

Comparativo entre fibras de aço e fibras de carbono no concreto

Comparison between steel fibers and carbon fibers in concrete

Comparación entre fibras de acero y fibras de carbono en hormigón

Recebido: 14/12/2023 | Revisado: 27/12/2023 | Aceitado: 28/12/2023 | Publicado: 03/01/2024

Marcos Gabriel Silva Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1932-6434>
Universidade Estadual Tocantina do Maranhão, Brasil
E-mail: marcosribeiro.20200006692@uemasul.edu.br

Itallo Gabriel Oliveira Locatelli

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1596-8492>
Universidade Estadual Tocantina do Maranhão, Brasil
E-mail: itallolocatelli.20200006960@uemasul.edu.br

Gustavo Gomes Duarte da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7415-0768>
Universidade Estadual Tocantina do Maranhão, Brasil
E-mail: gustavosilva.20200010096@uemasul.edu.br

Adrya Brunoro

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0868-9200>
Universidade Estadual Tocantina do Maranhão, Brasil
E-mail: adryabrunoro002@gmail.com

Diego Freitas de Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6063-9258>
Universidade Estadual Tocantina do Maranhão, Brasil
E-mail: diegosousa.20190008178@uemasul.edu.br

Denilson Pimentel dos Reis

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8630-4157>
Universidade Estadual Tocantina do Maranhão, Brasil
E-mail: denilsonreis.20190007143@uemasul.edu.br

Randal Silva Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6498-8650>
Universidade Estadual Tocantina do Maranhão, Brasil
E-mail: randal.gomes@uemasul.edu.br

Resumo

A indústria da construção civil busca constantemente aprimorar suas técnicas, impulsionada por novas tecnologias. Neste contexto, os materiais compósitos ganham destaque. Materiais como fibras de carbono e fibras de aço são utilizados para aumentar a resistência mecânica de estruturas sem alterar outros parâmetros como peso próprio. O presente artigo buscou analisar e comparar o uso de fibras de aço e fibras de carbono como reforço estrutural no âmbito da construção civil, além disso a pesquisa buscou mostrar a utilização e potencialidade de fibras no concreto. Para isso, foi usada uma metodologia de revisão narrativa de trabalhos já realizados e publicados voltados ao tema, a fim de obter o máximo de informações aplicadas sobre tal assunto. Logo após, foi feito um comparativo dos aspectos de ambos os materiais, bem como sua viabilidade e suas expressões de resultados. Assim, foi possível apontar as características individuais e demonstrar as funcionalidades de cada uma das fibras, para os diferentes tipos de obras. A comparação entre fibras de carbono e aço revela que, embora ambas apresentem melhorias, a fibra de aço oferece mais agilidade devido a fácil trabalhabilidade e um melhor custo benefício, além de que sua presença no mercado é mais comum comparado com as fibras de carbono.

Palavras-chave: Fibras de aço; Fibras de carbono; Uso de fibras; Reforço estrutural.

Abstract

The construction industry constantly seeks to improve its techniques, driven by new technologies. In this context, composite materials gain prominence. Materials such as carbon fibers and steel fibers are used to increase the mechanical resistance of structures without changing other parameters such as self-weight. This article sought to analyze and compare the use of steel fibers and carbon fibers as structural reinforcement in civil construction. Furthermore, the research sought to show the use and potential of fibers in concrete. For this, a narrative review methodology of works already carried out and published on the topic was used, in order to obtain the maximum amount of information applied on this subject. Soon after, a comparison was made of the aspects of both materials, as well as their viability and their expression of results. Thus, it was possible to point out the individual characteristics and demonstrate the functionalities of each of the fibers, for different types of works. The comparison between carbon fibers and steel reveals that, although both present improvements, steel fiber offers more agility due to easy

workability and better cost-benefit, in addition to the fact that its presence on the market is more common compared to carbon fibers.

Keywords: Steel fibers; Carbon fibers; Use of fibers; Structural reinforcement.

Resumen

La industria de la construcción busca constantemente mejorar sus técnicas, impulsada por las nuevas tecnologías. En este contexto, los materiales compuestos ganan protagonismo. Materiales como las fibras de carbono y las fibras de acero se utilizan para aumentar la resistencia mecánica de las estructuras sin cambiar otros parámetros como el peso propio. Este artículo buscó analizar y comparar el uso de fibras de acero y fibras de carbono como refuerzo estructural en la construcción civil, además la investigación buscó mostrar el uso y potencial de las fibras en el concreto. Para ello se utilizó una metodología de revisión narrativa de trabajos ya realizados y publicados sobre el tema, con el fin de obtener la máxima cantidad de información aplicada sobre este tema. Poco después se compararon los aspectos de ambos materiales, así como su viabilidad y su expresión de resultados. Así, fue posible señalar las características individuales y demostrar las funcionalidades de cada una de las fibras, para diferentes tipos de trabajos. La comparación entre fibras de carbono y acero revela que, si bien ambas presentan mejoras, la fibra de acero ofrece más agilidad por su fácil trabajabilidad y mejor costo-beneficio, además de que su presencia en el mercado es más común frente a las fibras de carbono.

Palabras clave: Fibras de acero; Fibras de carbono; Utilización de fibras; Refuerzo estructural.

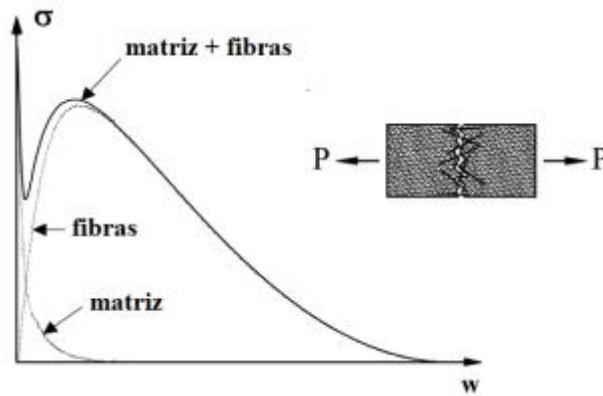
1. Introdução

A indústria da construção civil é uma das áreas que mais crescem ao decorrer dos anos, estando sempre propensa a novas tecnologias e métodos que possam melhorar as propriedades dos materiais, com isso, na busca por aperfeiçoar essas técnicas, surgem os materiais compósitos. Essa ideia consiste na junção de dois ou mais materiais de natureza diferente que tem como principal objetivo obter um novo material ao qual se adequa às características e exigências de uma determinada estrutura. Devido a necessidade de reparação de estruturas danificadas ou até mesmo com futuras cargas não previstas pelo engenheiro calculista, faz-se necessário aderir a processos construtivos como o reforço estrutural. Para isso, utiliza-se materiais compósitos como as fibras de carbono e as fibras de aço, que tem como principal finalidade o aumento da resistência mecânica da estrutura.

Somado a isso, sabemos que as estruturas de concreto armado assim como qualquer outra tem um tempo específico de duração, logo vai se deteriorando com o passar do tempo. Assim, torna-se relevante e de grande importância que haja uma ação visando aumentar a capacidade da estrutura de continuar a resistir a carregamentos. O que deve ser bem observado, pois quando identificada essa situação, é necessário recuperar a estrutura para que seja fornecida segurança e utilidade (de Araújo & Junior, 2018).

O concreto reforçado com fibras (CRF) é um tipo de material compósito que ocorre por meio da adição de fibras (Benttur & Mindess, 2007). Tal mistura apresenta duas fases, a matriz, conhecida por ser a menos resistente, e a fase descontínua, que é mais dura devida a presença das fibras. (Daniel & Ishai, 2006). A Figura 1 apresenta a comparação entre concreto com fibras e sem fibras resistindo à tração.

Figura 1 – Comportamento à tração do concreto reforçado com fibras comparado ao concreto simples.



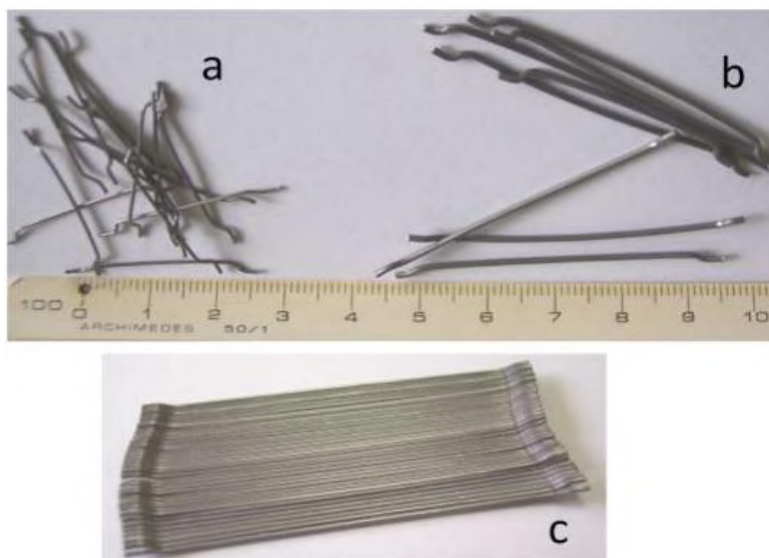
Fonte: Silva (2023).

No que se refere a utilização das fibras de carbono como reforço estrutural, é possível afirmar que ela fortalece além de potencializar de forma significativa a estrutura, deixando-a capaz de suportar carregamentos ainda maiores. O uso de fibra de carbono como reforço estrutural deve ser estudado nos diferentes tipos de componentes das estruturas a fim de avaliar sua eficiência e propagar suas vantagens em relação a outros métodos (Mendes et al., 2016).

Na utilização de materiais compósitos, faz-se o uso de um material proveniente da junção de dois ou mais materiais. A resina de epóxi acrescenta características interessantes, assim, quando utilizamos as fibras de carbono associando-as com resina de epóxi, temos um ganho significativo no que se refere a reforço estrutural. O ganho de resistência mecânica à tração e o módulo de elasticidade elevada se dá pelas características das fibras de carbono, enquanto isso a resina de epóxi vai deslocando os esforços para as fibras (Montanari & Gonçalves, 2017). Isso mostra a versatilidade que as fibras de carbono têm dentro dos métodos construtivos.

Atualmente já existem inúmeros tipos de fibras, dentre elas, uma das mais utilizadas é a fibra de aço com finalidade de resistência e adesão. Este tipo de fibra apresenta um formato bastante variável com o intuito de elevar a sua aderência com a matriz cimentante (Santos et al., 2020). A figura 2 mostra alguns tipos de fibra de aço.

Figura 2 – Fibras de aço soltas curtas (a), longas (b) e longas coladas (c).



Fonte: Figueiredo (2005).

Dentro da construção civil o concreto é um dos materiais mais utilizados, porém, devido a sua fragilidade em

determinados momentos foram criadas as fibras de aço para aumentar seu desempenho. Essa tecnologia veio para suprir as deficiências do concreto convencional (Braz & Nascimento, 2015).

Em relação a analogia entre as fibras de aço e fibras de carbono, a forma que a fibra de carbono é produzida auxilia na sua formação de átomos, ficando paralelos aos eixos das fibras. Dessa forma, é esperado que as fibras de carbono agregam maior valor de resistência ao concreto comparado as fibras de aço. A ilustração da Figura 3 exemplifica como é a aplicação o reforço de fibra de carbono. Ela mostraos tecidos de fibra paralela e transversais ao eixo da seção, auxiliando em reforços relacionados a flexão e cisalhamento.

Figura 3 - Reforço de fibra de carbono em vigas de concreto armado.

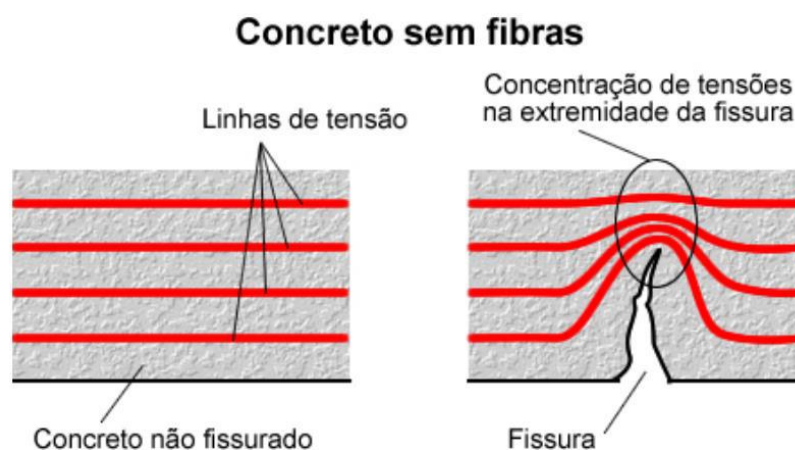


Fonte: Menacker (2021).

O entendimento dos reforços das fibras pode ser entendido a partir de ilustrações do funcionamento. O concreto simples, produzido a partir da proporção adequada (cimento, água, agregado miúdo e graúdo) são ótimos resistindo a compressão, porém possuem baixa resistência a tração (Pinheiro, 2007). Com isso, as fibras vão influenciar na melhoria de resistência a tração.

Um concreto sem a fibras produz fissuras desorientadas e com maior índice de alargamentos devido à concentração das tensões (Barros, 2009). A Figura 4 ilustra um concreto sem fibras e suas concentrações de tensões.

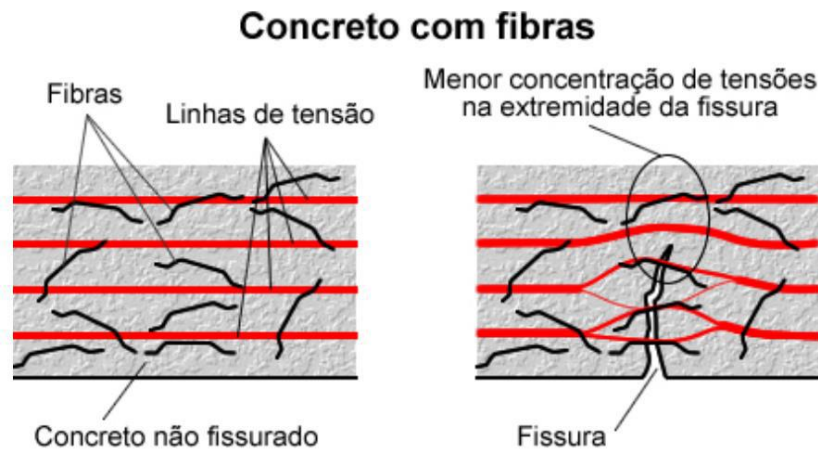
Figura 4 – Esquema da concentração de tensões em concreto sem presença de fibras.



Fonte: Barros (2009).

Com o reforço das fibras de aço, em tese, as linhas de tensões enfrentam “barreiras”, o que impede a concentrações de tensões e há a redução de velocidade de propagação das fissuras no concreto (Figueiredo, 2011). A Figura 5 apresenta o funcionamento das fibras de aço contra as tensões ocorridas no concreto.

Figura 5 – Esquema da concentração de tensões no concreto com fibras.



Fonte: Barros (2009).

Apesar de apresentarem benefícios para o concreto, as fibras podem chegar ao seu ponto de ruína. Segundo Oliveira (2005), o compósito de fibras pode sofrer alongamentos elásticos e plásticos até chegarem ao seu ponto de “quebra”, tal degradação pode ocorrer devido a ruptura da zona de aderência entre a fibra e a matriz do concreto.

Apesar das fibras, carbono e aço, apresentarem melhorias como materiais compósitos, este estudo tem como objetivo apresentar uma comparação entre as duas, por meio de uma revisão bibliográfica, apresentando resultados que descrevem a atuação benéfica de ambas.

2. Metodologia

Este trabalho consiste em uma pesquisa descritiva de revisão bibliográfica, realizadas através de um método narrativo com o seguinte tema: Comparativo entre fibras de aço e fibras de carbono no concreto. A pesquisa desenvolve-se através de referências buscadas em revistas, artigos científicos, teses e materiais digitais, onde foram analisados dados e contribuições sobre a utilização de fibras de carbono e aço para melhorias estruturais. Foi realizada uma leitura seletiva do assunto abordado, descartando informações não relevantes e selecionando as mais importantes para compreensão do tema, como critério de avaliação foram priorizados trabalhos publicados nos últimos 10 anos, porém não foram descartadas obras mais antepassadas que se mostraram relevante para o assunto, devido a falta de referências atuais.

A revisão narrativa convém em apresentar uma banca de resultados de alguns trabalhos ou fontes sobre o assunto. Galvão (2019) cita a relevância de projetos baseados em revisão, pois ela permite a observação de falhas e comparação de resultados já realizados.

Para esta revisão, foram buscadas palavras chaves na base de dados do google acadêmico, como: 1) Fibras de aço; 2) Fibras de carbono; 3) Concreto reforçado; 4) Fibras no concreto; 5) Concreto; 6) Reforço estrutural e 7) Material compósito.

As referências usadas para retratar deste trabalho tem os seguintes critérios de inclusão: 1) Artigos relacionados ao uso de fibras no concreto; 2) Artigos que retratam de forma pratica o uso desses materiais compósitos no concreto; 3) referências mais atualizadas ou com um repertório rico em informações sobre o tema e 4) artigos publicados, primeiramente em português, ademais em ingles. Já como critérios de exclusão foram: 1) artigos não gratuitos; 2) artigos que não estavam

acessíveis na íntegra e 3) artigos que fugiam da temática e acabavam não dissertando sobre o assunto em questão.

3. Resultados e Discussão

As fibras de carbono consistem em um material novo em comparação com o aço, logo essa vem ganhando espaço na construção civil, e de certa forma substituindo o aço em determinadas situações, por diversos benefícios que esse material apresenta, como leveza, resistência, e alta plasticidade no concreto fresco, conseqüentemente facilitando sua trabalhabilidade.

Sobre as fibras de carbono entende-se que sua aplicação como reforço estrutural é viável, sendo garantido por várias características, como sua notável trabalhabilidade, grande resistência à tração e enorme leveza (Aves, 2020).

Segundo Beber (2003), a adição da fibra de carbono, colada com resina, ofereceu ganhos positivos quanto a sua resistência, em relação a resistência a flexão houve um aumento de 78,9%, já para os ensaios de cisalhamento apresentou ganhos mais expressivos, chegando até 255,6%.

Além do aumento na resistência, a colagem de uma manta polímero reforçados com fibra de carbono (PRFC) leva a um significativo aumento da rigidez de uma viga de concreto. (Fortes, 2000; Ferrari, 2007). As fibras de carbono como reforço estrutural é viável tecnicamente e traz resultados satisfatórios em relação ao desempenho dos estados-limites último e de serviço. (Zampieri, 2020).

Já as fibras de aço são as mais utilizadas, isso se deve a sua resistência a tração e seu módulo de elasticidade elevado, além de uma melhor ligação com o material matriz, assim fibras de aço possuem uma forma que possibilita um desempenho propício a aderência com o concreto. Tudo isso corrobora para o bom funcionamento da desse material fibroso dentro do concreto. Além disso, a forma que as fibras de aço são distribuídas devem ser consideradas, não muito distante a isso, a variação de tamanhos também pode deferir nos resultados de resistência. (Silva, 2023).

De acordo com Dias (2018), as fibras de aço como material compósito também trazem melhorias para o corpo de concreto, houve o melhoramento nas áreas de resistência à compressão, tração e módulo de tenacidade do concreto. Este melhoramento foi mais expressivo na resistência a tração.

Diante dos dados expostos por Góis (2010), é possível determinar que o emprego das fibras de aço no concreto para a melhoria na tração é um meio viável e eficiente. Ele ressalta, também, que a quantidade de aditivos plastificantes é algo a se atentar, para que seja evitado a perda de desempenho dos compósitos.

Estrutura de concreto armado é muito usada devido aos fatores de usabilidade que ela oferece, sendo eles uma boa capacidade de resistência, durabilidade, desempenho de serviço, economicamente favorável e por oferecer uma boa união de concreto e aço, onde os dois se complementam, concreto bom em suportar a compressão e o aço por suportar a tração, e é nesse quesito que os materiais compósitos oferece e atuam, reforçando os pontos de fraqueza para auxiliar num aumento de resistência diante do esforço exigido.

De modo geral, a adição das fibras traz benefícios no reforço estrutural. Quando se fala em comparação entre as duas (carbono e aço) sente-se falta de um repertório mais adentro, porém, foi possível buscar resultados positivos para adequação de ambas e cabe ao leitor definir pelo cenário qual seria mais adequada para uso.

4. Conclusão

O presente trabalho buscou analisar os desempenhos das fibras de carbono e de aço adicionados à matriz cimentícia como reforços estruturais, visto que o concreto em si, possui grandes limitações quanto à sua capacidade de resistir a tração, além de deteriorar-se com o passar do tempo.

As fibras de carbono consistem em um material novo em comparação com o aço, logo essa vem ganhando espaço na construção civil, e por ser um material jovem, acaba que não tendo muitos estudos, porém vem ganhando espaço por

apresentar características como a leveza.

Por outro lado, as fibras de aço, por serem mais acessíveis, seguem sendo muito usados no âmbito em questão, além disso, ela é insuficiente quando o assunto é melhoria na resistência a tração. Conforme os resultados de Dias (2018), a melhoria mais expressiva foi na tração, algo que era esperado desde início, já que o concreto resiste mais a esforços de compressão e o aço de tração, isto acontece devido às características desses dois materiais que se complementando.

Portanto, diante dos resultados observados, concluiu-se que as fibras de carbono ofereceram resultados bem satisfatórios, com grande viabilidade e potencial de aplicações como reforços estruturais. Em contrapartida, esbarra-se no custo elevado, porém no caso das fibras de aço, são mais aplicadas por serem bem mais em conta, além de proporcionar melhor resistência. Considerando esses aspectos compreende-se que a escolha do compósito ideal como reforço estrutural vai depender das características requeridas do material.

Para trabalhos futuros, é recomendável que sejam feitas mais pesquisas que entorne o foco da comparação direta entre as fibras (tanto entre fibras de carbono e aço, como nas outras diversas fibras existentes), isso reforçaria a temática e implicaria no mundo trabalhista e de execução. O responsável teria uma referência para usar como escolha de qual fibra para a situação desejada e, por fim, qual delas é traz mais benefícios,

Referências

- Araújo, S. K. de; Clivatti, N.; Mendes, A. P. (2016) *Análise da eficiência de compósitos de fibra de carbono utilizados como reforço estrutural em pilares esbeltos de concreto armado*. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) na engenharia civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Araújo, T. T., & Junior, W. N. S. (2018). Reforço estrutural em fibra de carbono para estruturas de concreto armado. *6ª Conferência sobre patologia e reabilitação de edifícios*. <https://www.nppg.org.br/patorreb/files/artigos/80533.pdf>
- Aves, K. L. D. O. (2020). *Análise da viabilidade da fibra de carbono como reforço estrutural*. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).
- Barros, A. R. (2009). *Avaliação do comportamento de vigas de concreto auto-adensável reforçado com fibras de aço*. <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/riufal/392>
- Beber, A. J. (2003). *Comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com compósitos de fibra de carbono*. Tese em doutorado em engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <http://hdl.handle.net/10183/2974>
- Bentur, A., & Mindess, S. (2007). *Fibre Reinforced Cementitious Composites*. London and New York: Modern Concrete Technology Series, 601 p. (2a ed.).
- Braz, M. C. A., & Nascimento, F. B. C. (2015). Concreto reforçado com fibras de aço. *Ciências exatas e tecnologias*, 3(1), 43-56. <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/2638/1528>
- Daniel, M. I. & Ishai, O (2006). *Engineering mechanics of composite materials*. Oxford University Press. (2a ed.).
- Dias, R. (2018). *Comparação da determinação da tenacidade do concreto reforçado com fibras de aço por meio do ensaio de abertura por encunhamento e da ASTM C1609*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Uberlândia. Recuperado de <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/21114>
- Ferrari, V. J. (2007). *Reforço à flexão de vigas de concreto armado com manta de polímero reforçado com fibras de carbono (PRFC) aderido a substrato de transição constituído por compósito cimentício de alto desempenho*. (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo). <https://doi.org/10.11606/T.18.2007.tde-03102007-095413>
- Figueiredo, A. D. (2005). Concreto com fibras. *Instituto Brasileiro do Concreto*. https://www.researchgate.net/profile/Antonio-Figueiredo-12/publication/293811669_Concreto_com_fibras/links/56bb6b1008ae2481ab6abc4f/Concreto-com-fibras.pdf
- Figueiredo, A. D. (2011). *Concreto reforçado com fibras* Tese de Livre Docência, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/T.3.2012.tde-18052012-112833>
- Fortes, A. S. (2000). *Vigas de concreto armado reforçadas com fibras de carbono*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Recuperado de <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/78159>
- Galvão, M. C. B., & Ricarte, I. L. M. (2019). Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. *Logeion: Filosofia da informação*, 6(1), 57-73.
- Góis, F. A. P. (2010). *Avaliação experimental do comportamento de concreto fluido reforçado com fibras de aço: Influência de forma e da fração volumétrica das fibras nas propriedades mecânicas do concreto*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Recuperado de <http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/riufal/399>
- Menacker, E. F. (2021). *Reforço estrutural com fibra de carbono em estrutura de concreto armado*. Dissertação de mestrado. Universidade São Judas Tadeu.

Montanari, N., & Gonçalves, E. P. (2017). Fibras de carbono na construção civil. *Revista Univap*, 22(40), 515.

Oliveria, S. (2005). Taxa de armadura longitudinal mínima em vigas de concreto de alta resistência com fibras de aço (Doctoral dissertation, Tese Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro).

Pinheiro, L. M. (2007). Fundamentos do concreto e projeto de edifícios. Universidade de São Paulo, São Carlos.

Santos, V. C. dos; Gonçalves, P. C.; Guimarães, A. G.; Caballer, F. O. (2020). Vigas de concreto reforçado com fibras de aço submetidas à flexão. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 16(1), 01-15. <https://doi.org/10.5216/reec.v16i1.50551>

Silva, A. P. D. (2023). *Modelagem computacional da distribuição e orientação de fibras de aço em CRF*. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. Recuperado de <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-29082023-104149/publico/AndrePeresdaSilvaCorr23.pdf>

Zampieri, L. (2020). *Análise da viabilidade técnica do reforço de estrutura de concreto armado empregando polímeros reforçados com fibra de carbono*. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) de engenharia civil. Universidade de Caxias do Sul.