

COMPARATIVO ENTRE USO DE ESTRIBO DE AÇO E O ESTRIBO DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO, CONSIDERANDO AS RESISTÊNCIAS E DURABILIDADE

COMPARATIVE OF THE USE OF GLASS FIBER REINFORCED POLYMER STEEL STIRRUPS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES, CONSIDERING STRENGTH AND DURABILITY

Thiago Sabino dos Santos¹

João Victor Camilo²

RESUMO: O constante crescimento da construção civil amplia a necessidade por materiais que promovam melhoria na eficiência dos processos construtivos, proporcionando melhores desempenhos de resistência mecânica e físicas em relação aos materiais que rotineiramente são utilizados na execução edificações. A pesquisa tem como objetivo apresentar por meio de pesquisas bibliográficas, uma comparação entre os estribos tradicionais de aço, com relação ao polímero reforçado com fibra de vidro. Nesse estudo foi apresentado as características relacionadas as propriedades mecânicas e físicas, aspectos de durabilidade ao longo do tempo, bem como a fadiga, abordando assuntos como propriedades dos materiais, e influência que as propriedades físicas e mecânicas geram sobre a influência da durabilidade. Ao final da pesquisa apresenta-se quais são os parâmetros alcançados pelas pesquisas existentes, analisando quais são os principais pontos que ainda necessitam ser analisados para futuras pesquisas acadêmicas. Além disso, requer compreender a viabilidade técnica e econômica, bem como os impactos a longo prazo proporcionados pelo uso de Polímero Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV). A expectativa é que o estudo fomenta o avanço de novas pesquisas sobre o tema e o material, com o objetivo que nos próximos anos seja implementado uma normatização brasileira sobre o material. Ao final da pesquisa é apresentado os principais parâmetros da viabilidade técnica do polímero reforçado com fibra de vidro, além de comentar sobre a viabilidade econômica e quais foram os objetivos alçados.

Palavras-chave: Estribo; Polímero; Durabilidade; Fibras.

ABSTRACT:

The constant growth of civil construction increases the need for materials enhancing construction process efficiency, providing improved mechanical and physical resistance performance compared to materials routinely used in building execution. This research aims to present, through bibliographic studies, a comparison between traditional steel rebars and Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP). This study presents characteristics related to mechanical and physical properties, long-term durability aspects and fatigue, addressing material properties and their influence on

¹ Unisales – Centro Universitário Salesiano. Vitória/ES, Brasil. thiago.sabino2019@gmail.com

² Unisales – Centro Universitário Salesiano. Vitória/ES, Brasil. joao.camilo@souunisales.com.br

durability. The research objectives include determining existing research parameters, analyzing key areas requiring further investigation, and understanding technical and economic viability, as well as long-term impacts of GFRP. The study expects to foster new research on the topic and material, aiming for Brazilian standardization implementation. Finally, it presents key parameters of GFRP technical viability, discusses economic viability and achieved objectives.

Keywords: Rebar; Polymer; Durability; Fibers.

1 INTRODUÇÃO

As barras de aço são essenciais na construção de edificação, proporcionando robustez e longevidade. No entanto, esse material tem o potencial de apresentar uma série de desvantagens como peso elevado, custo alto, impacto ambiental significativo, sensibilidade físicas à corrosão, dificuldade de moldagem e propriedades magnéticas que podem interferir em determinadas aplicações, como em determinadas salas em ambientes hospitalares que tem maior sensibilidade a materiais magnéticos.

O estribo é um elemento que compõem estruturas em concreto, convencionalmente é utilizado o aço como material principal, contudo por ser um material com custo relativamente alto e cargas próprias que oneram o peso total da própria estrutura. O estribo feito com polímero reforçado com fibra de vidro (PRFV) surge como alternativa e norte da pesquisa, onde apresenta-se a seguinte problemática sobre esse assunto sendo qual o potencial que se tem como alternativa ao estribo de aço utilizado na construção civil?

Segundo Rodrigues (2022), estruturas executadas em concreto armado expostas a ambientes agressivos, podem ter seu desempenho a longo prazo deteriorado devido à corrosão das armaduras. Como alternativa a esse problema, surge o polímero reforçado com fibra de vidro, pois esse material pode vir a apresentar baixo peso próprio, dado que a composição se baseia principalmente em fibra de vidro e polímero.

O estribo de aço faz parte do conjunto de elementos estruturais na engenharia civil, onde o preço desse material teve grande desenvolvimento nos últimos anos, contudo apesar do aumento do preço, é um material que apresenta as suas características mecânicas destacadas em relação a outros materiais disponíveis no mercado, como por exemplo o ferro fundido. A proposta do estribo de polímero reforçado com fibra de vidro (PRFV), é entregar um material com o custo menor, mesmo que o diâmetro necessário do estribo na aplicação de uma estrutura possa ser igual ou superior ao estribo de aço. Se a capacidade de carga do PRFV for significativamente igual ou maior que a de aço, pode fazer com que a aceitação consequentemente do produto seja empregada no desenvolvimento de edificações verticais e horizontais.

O Brasil não possui nenhuma norma vigentes em relação as estruturas em concreto armado com polímero reforçado com fibra de vidro. As pesquisas existentes sobre o tema se baseiam nas recomendações da norma American Concrete Institute 440 de 2022 (ACI-440), que determina os parâmetros principais da resistência do polímero reforçado com fibra de vidro, onde a resina utilizada na composição deste polímero em estudo são as poliméricas e termoplásticas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 METODO CONSTRUTIVO

Para a implementação dessas demandas se faz o uso dos atuais métodos construtivos. Segundo Carbonari (2017), métodos construtivos são técnicas de abordagem utilizada no processo executivo de edificações, onde são abordadas práticas tradicionais e até mesmo inovações construtiva, onde os processos são englobados para trazer os menores impactos na eficiência, custo, e na durabilidade da obra.

As estruturas de concreto armado, conforme demonstrado na figura 1, são extremamente empregadas no Brasil, destacando-se em comparação com outros sistemas construtivos, como madeira e aço. Esses elementos estruturais, que são específicos para a superestrutura das construções, funcionam como um esqueleto, sustentando o peso da construção e garantindo a estabilidade necessária. (Cassar, 2018)

Figura 1: Estrutura de edificação em concreto armado.



Fonte: vivadecora, 2021.

O concreto armado baseia-se na combinação do concreto e de barras de aço, que, ao serem unidos, proporcionam resistência a esforços à tração. A aderência eficaz entre esses materiais é fundamental para o desempenho conjunto do sistema, sendo as nervuras nas barras de aço essenciais para garantir essa aderência.

A busca por alternativas que combinem praticidade, eficiência, sustentabilidade e economia tem se intensificado ao longo do tempo. Essa busca incessante visa atender às demandas crescentes da sociedade e do meio ambiente, promovendo construções mais eficientes e duráveis (Cabral, 2022).

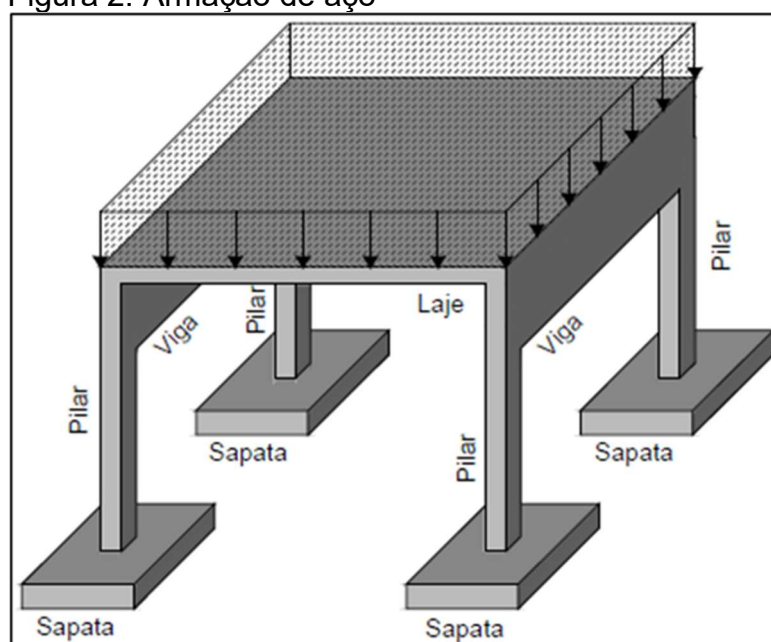
2.2 ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO ARMADO

Classifica como elementos estruturais os corpos sólidos elástico-deformáveis que possuem a capacidade de receber e transmitir ações. Além de resistirem aos esforços aos quais a edificação está submetida, esses elementos também desempenham o papel crucial de transmitir essas cargas para o solo. Em outras palavras, eles são responsáveis por distribuir e direcionar as forças, garantindo a estabilidade e

segurança da construção. Esses componentes também são responsáveis por transmitir as cargas para o solo (Sales, 2020).

Esse tipo de construção combina barras de aço com concreto moldado no local ou usinado, utilizando fôrmas de madeira, permitindo a criação de estruturas capazes de suportar diversas cargas e esforços. O concreto armado como apresentado na Figura 2, é definido como um material de construção que resulta da integração do concreto com barras de aço posicionadas em seu interior proporcionando resistência física e mecânica e durabilidade excepcionais. Esta técnica construtiva é amplamente adotada devido à sua versatilidade, robustez e capacidade de adaptação a diferentes tipos de projetos arquitetônicos e de engenharia. (Beltrão, 2010).

Figura 2: Armação de aço



Fonte: VIRTUHAB, 2024

Na seleção de técnicas e materiais construtivos, o fator econômico desempenha um papel crucial no setor da construção civil. Além do aspecto econômico, outros fatores como durabilidade e resistência também devem ser considerados. Nos últimos anos, a busca por materiais sustentáveis de baixo custo tem crescido, levando à necessidade de se repensar o consumo de materiais na construção/ civil, buscando explorar novas alternativas como por exemplo o polímero reforçado com fibra, fabricados com resinas poliméricas como poliéster e epóxi (Carbonari, 2017).

Os elementos estruturais desempenham um papel fundamental na sustentação de edificações. Eles podem consistir em um único tipo de componente ou em uma combinação de vários, o que é comum em construções mais complexas. Alguns exemplos de elementos estruturais incluem vigas, pilares, lajes, fundações, cintas e estruturas metálicas. Esses componentes trabalham em conjunto para garantir a estabilidade e segurança das construções (Bastos, 2006).

O concreto é um material composto, formado pela combinação de cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo. Para que o concreto seja considerado de boa qualidade e adequado para uso em estruturas, é essencial que apresente excelentes

características de resistência e durabilidade. A resistência do concreto é crucial para suportar as cargas e tensões a que a estrutura será submetida, enquanto a durabilidade garante a longevidade da edificação, resistindo ao desgaste causado por fatores ambientais e uso contínuo. Além desses componentes básicos, aditivos químicos podem ser incorporados à mistura para melhorar propriedades específicas, como a trabalhabilidade, o tempo de pega e a impermeabilidade. O controle rigoroso da proporção dos ingredientes e do processo de mistura é fundamental para assegurar a homogeneidade e a qualidade do concreto. O uso de técnicas de cura e o monitoramento constante durante a fase de endurecimento também são práticas essenciais para obter um concreto de alto desempenho, capaz de atender às exigências dos mais variados projetos. (Silva, 2012).

2.3 CATEGORIA DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Um conjunto de barras de aço envolvida pelo concreto, dá origem ao concreto armado, onde suas características são excepcionalmente adequadas para serem aplicadas sistemas estruturais. As armaduras de aço são meticulosamente posicionadas dentro da fôrma, e em seguida, o concreto fresco é lançado para preencher a fôrma e envolver as armaduras, ao mesmo tempo em que é realizado o adensamento do material. A combinação das propriedades do concreto com as do aço resulta em um material versátil e robusto, permitindo a construção de elementos com uma ampla variedade de formas e volumes de maneira relativamente rápida e fácil. Esse método é aplicável a diversos tipos de obra, desde edifícios residenciais e comerciais até grandes infraestruturas, como pontes e viadutos. A união do concreto e do aço não só proporciona elevada resistência e durabilidade às estruturas, mas também oferece flexibilidade e eficiência construtiva, tornando o concreto armado uma escolha prevalente na engenharia civil (Bastos, 2023).

Os pilares são estruturas verticais lineares responsáveis por suportar e transferir para as fundações as cargas recebidas das vigas e lajes. Devido à sua configuração linear, possuem um comprimento significativamente maior do que as demais dimensões de sua seção transversal, o que permite que sejam também denominadas barras. Essas colunas verticais desempenham um papel crucial na estabilidade e integridade da edificação, garantindo que as forças sejam eficientemente direcionadas para o solo. A qualidade do material e a precisão na execução são fundamentais para a eficácia dos pilares, uma vez que eles devem resistir não apenas às cargas estáticas, mas também às dinâmicas (Cabral, 2022)

As vigas, assim como os pilares, são classificadas como elementos lineares, mas sua disposição nas estruturas ocorre de forma horizontal, em contraste com os pilares. Elas geralmente suportam cargas perpendiculares ao seu eixo longitudinal, provenientes de lajes, outras vigas e da alvenaria como descreve Pinheiro (2019). Segundo Mesquita Filho (2015), uma viga é um elemento de barra cuja principal função é vencer vãos, operando predominantemente sob esforços de flexão e cisalhamento. Essas estruturas horizontais são essenciais para a distribuição das cargas através da edificação, assegurando a transferência eficaz dos pesos até os pilares e, posteriormente, até as fundações. A resistência e a rigidez das vigas são cruciais para a estabilidade da construção, permitindo que grandes espaços sejam cobertos sem a necessidade de suportes intermediários. A correta seleção dos

materiais e a precisão na execução são fundamentais para garantir a durabilidade e a performance das vigas, especialmente em obras sujeitas a grandes cargas e forças dinâmicas.

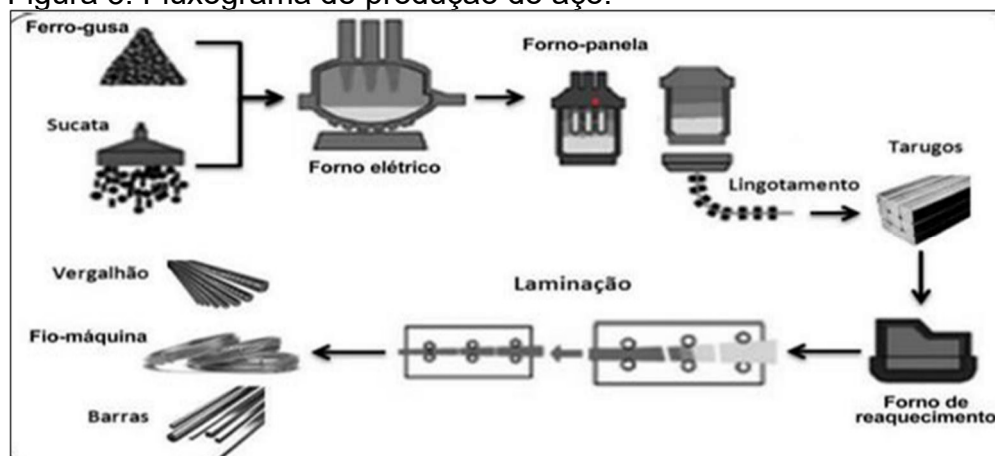
Existem diversos elementos de concreto armado, e um dos componentes estruturais fundamentais são as lajes. Elas são placas planas projetadas e executadas para suportar seu próprio peso, os revestimentos aplicados sobre elas e diversas cargas acidentais. Atualmente, no mercado da construção civil, há uma ampla variedade de lajes, cada uma com suas particularidades, que variam principalmente em relação ao peso próprio, à carga suportada e ao vão que podem abranger. As lajes desempenham um papel crucial na distribuição das cargas nas edificações, proporcionando uma superfície estável e resistente que contribui para a integridade estrutural do conjunto. Além disso, a escolha do tipo adequado de laje é essencial para a eficiência do projeto, influenciando diretamente aspectos como a economia de materiais, a facilidade de execução e a durabilidade da estrutura (Pinheiro, 2019).

2.4 PRINCÍPIOS DO AÇO

Segundo a ABNT NBR 7480 (2022), o aço pode ser definido como composto químico, sendo uma liga de ferro, carbono e outros elementos que podem ser adicionados para melhorar as propriedades mecânicas e químicas do material. O aço, dentre várias combinações que podem ser geradas a partir do processo de fabricação, sua resultante possui características de um material forte e versátil.

Segundo Ferraz (2005), o aço passa por diversos processos durante a fabricação em uma usina siderúrgica. Assim como apresentado na Figura 3, a produção do aço de forma geral se resulta da descarbonatação do ferro gusa, ou seja, a produção se dá a partir do controle do teor de carbono que é adicionado durante o seu processo de usinagem. O próprio Material denominado como aço possui várias diferenciações com base nas suas propriedades, formas, tamanhos e uniformidade, esses fatores irão impactar nas suas propriedades físicas e mecânicas, como por exemplo na tração, compressão e flexão. E quando essas propriedades são estudadas na prática, são originados diversos conceitos como elasticidade, plasticidade, ductilidade, resiliência, fluência, fadiga e dureza.

Figura 3: Fluxograma de produção do aço.



Fonte: Acobrasil, 2019.

Existem diversos tipos de aços, contudo nesta pesquisa serão abordados dois tipos conforme a NBR 7480 traz a definição dos dois tipos de aços mais utilizados na engenharia civil, sendo os CA-50 e o CA-60, onde de acordo com a NBR 6118 o C significa concreto e o A significa armado, e numeração na frente dessa sigla significa a resistência à compressão do material. O aço CA-50 é ideal para pisos, vigas, pilares e fundações, devido a suas características de alta ductilidade e boa soldabilidade, comportando-se de maneira flexível e absorvendo bem as cargas de tensões e deformações no concreto armado. Já o CA-60, é ideal para lajes pré-fabricadas, treliças e armações para tubulações, devido às suas características de alta resistência mecânica e adaptabilidade para soldabilidade em todas as bitolas, pois apresenta um comportamento mais rígido, que é ideal quando o material deve exigir maior resistência, e essas características contribuem para a robustez e estabilidade do material (Nicodemos, 2022).

2.5 ESTRIBO

Os estribos conforme, demonstrado na Figura 4, são fundamentais para melhorar a resistência ao cisalhamento e a ductilidade das vigas e colunas, evitando a formação de fissuras e contribuindo para a estabilidade e a integridade estrutural. Ao envolver o concreto com barras transversais, os estribos impedem a expansão lateral do material, aumentando sua capacidade de suportar cargas elevadas sem falhar. Além disso, os estribos garantem que o concreto e o aço trabalhem em conjunto de maneira eficaz, maximizando a eficiência do concreto armado e garantindo a segurança e durabilidade das edificações (CORREIA, 2012).

Figura 4: Aspectos visuais do estribo PRFV e Aço.



Fonte: Areiametalurgica, 2022.

Em obras de pequeno e médio porte os estribos de aço convencional são fabricados in loco. Os estribos convencionais, cortados, dobrados e amarrados as barras longitudinais são normatizados pela NBR 6118 (ABNT, 2023), em que se tem mensurado a resistência ao esforço cortante quanto ao seu tamanho, diâmetro e espaçamento.

A busca por materiais alternativos ao aço na construção civil está em constante desenvolvimento em laboratórios. Atualmente, os estribos de aço são essenciais para resistir aos esforços de cisalhamento em estruturas de concreto armado. Deste modo

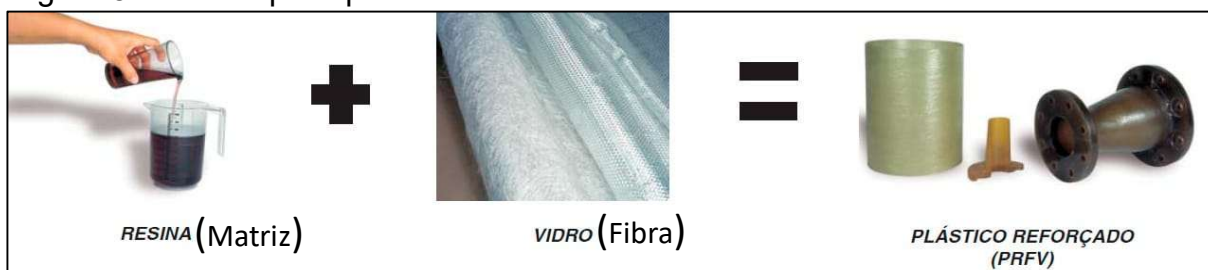
torna-se imprescindível explorar materiais alternativos que possam desempenhar essa função, oferecendo segurança estrutural, economia e redução de peso. Esses materiais alternativos devem ser capazes de fornecer a mesma eficiência e confiabilidade que o aço, além de prezar por custos de produção inferiores (Almeida, 2016).

2.6 POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA

Segundo Arquez (2010), os polímeros com matrizes em poliéster ou epóxi reforçados com fibras (PRF) são materiais compósitos, compostos por dois componentes principais, sendo a matriz e o reforço. A matriz é constituída por resinas, que envolvem e unem as fibras, permitindo uma eficaz transferência de tensões. O reforço é composto por fibras de pequeno diâmetro, alta resistência e elevado módulo de elasticidade. Caracteristicamente, os PRF são materiais que apresentam comportamento elástico até a ruptura.

Para Soares e Martins (2006), conforme demonstrado na Figura 5 a eficiência dos polímeros reforçados com fibras (PRF) é condicionada pela seleção adequada de seus componentes fundamentais, destacando-se as propriedades das fibras, como comprimento, orientação, forma, concentração e composição, além das propriedades mecânicas da matriz, sendo esses parâmetros são cruciais para otimizar o desempenho mecânico e a durabilidade dos PRF.

Figura 5: material principal do PRFV.



Fonte: Tgfiberglass, 2021.

As vantagens de materiais compósitos de fibras naturais como a madeira, ossos, ramos finos de plantas têm vindo a ser exploradas durante séculos, tal como demonstra o exemplo dos egípcios que usavam materiais compósitos de fibras naturais como o papiro para fazer barcos, velas e cordas desde o ano 4000 a.C. A palha é outro exemplo usado para reforçar argamassas de revestimentos de tijolos há mais de 2000 anos sendo este método ainda hoje utilizado. Os polímeros permitem grande variedade na fabricação de matrizes, sendo por isso o material mais utilizado nos dias de hoje ao ser utilizada uma matriz polimérica em poliéster ou epóxi pretende-se oferecer suporte às fibras ou às partículas usadas no material, absorver as deformações e conferir resistência quando sujeito a forças. (Jesus, 2021)

3 METODOLOGIA

Este estudo se dedicará à execução de uma revisão bibliográfica com o objetivo de comparar o estribo tradicional de aço com o estribo de polímero reforçado com fibra de vidro (PRFV), buscando analisar e sintetizar o conhecimento existente sobre o assunto, examinando as diversas variáveis que podem influenciar com a problemática da pesquisa.

Para tanto, foi adotado uma abordagem de análise documental, com abordagem quali-quantitativa, mediante a revisões da literatura de periódicos nacionais e normas internacionais publicadas. A busca de informações foi realizada em bases de dados específicas, como Google Acadêmico, Scielo e Capes Periódicos, utilizando palavras chaves relacionadas ao tema da pesquisa, e os critérios de inclusão e exclusão foram estabelecidos com base na relevância, atualidade e qualidade dos estudos selecionados.

Os resultados da pesquisa bibliográfica serão apresentados de forma estruturada e sistemática, visando facilitar a compreensão e análise dos dados obtidos. Serão utilizados quadros, tabelas, gráficos e figuras para ilustrar os dados numéricos e estatísticos, enquanto os resultados qualitativos serão apresentados em forma de texto, destacando as principais tendências, convergências e divergências encontradas na literatura. Além disso, serão utilizadas citações diretas e indiretas para respaldar as análises e conclusões, garantindo a fidelidade e rigor científico.

Para o desenvolvimento da pesquisa, foi abordado algumas revisões bibliográficas de referência, como por exemplo a pesquisa de Ineia (2021) que tem como tema, barras de fibra de vidro, uma alternativa inovadora e suas potencialidades, outro estudo que foi abordado com referência para esta pesquisa foi a pesquisa de Beiral (2012) que trata do assunto sobre a aderência entre concreto e barras lisas de polímero reforçado com fibra de vidro. Sendo essas e outras pesquisas abordadas tendo como referência o mesmo assunto tratado nesse estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

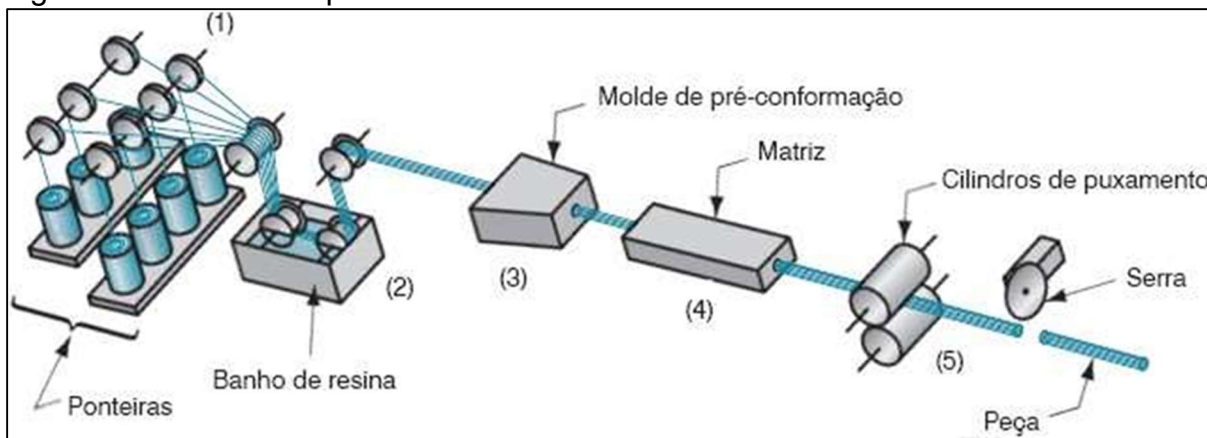
4.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

O polímero reforçado com fibra (PRF), como exemplo a Figura 5, é caracterização do material constituído por duas matérias primas distintas, a fase de fibras e a fase matriz. A fase de fibra é a responsável pela resistência do material, e a fase matriz é responsável pela união do material mantendo-o na posição desejada, garantido ao material a integridade estrutural desejada. Deste modo, com essas duas matérias primas o elemento resultante é mais eficiente que os elementos primários.

Conforme descrito no estudo de Groover (2014), o processo de fabricação do material consiste em cinco etapas, conforme apresentado na Figura 6, onde o primeiro ocorre o processo de alimentação das fibras, com o qual as fibras são desenroladas das bobinas e passam pelas prateleiras com ponteiras que têm como função guiar as fibras, também conhecidas como teares (1). Em seguida as fibras passam pelo banho de resina em uma matriz em poliéster ou epóxi, onde as fibras ficam impregnadas com resina líquida (2), e então o conjunto passa pelo molde pré-conformação, em que o material gradualmente ganha a forma aproximada desejada (3). Após esse processo, a peça ainda impregnada de resina é puxada através da matriz aquecida, nesta etapa a peça é conformada e curada (4), e então o conjunto passam pelos cilindros de

puxamento, onde irão tracionar a peça durante todo o processo (5) até que cheguem à serra que irá cortar a peça na medida desejada de (6).

Figura 6: Processo de pultrusão.



Fonte: Processo de fabricação, Groover (2014).

Conforme descreve Ineia (2021), após a fabricação as barras de PRFV, o aspecto da barra apresenta características visuais similares as barras de aço tradicionais, conforme apresentado na Figura 7. Entretanto, as características mecânicas são bem distintas. e como é citado em seu estudo, uma do PRFV com relação a dobra é que deve ser definido no momento da fabricação, seguindo critérios de projeto, pois não é possível realizar a dobra do PRFV in-loco, ou seja, no canteiro de obra. Com a aplicação de uma resina termoplástica, torna-se possível que as Barras de PRFV sejam dobradas no canteiro de obra, mas à utilização desse tipo de resina, pode afetar na resistência a tração do material.

Figura 7: Aspecto visual da PRFV.



Fonte: Feiplar, 2024.

4.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

O aço é uma mistura de 95% de ferro e 2% de carbono com outros elementos adicionais. Por ser um material fundamental em diversas indústrias, existem vários tipos de aço, incluindo aço carbono, aço inoxidável e aço de alta resistência. O aço é

amplamente utilizado na engenharia civil em aplicações como construção de edifícios, pontes, viadutos, estruturas metálicas, fundações profundas, pilares e vigas. Sua resistência e durabilidade tornam-no essencial para projetos de infraestrutura.

Além do aço, os polímeros reforçados com fibras de vidro (PRFV) também apresenta propriedades notáveis na sua estrutura, que combina resinas poliméricas, como poliéster ou epóxi, com fibras de vidro. Essas fibras, constituídas por finos filamentos, atribuem resistência elevada ao projeto.

O PRFV é utilizado com frequência em outros países como Japão, Canada e Estados Unidos, que aplicam em diversas áreas, como construção naval, estruturas civis, indústria automotiva e equipamentos esportivos. Conforme descreve a norma ACI 440 (2022), existem três tipos principais de fibras, E-glass (Vidro Eletromagnético), C-glass (Vidro Químico) e S-glass (Vidro de Alta Resistência), cada uma com vantagens específicas. O E-glass é utilizado em aplicações gerais, o C-glass é resistente à corrosão química e o S-glass oferece alta resistência mecânica e térmica, sendo utilizado em aplicações de alta performance.

4.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Diferentemente do aço que é na liga metálica composta de ferro e carbono, o PRFV é um compósito, ou seja, um material formado pela união de dois ou mais materiais com propriedades químicas e ou físicos diferentes. Alguns conceitos serão abordados de forma a fundamentar o respectivo estudo do tema desta pesquisa.

Uma das características fundamentais quando se estuda no material é a densidade, o estudo dessa propriedade entrega uma informação relacionada ao peso que é um material pode ter. De acordo com a ACI 440 (2022), o PRFV pode apresentar uma densidade de até 2100 kg/m³, enquanto o aço apresenta uma densidade de 7900 kg/m³. Como pode ser analisado no Quadro 1, quando comparado o PRFV ao aço tradicional, com uma relação de 4 a 6 vezes mais leve.

Quadro 1: Densidade do material adaptado da norma ACI440.

Aço Kg/m ³	PRFV Kg/m ³
7900	1250 a 2100

Fonte: Autoria própria, (2024)

Conforme descrito por Beiral (2012), o polímero reforçado com fibra de vidro apresenta um comportamento anisotrópico, onde significa que o material apresenta elevada resistência à tração na orientação longitudinal as fibras, onde a tração de materiais feitos com PRFV apresentam uma resistência superior ao aço tradicional. Contudo, cabe ressaltar que temperaturas elevadas entre 100°C a 400°C, afetam a resistência à tração de polímeros reforçados com fibra de vidro que pode variar em uma perda de 30% a 70% progressivamente. A Quadro 2 demonstra a diferença entre resistência à tração do aço tradicional e do PRFV.

Quadro 2: Comparativo de resistência adaptada das Normas ACI 440 e NBR 7480.

-	Aço	PRFV
Resistência à tração [Mpa]	483 a 690	483 a 1600

Fonte: Autoria própria, (2024)

A resistência à tração mínima de uma peça, se dá em relação ao diâmetro da barra, fato que pode ser observado no Tabela 1, onde apresenta diferentes diâmetros correlacionados diretamente a sua respectiva resistência à tração, podendo analisar que quanto maior o diâmetro do material maior sua resistência à tração mínima.

Tabela 1: Adaptada das Normas ACI 440

Coversão métrica	Diâmetro nominal (mm)	Resistência a tração mínima PRFV (Mpa)
Nº 6	6,4	400 - 700
Nº 10	9,5	600 - 800
Nº 13	12,7	800 - 1000
Nº 16	15,9	1000 - 1200
Nº 19	19,1	1200 - 1400
Nº 22	22,2	1400 - 1600
Nº 25	25,4	1600 - 1800
Nº 29	28,6	1800 - 2000
Nº 32	31,8	2000 - 2100

Fonte: Acervo próprio, (2024)

Diferentemente da resistência à tração, conforme descreve Beiral (2012), a resistência à compressão é aproximadamente de 40 a 60% inferior à tração. O comportamento das Barras PRFV à compressão não é tão eficiente quanto ao comportamento à tração, normalmente o ato de ruptura do material está relacionado a microfissuras das fibras que ocorrem através de sobrecargas aplicadas.

Na norma Americana ACI 440 (2022), não são encontradas as forças de compressão máximas garantidas das barras dos PRFV, entretanto são indicados alguns dados para serem considerados de forma conservadora para aplicação em projetos. A norma diz que, a maior resistência à compressão esperada em uma deformação que ocorra entre a barras PRFV e o concreto, é de aproximadamente 25% da resistência a tração máxima, sendo esse valor definido pela a ACI 440.

De forma geral, quando comparado o módulo de elasticidade do aço ao Polímero Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV) surge uma diferença de valores, onde o PRFV apresenta resultados muito inferiores ao aço, conforme pode ser analisado no Quadro 3, que traz um resumo de todos os dados numéricos de resultados básicos das propriedades mecânicas apresentadas na ACI 440 (2022).

Quadro 3: Resumo do comparativo entre os valores do aço e o PRFV.

-	NBR 7480	ACI 440
-	Aço	PRFV
Densidade das barras (Kg/m^3)	7900	1250 a 2100
Tensão de escoamento (Mpa)	276 a 517	N/A
Resistência à tração [Mpa]	483 a 690	483 a 1600
Módulo de elasticidade [Gpa]	200	35 a 51
Deformação de escoamento [%]	0,14 a 0,25	N/A
Deformação na ruptura [%]	6,0 a 12,0	1,2 a 3,1

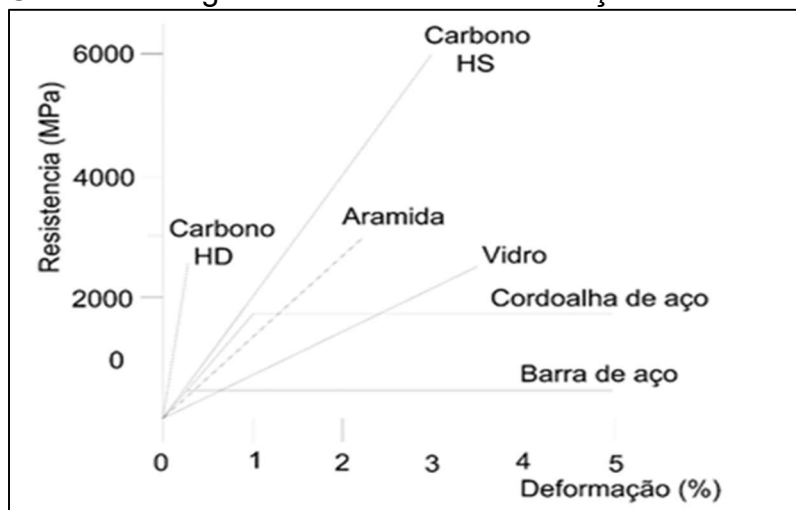
Fonte: Adaptado da ACI 440, (2022)

O módulo de elasticidade do PRFV Impacto diretamente no patamar de escoamento de ruptura do material, ou seja, quando o material apresenta o módulo elasticidade muito baixo, como é o caso do PRFV, aliado ao fato de que esse material é caracterizado como comportamento elástico linear, ou também conhecido como elasto-frágil, onde o materiais com essa característica não apresentam ductilidade no momento do escoamento quando o material passa por uma alta tensão deformando-o, ou seja, apresenta uma elasticidade muito mínima mas de se romper, comportando-se de maneira linear até o rompimento, sem haver um patamar escoamento como há no aço CA50/CA60 que são os mais utilizados, conforme é apresentado na norma ACI 440 (2022).

Essa característica de elasto-frágil, também ocorre em um material que era utilizado com frequência até ser substituído pelo aço comumente utilizado hoje em dia, esse material era o ferro fundido que também não possuía um patamar de escoamento, onde ocorria o rompimento do material sem apresentar nenhum tipo de sinal.

Conforme pode ser analisado na Gráfico 1, a matéria-prima do PRFV apresenta o mais elevado a resistência quando comparado as barras de aço e a cordoalha de aço, com tudo, esses dois materiais apresentam o comportamento completamente diferente, onde apresenta menor resistência, mas uma alta taxa de deformação.

Gráfico 1: Diagrama de tensão x deformação.



Fonte: ACI 440r (2022).

Um dos fatores determinantes que afetam toda a estrutura de um material que utiliza a tecnologia do PRFV, conforme descreve no estudo de Ineia (2021) e Beiral (2012), é a escolha do tipo de resina utilizada na produção de barrar PRFV, onde pode afetar os parâmetros físicos e mecânicos do material, dado que suas características são atreladas aos fatores como resistência da resina, fator de cura e rigidez pós cura.

Contudo, as resinas que atualmente são utilizadas na fabricação das barras de polímero reforçado com fibra de vidro possuem um fator de utilização baixo, ou seja, as propriedades que atualmente são empregadas nestas resinas não são completamente eficazes para o melhor desempenho do material que utiliza essa tecnologia de PRFV. Desse modo, ainda se realiza muitas pesquisas para determinar um estado adequado de todas as propriedades mecânicas da resina.

4.4 COMPORTAMENTO AO LONGO DO TEMPO (FADIGA DO MATERIAL, DURABILIDADE)

A deterioração de estruturas em concreto armado ao longo do tempo é algo inevitável, todavia, estruturas executadas com barras de PRFV apresentam deterioração em menor escala que em estruturas de concreto armado convencionais. Conforme a ACI 440 (2022), o PRFV é um material durável, resistente a várias intempéries como corrosão química, umidade, temperatura e exposição ao fogo.

A durabilidade do aço em estruturas de concreto armado está atrelada a diversos critérios da NBR 6118 (2023), contudo, a característica química do aço apresenta baixa resistência com relação a corrosão, em especial a ambientes agressivos.

De forma geral, como descrito pela ACI 440 (2022), o limite de fadiga é influenciado pelo tipo de fibra, resina e geometria do material. A taxa de fadiga é influenciada pela frequência e amplitude das cargas, com isso a determinação de um limite a fadiga torna-se difícil de ser determinado.

A qualidade da fabricação, tipos de fibras e resinas, condições ambientais, cargas e tensões, são fatores cruciais que influenciam a durabilidade e resistência do PRFV. Um projeto cuidadoso considerando tensões, cargas e condições ambientais é fundamental para otimizar a durabilidade.

4.5 COMPARATIVO ENTRE O PRFV E O AÇO

O Quadro 4, apresenta conforme a ACI 440 (2022) um resumo da relação das principais vantagens e desvantagens do Polímero Reforçado com Fibra de Vidro para reforços estruturais.

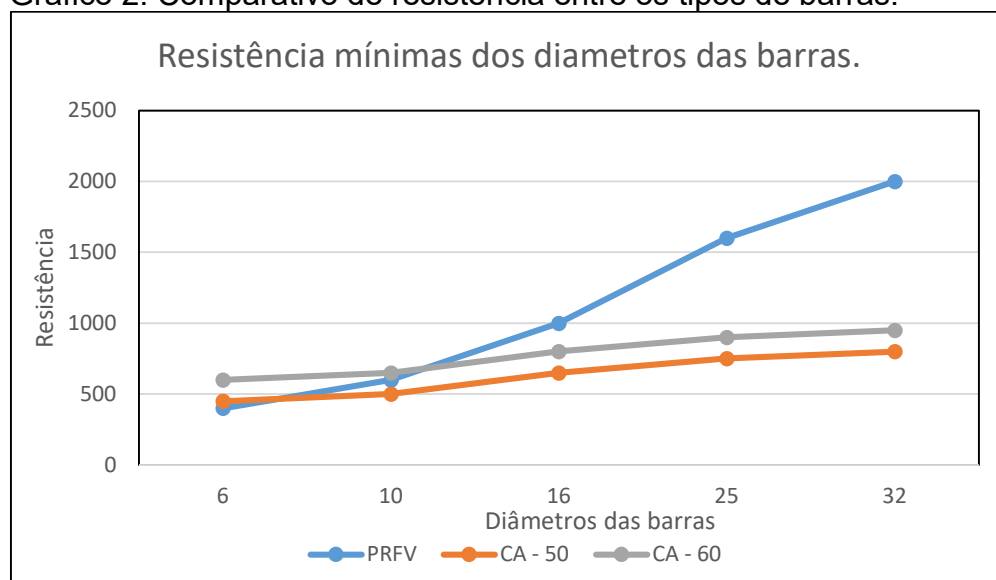
Quadro 4: Vantagens e desvantagens do uso do PRFV.

Vantagens	Desvantagens
Alta resistência a tração longitudinal	Não escoa antes da ruptura frágil
Resistente à corrosão	baixa resistência transversal
Não possui características magnéticas	baixo modo de elasticidade
Baixo peso	
Baixa condutividade térmica e elétrica	

Fonte: Adaptado da ACI 440, 2022.

O Gráfico 2, relaciona um comparativo de resistência à tração mínima de acordo com o diâmetro de cada tipo de barra de acordo com a ACI 440 (2022) e a NBR 7480 (2024), onde é possível comparar de forma clara a diferença de resistência entre o aço e o PRFV.

Gráfico 2: Comparativo de resistência entre os tipos de barras.



Fonte: Autoria própria, 2024.

O gráfico 2 demonstra a relação do diâmetro das Barras de aço CA50, CA60 e do PRFV, onde é possível analisar que na fase inicial ambos os aços possuem uma maior resistência, contudo a partir do diâmetro da barra de 16 mm o PRFV Começa a ter uma resistência elevada em comparação ao aço.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de barras de Polímero Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV) é viável tecnicamente em parte, considerando suas características sua aplicabilidade se restringe a algumas estruturas. O PRFV oferece vantagens significativas, como resistência à corrosão, leveza, flexibilidade e baixa manutenção, além disso, possui boa resistência à tração, porém apesar de todos os benefícios, essa característica do patamar de escoamento pode prejudicar a viabilidade técnica.

Deste modo, tornando restrito o uso do material devido ao módulo de tensão e deformação, que não apresenta um patamar de escoamento da estrutura, pois caso a estrutura ultrapasse a carga máxima suportada pela barra do estribo, ocorrerá a rutura do material. Contudo, considerando as características do material conforme foram apresentadas nos resultados da pesquisa, bem como podem ser analisados na norma ACI 440 (2022), para projetos específicos como estruturas marítimas, químicas ou em áreas corrosivas o PRFV é uma excelente opção se tratando de forma técnica. Apesar de todos os benefícios, essa característica do patamar de escoamento pode prejudicar a viabilidade técnica

No entanto, é essencial considerar a viabilidade econômica do polímero reforçado com fibra de vidro, dado que a relação econômica do material não foi possível ser

realizada devido aos poucos fornecedores nacionais do material não terem dado retorno sobre os aspectos financeiros do material.

Contudo, é possível determinar que o curso de implantação desse elemento estrutural seja superior ao adotado em estruturas de aço, pois devido aos poucos fornecedores e a limitação de matéria prima, a competitividade econômica torna-se inviável entre os dois elementos.

Já com relação aos objetivos determinados no início da pesquisa, que buscavam comparar o estribo tradicional de aço com o estribo de polímero reforçado com fibra de vidro (PRFV), analisar e sintetizar o conhecimento existente sobre o assunto e, analisar as diversas variáveis que poderiam influenciar com a problemática da pesquisa, foi possível identificar que esses parâmetros foram alcançados com base nos resultados apresentados sobre os aspectos das vantagens e desvantagens do material, conforme apresentado na Quadro 4, além das características mecânicas de cada material relacionado uma comparação conforme o gráfico 2.

Com todos esses dados apresentados, deseja-se que futuramente novas pesquisas sejam implementadas sobre esse assunto, expondo a necessidade de mais materiais acadêmica, e sugere-se que mais estudos sejam realizados abordando a contribuição das armaduras de polímeros reforçados com fibra de vidro.

REFERÊNCIAS

ACI COMMITTEE 440. **ACI CODE-440.11-22 Building Code Requirements for Structural Concrete Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer (PRFV) Bars : Code and Commentary**. American Concrete Institute Farmington Hills American Concrete Institute, , 2 set. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480: Barras e fios de aço destinados a armaduras para estruturas de concreto armado**. Rio de Janeiro: Abnt, 2022. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/40456/nbr7480-aco-destinado-as-armaduras-para-estruturas-de-concreto-armado-requisitos>. Acesso em: 02 out. 2024.

ABNT. NBR 6118 **Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas** Rio de Janeiro Associação Brasileira de Normas Técnicas, , 2023. Disponível em: <www.abnt.org.br>

BASTOS, Dr. Paulo Sérgio dos Santos. Histórico E. **Principais Elementos Estruturais De Concreto Armado**. 2006. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista / Unesp, São Paulo, 2006. Disponível em: <https://encr.pw/Bastos-2006>. Acesso em: 16 abr. 2024.

BEIRAL, Weverthon Vieira. **Aderência Entre Concreto E Barras Lisas De Polímero Reforçado Com Fibra De Vidro**. 2012. Título de Mestre, Curso de Engenharia Civil Universidade Estadual Do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes – RJ.

BELTRÃO, Leandro Mattos. **Pré-Lajes Em Edifícios Multipavimentos: estudo comparativo com o método construtivo convencional**. 2010. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em:
<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/28580/000769181.pdf?sequence=1>. Acesso em: 16 abr. 2024.

CABRAL, Danielle Alves. **Análise Comparativa De Custos Entre Elementos Estruturais De Concreto Armado E Bambu**. 2022. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba- Ifpb, Cajazeiras/Pb, 2022. Disponível em:
<https://repositorio.ifpb.edu.br/bitstream/177683/1907/1/TCC%20Danielle%20Alves%20Cabral.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2024.

CANEVAROLO JUNIOR, Sebastião V. **Ciência Dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2013. 53 f. Artliber Editora Ltda., São Paulo, 2013. Cap. 1. Disponível em:
https://www.artliber.com.br/amostra/ciencia_dos_polimeros.pdf. Acesso em: 20 abr. 2024.

CARBONARI, Gilberto. **BAMBU: O aço vegetal. Mix sustentável**, v. 3, n. 1, p. 17-25, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/240269>. Acesso em 30 de Agosto de 2024.

CASSAR, Bernardo Camargo. **Análise Comparativa De Sistemas Construtivos Para Empreendimentos Habitacionais: alvenaria convencional x light steel frame**. 2018. 108 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenheiro Civil, UFRJ/ Escola Politécnica, Rio de Janeiro;2018. Disponível em:
<https://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10025484.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2024.

CORREIA, V. C. **Estudo Da Influência Do Uso De Fibras De Aço E De Estribos No Comportamento Da Ancoragem De Barras**, 2012. 166p. Dissertação (mestrado) Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Disponível em: 2012ME_ViniciusCostaCorreia.pdf (usp.br). Acesso em: 02 maio 2024.

FERRAZ, Henrique. **O Aço Na Construção Civil**. São Carlos, Revista Eletrônica de Ciências, v. 1, n. 22, 06 mar. 2005. Disponível em:
O_ACO_NA_CONSTRUCAO_CIVIL-libre.pdf (d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net). Acesso em: 05 out. 2024.

FIORIN, Eliane. **Arranjos De Armaduras Em Estruturas De Concreto Armado**. 1998. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-21122017-113211/>. Acesso em: 12 maio 2024.

INEIA, A. et al. **Barras de Fibra de Vidro, Uma Alternativa Inovadora e suas Potencialidades: revisão bibliográfica**. Tecno-Lógica, v. 25, n. 2, p. 243–251, 30 jun. 2021.

JESUS, Jéssica Lima Coimbra de. **Utilização De Compósitos De Polímero Reforçado Com Fibras Na Construção E Reabilitação: casos de estudo, desafios correntes e perspectivas futuras**. 2021. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Politécnico de Setúbal, Setubal, 2021. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/38769/1/Dissertac%CC%A7a%CC%83o%20definitiva%20Je%CC%81ssica%20Jesus.pdf>. Acesso em: 06 maio 2024.

LEONHARDT, Fritz. **Construções De Concreto: Princípios Básicos Sobre A Armação De Estruturas De Concreto Armado**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora INTERCIÊNCIA Ltda, 1978. 288 p. Disponível em: <https://doku.pub/documents/doku.pub-g0rw4k75yeqk>. Acesso em: 20 abr. 2024.

MACHADO, Ari de Paula. **Reforço De Estruturas De Concreto Armado Com Fibras De Carbono**. Editora PINI, [São Paulo], 2002.

MESQUITA FILHO, Júlio de. **Estudo Das Vigas: Flexão Normal Simples**. 2015. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira-Sp, 2015. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/nepae/estudo-das-vigas.pdf>. Acesso em: 02 maio 2024.

NICODEMOS, Jorge Phelipe. **CARACTERIZAÇÃO DO AÇO CA-50 DISPONÍVEL NO COMÉRCIO DE JATAÍ GO**. 2022. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Politécnico de Goiás, Jataí - Go, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/1083>. Acesso em: 06 out. 2024.

OLIVEIRA, M. R. C.; SILVA, M. V. D.; TEIXEIRA, M. B.; SANTOS, D. F. A. **Estudo Comparativo Da Estabilidade Global Em Diferentes Tipos De Lajes**. Technology Science, v.2, n.1, p.28-32, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2674-6425.2020.001.0005>. Acesso em: 16 abr. 2024.

PASPALTZIS, Gustavo Colla. **Análise Teórica e Experimental de Elementos Armados com Barras de Fibra de Vidro (Gfrp) Submetidos à Compressão**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, Campos Dos Goytacazes – RJ. Disponível em: repositorio.maua.br/bitstream/handle/MAUA/477/CVN11.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 16 de novembro de 2024.

PINHEIRO, Jorge Lucas. **Avaliação Da Deformação Imediata De Laje Nervurada Com Vigotas Treliçadas Pré-Moldadas**. 2019. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras/Pb, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/bitstream/177683/1327/1/TCC%20-%20Jorge%20Lucas%20Pinheiro.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2024.

RODRIGUES, Adriana Sommer. **Barras De Fibra De Vidro (PRFV) Como Uma Alternativa Inovadora**. Congresso Brasileiro de Patologia das Construções, CBPAT 2022. Disponível em: 001175815.pdf (ufrgs.br). Acesso em 15 de junho de 2024.

SILVA, Otávio Saraiva Pinto da. **Cobrimento De Armaduras Em Estruturas De Concreto Armado: análise comparativa entre o valor especificado em projeto e o em execução em obras na cidade de Porto Alegre**. 2012. Trabalho de conclusão de graduação - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/79781>. Acesso em: 30 de Agosto, 2024.