4.5 Patologia das construções:

A patologia das construções segundo Ripper (2009) é a ciência que estuda os defeitos nos materiais de construção, componentes e elementos, ou na edificação como um todo, buscando diagnosticar as causas e entender os mecanismos de desencadeamento e evolução do processo patológico, além de suas formas de manifestação. Apesar de ser uma ciência nova ela já se mostra de suma importância para sociedade.

Ripper (2009) descreve os tipos de manutenção a abaixo:

Manutenção corretiva: A manutenção corretiva é aquela intervenção que visa corrigir um elemento ou sistema no qual se observa a incidência de falha ou desempenho menor que o esperado. Busca-se realizar reparo ou substituição do elemento deficiente, com o objetivo de restabelecer a plena funcionalidade e segurança que lhe fora admitido em projeto.

Por não se tratar somente de uma manutenção de emergência, pode-se dividi-la em planejada e não planejada. A manutenção corretiva planejada é aquela decidida por meio da observação de uma queda do desempenho de algum elemento ou material, não necessariamente após a sua falha, e muitas vezes é definida após manutenções detectivas ou preditivas.

Já a manutenção não planejada é aquela fundamentada na falha de algum elemento. A reconstituição do concreto de cobrimento das armaduras de uma estrutura que apresenta indícios de rompimento da sua película passivadora, identificados na manutenção preditiva, é um exemplo de uma manutenção corretiva planejada. Por outro lado, a substituição ou o tratamento das armaduras oxidadas de uma estrutura de concreto armado é um exemplo de uma manutenção corretiva não planejada.

Manutenção preventiva: A manutenção preventiva é a intervenção que visa preservar o desempenho da edificação em algum momento da sua vida útil, evitando a deflagração de anomalias. As intervenções ou manutenções preventivas não são realizadas quando se deflagra algum problema, mas em algum ponto que antecede o surgimento da falha, de forma a preveni-la. Consiste na substituição de peças ou na renovação dos sistemas de proteção, segundo uma periodicidade estabelecida pelo fabricante do produto. Um exemplo de aplicação desse tipo de manutenção é a renovação da pintura de uma edificação.

4.6 Reforços estruturais

De acordo com Emmons (1996), quando uma estrutura ou parte dela apresenta força insuficiente (em termos de comportamento ou estabilidade), é possível modificar a estrutura utilizando diversas técnicas de estabilização e reforço. As distinções entre "estabilização" e "reforço" são um tanto sutis e, em alguns casos, esses termos são

usados como sinônimos. A estabilização refere-se ao processo de impedir que uma condição indesejada avance.

Determinar se uma estrutura pode ser estabilizada implica em interromper qualquer movimento adicional. O reforço, por sua vez, envolve aumentar a capacidade de resistência de uma estrutura ou parte dela. Por exemplo, reforçar um pilar existente aumentará sua resistência à compressão, elevando sua capacidade. Em alguns casos, o processo inclui tanto a interrupção de uma situação indesejada quanto o aumento da capacidade de carga da estrutura.

4.7 Técnicas de reforço:

O reforço com fibra de carbono e os tradicionais, como o uso de aço ou concreto adicionais, são técnicas comumente empregadas na engenharia civil para fortalecer estruturas existentes.

Reforço estrutural com fibra de carbono:

A técnica de reforço com fibra de carbono consiste na colagem de lâminas, mandas ou tecidos de fibra de carbono ao concreto por intermédio de uma resina normalmente do tipo epóxi.

Esta técnica aplica-se no reforço à flexão e esforço transversal de vigas, lajes e pilares. O sistema de reforço por colagem de armaduras de fibra de carbono ao concreto apresenta como principais vantagens o reduzido impacto arquitetônico, a reduzida interferência na utilização da estrutura e a rapidez e facilidade de execução. No entanto, esta técnica apenas se aplica em situações em que se preveja um reforço moderado e o concreto da peça a reforçar seja de média/boa qualidade. Todos os trabalhos preparatórios e a sequência de aplicação do reforço de fibra de carbono dependem do tipo de sistema utilizado: sistema pré-fabricado (lâminas) ou sistema curado “in – situ” (fio, manta ou tecido).

Reforço com a utilização de chapas de aço

Outro método utilizado refere-se ao uso de chapas de aço coladas a estrutura a partir de uma resina de alta resistência. As principais vantagens desse método referem-se principalmente ao aumento insignificante da seção transversal do concreto, além dos baixos níveis de ruído durante a execução do reforço, e da rápida execução, fator também presente no reforço com fibra de carbono. O reforço apenas com a utilização de resina ou buchas expansivas. Essa alteração visa melhorar a

aderência entre a viga e o reforço. Uma desvantagem, entretanto, refere-se ao peso acrescentado a estrutura a partir da colagem dessas chapas.

Reforço por encamisamento da estrutura

Uma alternativa aos métodos de reforço já dimensionados é o encamisamento da estrutura com concreto armado. As principais vantagens dessa técnica são a utilização de materiais constantemente utilizados na construção civil, o fato de não precisar de uma equipe especializada para esse tipo de atividade e o custo, como o principal atrativo para sua utilização. Entretanto, a técnica possui alguns inconvenientes no que se refere a mudança geométrica da estrutura, além do aumento de peso da estrutura. O reforço por encamisamento, em que a junção entre a viga, pilar ou laje e o reforço se dá apenas pela área de interface cabe citar que para a definição da área da seção deve ser levada em conta o cobrimento nominal de concreto para o reforço, os espaçamentos verticais e horizontais, além dos diâmetros das barras das armaduras de reforço.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo abordou sobre o tema, através de uma exposição teórica bastante abrangente, abordando a caracterização dos compósitos de fibra de carbono, suas vantagens e desvantagens. E conforme observado em estruturas de concreto armado revelam que algumas sofrem algum tipo de deterioração antes de alcançarem sua vida útil completa, seja por falhas de projeto, execução inadequada ou exposição a novas cargas. Este estudo explanou os motivos pelos quais uma estrutura de concreto armado necessitou de reforço estrutural e os procedimentos envolvidos nesse processo. Além de discutir sobre a VUP comparando a NBR com normas internacionais.

Neste cenário, a reabilitação dessas estruturas está cada vez mais importante na indústria da construção civil, à medida que os reparos e reforços se tornam mais frequentes. Foram apresentadas diversas metodologias de reforço para restaurar as patologias estruturais. No entanto, a fibra de carbono tornou-se uma alternativa viável no mercado atual devido à sua resistência elevada, rapidez na execução e a potencial melhora estética no local de aplicação do reforço.

Por fim, e como um dos objetivos deste trabalho, compararam-se os métodos consagrados de reforço de estruturas como de fibra de carbono.

As aplicações dessa tecnologia de reforço estrutural podem ser utilizadas em vários casos resultando em uma solução mais adequada. Entretanto, como não há uma norma brasileira que regule o uso dos compósitos de fibra de carbono para reforço de estruturas, cabe aos engenheiros escolherem um método de dimensionamento analisando caso a caso. Deste modo, preservando aspectos como segurança, responsabilidade, economia e contexto no qual se insere.

REFERÊNCIAS

<[Fibra de carbono para reforço estrutural: quais são os benefícios? | Serpol \(serpolengenharia.com.br\)](#)> Disponível no dia: 17/03/24 às 09:30

<[Reforço Estrutural: Sinais de alerta na estrutura | Serpol \(serpolengenharia.com.br\)](#)> Disponível no dia: 18/03/24 às 8:00

<[Fibra de carbono em estruturas de concreto armado - 90 TI \(noventa.com.br\)](#)> Disponível no dia: 18/04/24 às 09:00

<[concreto armado com fibra de carbono - Pesquisar \(bing.com\)](#)> Disponível no dia: 18/04/24 às 14:00

<[Fibras no concreto: benefícios e desvantagens \(concreteshow.com.br\)](#)> Disponível no dia: 19/03/24 às 15:00

<[Manta de Fibra de Carbono: Reforço de estrutura de concreto armado - YouTube](#)>

Disponível no dia: 20/03/24 às 09:30

<[Reforço do Concreto Armado com Manta de Fibra de Carbono - Detalhes importantes. - YouTube](#)> Disponível no dia: 20/03/24 às 14:52

<<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/fibra-de-carbono-e-usada-para-refor-car-estruturas-de-concreto-ja-existent-s/12079>> Disponível no dia: 21/03/24 às 10:20

<<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/fibra-de-carbono-aguarda-norma-tecnica-brasileira/>> Disponível no dia: 26/03/24 às 08:55

<<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/fibra-carbono.htm>> Disponível no dia: 19/03/24 às 09:52

<ZUCHETTI, Pedro. Patologias da construção civil: Investigação patológica em edifício corporativo de administração pública no Vale Do Taquari/RS. Lajeado, 2015.> Disponível no dia: 26/03/24 às 10:00

HELENE, Paulo Roberto do Lago; TERZIAN, Paulo.

Título: Manual de Dosagem e Controle do Concreto.

Local: São Paulo.

Editora, Pini.

Data de publicação: 1993.

HELENE, Paulo R.L. Manual prático para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. São Paulo: Pini, 1992.

HELENE, Paulo R.L.

Título: Manual prático para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.

Local: São Paulo.

Editora, Pini.

Data de publicação: 1992.

MENACKER, Eduardo de Faria.

Título: Reforço estrutural com fibra de carbono em estruturas de concreto armado.

Local: São Paulo.

Editora, (Dissertação Mestrado) Universidade São Judas Tadeu.

Data de publicação: 2021. 22 p.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz.

Título: Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.

Local: São Paulo.

Editora, Pini.

Data de publicação: 2009. 255 p.

Peter H. Emmons.

Título: Concrete Repair and Maintenance Illustrated: Problem Analysis; Repair Strategy; Techniques.

Local: Michigan.

Editora, Wiley.

Data de publicação: 28 dezembro 1992

Patologia de estruturas / Fabrício Longhi Bolina,
Bernardo Fonseca Tutikian, Paulo Roberto do Lago
Helene. -- São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

ACI 440.2R-08 ,2008

Concreto Armado Propriedades dos Materiais Libânio Miranda Pinheiro José Samuel Giongo
São Carlos, 1986 Publicação 005 / 86

< <https://www.proteconengenharia.com/?lightbox=dataItem-kw9rgjhx2>>. Acesso em:
17 de maio de 2024

FIB, International Federation for Structural Concrete - Bulletin 14 - Externally Bonded FIBRA
DE CARBONO reinforcement for RC structures, 2001.

FIB, International Federation for Structural Concrete - Bulletin 34 Model Code 2006 for
Service Life Design, 2006.

ACI - American Concrete Institute Committee 318 - Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary. Farmington Hills, Michigan, 2011.

ACI - American Concrete Institute Committee 440 - Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FIBRA DE CARBONO Systems for Strengthening Concrete Structures, 2008.

NBR 15.575: Norma de desempenho.

ACI - American Concrete Institute Committee 365 – Service Life Prediction State of the Art Report. Farmington Hills, Michigan, 2000.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. "Fibra de Carbono"; *Brasil Escola*. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/fibra-carbono.htm>. Acesso em 20 de junho de 2024.

ARQUEZ, A.P. (2010). Aplicação de laminado de polímero reforçado com fibras de carbono (PRFC) inserido em substrato de microconcreto com fibras de aço para reforço à flexão de vigas de concreto armado. São Carlos, 2010. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.