

UNIEVANGÉLICA – CAMPUS CERES

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**DOUGLAS FRANÇOÁ DE SOUZA
GUILHERME NATAN PARREIRA DA SILVA**

**ANÁLISE DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO: Uma revisão
bibliográfica**

PUBLICAÇÃO Nº:

CERES / GO

2020

**DOUGLAS FRANÇOÁ DE SOUZA
GUILHERME NATAN PARREIRA DA SILVA**

**ANÁLISE DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO: Uma revisão
bibliográfica**

PUBLICAÇÃO N°:

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADORA: Ma. JÉSSICA NAYARA DIAS

CERES / GO: 2020

FICHA CATALOGRÁFICA (exemplo)

SOUZA, DOUGLAS FRANÇOÁ DE.

SILVA, GUILHERME NATAN PARREIRA DA.

ANÁLISE DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO: Uma revisão bibliográfica.

19P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC - UniEVANGÉLICA

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| 1. Compósito cimentício | 2. Fibras de aço |
| 3. Concreto com fibras | 4. Resíduos no concreto |
| I. ENC/UNI | II. Título (Série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOUZA, D. F.; SILVA, G. N. P. TCC, ANÁLISE DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO: Uma revisão bibliográfica. Publicação ENC. PF-001A/07, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Ceres, GO, 19p. 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Douglas Françoá de Souza, Guilherme Natan Parreira da Silva.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO Analise da resistência da adição de fibras de aço no concreto.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2020

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Douglas Françoá de Souza
76.300-000 - Ceres/GO – Brasil

Guilherme Natan Parreira da Silva
76.300-000 - Ceres/GO – Brasil

**DOUGLAS FRANÇOÁ DE SOUZA
GUILHERME NATAN PARREIRA DA SILVA**

**ANÁLISE DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO: Uma revisão
bibliográfica**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:

Professora Ma. Jéssica Nayara Dias

Orientadora – UniEVANGÉLICA Campus Ceres

Professora Me. Charles Lourenço de Bastos

Examinador interno – UniEVANGÉLICA Campus Ceres

Professor Me. Vilson Dalla Libera Junior

Examinador interno – UniEVANGÉLICA Campus Ceres

CERES/GO, 22 de junho de 2020

ANÁLISE DO CONCRETO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO: Uma revisão bibliográfica

Douglas França de Souza¹
Guilherme Natan Parreira da Silva²
Jéssica Nayara Dias³

RESUMO

Um dos materiais que tem sido bastante utilizado nas edificações como elemento estrutural é o aço e este uso que compõe parte da estrutura se baseia por suas qualidades específicas. O material pode ainda ser utilizado adicionado ao concreto, na composição do concreto armado ou para a produção de um compósito cimentício. Neste último, a forma convencional se dá através da inserção de fibras para o reforço do concreto, buscando que se tenha um ganho na resistência à tração do mesmo. Deste modo, com este artigo teve-se por objetivo analisar, por revisão bibliográfica, o comportamento do concreto com a adição de fibras de aço em sua composição. Para tanto, baseou-se em experimentos e resultados de dois autores, bem como observando os efeitos positivos associados à adição de fibras no concreto, por exemplo, o ganho de tenacidade, o aumento da resistência à ruptura estática, a fadiga dinâmica e ao impacto e o melhoramento do comportamento à tração. Sendo efeitos que contribuem com o aumento da durabilidade da estrutura e ajuda a controlar e retardar a propagação de fissuras. Com base nas pesquisas realizadas chegou-se à conclusão que a adição de fibras de aço no concreto gera aumento na tenacidade do compósito, melhora seu desempenho na resistência a flexão possibilitando uma maior deflexão dos corpos de prova, podendo ser utilizado de várias formas, como em concretos auto-adensáveis, em contra pisos ou em construções submersas expostas à ação do mar.

Palavras-chave: Concreto. Compósito cimentício. Fibras de aço. Resíduos no concreto.

¹ Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: douglasfrancoa@gmail.com

² Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: guinatan.27@gmail.com

³ Mestra em Integridade de Materiais da Engenharia (UnB), professora do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: jessicadias.engenharia@gmail.com

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 METODOLOGIA DE PESQUISA	6
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	6
3.1 Benefício socioambiental	6
3.2 O aço e suas propriedades.....	6
<i>3.2.1 Fibras de aço</i>	<i>7</i>
3.3 Concreto e compósitos cimentícios	8
<i>3.3.1 A introdução de fibras de aço no concreto e seus efeitos.....</i>	<i>9</i>
4 CONCLUSÃO.....	13
REFERÊNCIAS	14

1 INTRODUÇÃO

A construção civil tem se tornado uma engrenagem de extrema importância para a economia brasileira, olhando como exemplo as iniciativas governamentais do país com os programas de casas populares, ou a facilitação dos bancos em financiamentos de residências ou construção de empresas, percebe-se um impacto na economia do país, colocando cada vez mais a infraestrutura no caminho do desenvolvimento e crescimento.

Henriques (2005) propõe que no Brasil, diferentemente do Japão e dos Estados Unidos, onde a integração entre técnicas tradicionais de construção e construção industrializada ocorre como uma tendência inovadora buscando a sustentabilidade. Com o crescimento das construções no país e no mundo, pesquisas têm sido realizadas para que este crescimento se dê de forma sustentável; é importante que seja atendido alguns critérios, como, a sustentabilidade ecológica acontecendo da forma mais econômica possível, pois construir exige uso de muitos recursos naturais e produz vários tipos de resíduos que se estudados, podem diminuir a poluição deixada por este processo.

Um dos materiais que tem sido utilizado nas edificações como elemento estrutural é o aço e este uso como parte da estrutura tem sido explorado por qualidades peculiares que somente são encontradas no aço. O aço é o resultado de uma fusão de ferro e pequena quantidade de carbono resultando em uma liga chamada ferro-carbono, porém tem em sua composição outros metais oriundos de resíduos do processo de fabricação do mesmo (IMIANOWSKY, 2017).

Para Ferraz (2005) uma das características do aço é que este é um material homogêneo que possui alta resistência a tração, compressão e flexão, a segunda é que este material pode ser trabalhado de várias formas possíveis seja forjado, laminado ou estriado e a terceira por ele ser totalmente reciclável. Bastos (2004) enfatiza que, face à globalização de informações e de mercados e ao aumento da produção de perfis metálicos, ocorre uma entrada de materiais e componentes industrializados no país, com tecnologias incorporadas e, portanto, adequadas a outras realidades.

Segundo Alves (2002), o concreto é um material, por excelência, resistente à compressão. No entanto sua resistência à tração ou à flexão é muito baixa. A razão entre as resistências à tração e à compressão é geralmente entre 0,07 a 0,11. Então surgiu a necessidade de agregar resistência a esse concreto, para que ele passe a ter maior eficácia para a construção. Para Figueiredo (2011), uma das alternativas técnicas a serem usadas para minimizar essas limitações é o uso de fibras para o reforço do concreto.

A junção do concreto que tem destaque pela sua grande resistência em compressão com o aço que além de estar sendo bastante utilizado nas edificações, tem uma ótima resistência a tração, terá um equilíbrio de esforços tendo como consequência bons resultados nos elementos estruturais de uma edificação ou em outras aplicações deste concreto reforçado (RODRIGUES, 2008).

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi analisar, por intermédio de revisão bibliográfica, como se comporta o concreto com a adição de fibras de aço em sua composição por meio de gráficos e tabelas que facilitarão a visualização das mudanças que acontecem com o concreto reforçado. Para tanto foram realizados estudos em artigos científicos, normas e dissertações sobre a adição de fibras de aço no traço de concreto, de modo a avaliar requisitos como resistência e trabalhabilidade.

2 METODOLOGIA DE PESQUISA

Este artigo analisa o comportamento do concreto com a adição de fibras de aço em sua composição, para tanto, as pesquisas e informações foram obtidas por intermédio de artigos científicos publicados, manuais técnicos, trabalhos da área e livros.

A pesquisa foi realizada em etapas, em que, primeiramente, foi feito um levantamento bibliográfico mais abrangente e, após leitura e melhor entendimento acerca do assunto, as fontes foram filtradas de modo que se obtivessem somente materiais que refletissem a proposta desta pesquisa. As principais palavras chaves utilizadas para a pesquisa foram: sustentabilidade, compósitos cimentícios e fibras de aço. As principais fontes utilizadas para composição dos dados apresentados neste artigo foram observadas em artigos, normas técnicas, dissertações e livros; apoiando principalmente nos estudos de Figueiredo (2000) e nos resultados de experimentos dos autores Khaloo et al. (2014) e Migliorini (2012).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Benefício socioambiental

No Brasil, a Indústria da Construção Civil apresenta um quadro de atraso quanto à responsabilidade socioambiental, que se revela, por exemplo, nos investimentos pouco expressivos na formação e qualificação dos profissionais e na destinação inadequada dos resíduos sólidos. Entretanto, o Ministério do Meio Ambiente juntamente com o Conselho Nacional do Meio Ambiente vem sendo mais rigorosas em suas resoluções e determinações surgindo assim uma melhoria quanto ao impacto socioambiental (CONAMA, 2002).

Na construção civil, a partir da utilização de novos materiais que gerem o menor impacto possível ao meio ambiente e contribuam para o conforto térmico ou a redução do consumo de energia, não é diferente, e há inúmeros exemplos de novos materiais e tecnologias com essa finalidade (OCTAVIANO, 2010). Essa ação se fundamenta na sustentabilidade, que se resume na capacidade de sustentação ou conservação de um processo ou sistema (MAGALHÃES, 2018).

Embora a redução na geração de resíduo seja sempre uma ação necessária, ela é limitada, uma vez que existem impurezas na matéria-prima, envolve custos e patamares de desenvolvimento tecnológico. Sendo assim, a reciclagem na construção traz benefícios como por exemplo, redução no consumo de recursos naturais não-renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados. É preciso que a escolha da reciclagem de um resíduo seja criteriosa e pondere todas as alternativas possíveis com relação ao consumo de energia e matéria-prima pelo processo de reciclagem escolhido (SOUZA et al., 1999; JOHN, 2000).

O setor siderúrgico é também um grande reciclador. Boa parte do aço destinado a reforço de concreto armado produzido no país é proveniente do processo de arco elétrico, que utiliza como matéria prima quase que exclusivamente sucata. Contudo, existe uma grande quantidade de resíduos com potencial de emprego na construção civil e que ainda são ignorados pelo mercado e até pesquisadores brasileiros (ÂNGULO; ZORDAN; JHON, 2001).

3.2 O aço e suas propriedades

O aço é um produto obtido através de uma fusão de uma composição que tem como base o ferro e adicionado uma pequena quantidade de carbono, resultando em uma liga chamada Ferro-Carbono, porém é possível encontrar outros elementos nessa liga que são resíduos do resultado do processo de fabricação do aço (IMIANOWSKY, 2017). O conceito de metal está relacionado a certo número de propriedades facilmente reconhecíveis, como por exemplo, o brilho metálico, opacidade, boa condutibilidade elétrica e térmica, ductilidade, etc.

Uma liga consiste da união íntima de dois ou mais elementos químicos onde pelo menos um é um metal e onde todas as fases existentes têm propriedades metálicas (PANNONI, 2001).

Figura 1 – Esquema estrutural de uma dentrita.



Fonte: Ferraz (2005).

O aço se solidifica pela formação de cristais, que vão crescendo a diferentes direções, formando os denominados eixos de cristalização. A partir de um eixo principal, crescem eixos secundários, que por sua vez se desdobram em novos eixos como mostrado na Figura 1, e assim por diante até que toda a massa do metal se torne sólida. É constituído de um elemento cristalino, cujos cristais (grãos) se encontram aproximados. Suas propriedades dependem de sua estrutura cristalina, ou seja, suas características podem sofrer alterações entre mole ou duro, quebradiço ou tenaz e isso acontece no processo de tratamento térmico que modificam diretamente a intensidade das dimensões, formato dos grãos, etc. (FERRAZ, 2005).

3.2.1 Fibras de aço

As fibras de aço (Figura 2), podem ser classificadas como fibras de alto módulo. Logo podem ser consideradas como fibras destinadas ao reforço primário do concreto, ou seja, não se destinam ao mero controle de fissuração.








Figura 2 – Fibras de aço.



Fonte: Khaloo et al. (2014)

No Brasil a NBR 15530 (ABNT, 2019) especifica as fibras de aço utilizadas no concreto e separa alguns tipos segundo a forma geométrica do perfil longitudinal sendo elas melhor compreendidas através da Figura 3. O Tipo A é a fibra de aço com ancoragem nas extremidades, o Tipo C é a fibra de aço corrugada, o Tipo R é a fibra reta. E entre os tipos existem classes que representam a liga de aço que a fibra é composta, Classe I são fibras de arame trefilado, Classe II fibras provenientes de chapa laminada cortada a frio e Classe III produzida do arame trefilado e escarificado, conforme podem ser vistos no Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação e geometria das fibras de aço para reforço do concreto.

Tipo	Classe da fibra	Geometria
A	I	
	II	
C	I	
	II	
	III	
R	I	
	II	

Fonte: Editado de ABNT NBR 15530 (2007).

Associada a esta classificação (Quadro 1) são definidos, também, os requisitos mínimos de forma geométrica, tolerâncias dimensionais, defeitos de fabricação, resistência à tração e dobramento (FIGUEIREDO, 2008).

3.3 Concreto e compósitos cimentícios

Por definição, compósito cimentício é o concreto com adição de materiais que não são aqueles comumente empregados: cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água e aditivos. O estudo e desenvolvimento de técnicas para produzir esses compósitos vêm da necessidade de inserir, no contexto da construção civil, a inovação e a melhoria nos materiais, agregando assim maior resistência e satisfação para as novas construções. Segundo Silva (2016), o desenvolvimento desses novos materiais busca, além de sustentabilidade, uma melhora nas características do concreto, possibilitando o aumento da resistência e aperfeiçoando o desempenho em edificações.

Em se tratando de limitações relacionadas à utilização do concreto, o seu comportamento notadamente frágil e a sua baixa capacidade de deformação antes da ruptura se destacam. Essa fragilidade se expressa no fato de que os valores de resistência à tração dos concretos são tipicamente bastante inferiores (entre 8% e 15% aproximadamente, dependendo do patamar de resistência estudado) aos de sua resistência à compressão (QUININO, 2015). A necessidade de compensar a deficiência de tração do concreto é a principal razão pela qual é necessária a incorporação de uma armadura de aço, gerando o concreto armado, para viabilizar o exitoso uso estrutural (QUININO, 2015).

O concreto reforçado com fibras surge entre os novos materiais destinados a projetos de execução e reparos de estrutura. O maior benefício observado nas matrizes reforçadas com fibras está relacionado com seu comportamento após a fissuração, deixando de ocorrer a ruptura brusca. A ruptura acontece quando a direção de propagação das fissuras é transversal à direção principal de tensão, a área disponível para suporte de carga é reduzida, causando aumento das tensões presentes nas extremidades das fissuras. Esse comprometimento da resistência é

muito maior quando o esforço é de tração do que em compressão. A ruptura na tração é causada por algumas fissuras que se unem e não por numerosas fissuras, como ocorre quando o concreto é comprimido (ALVES, 2002; MEHTA; MONTEIRO, 2008).

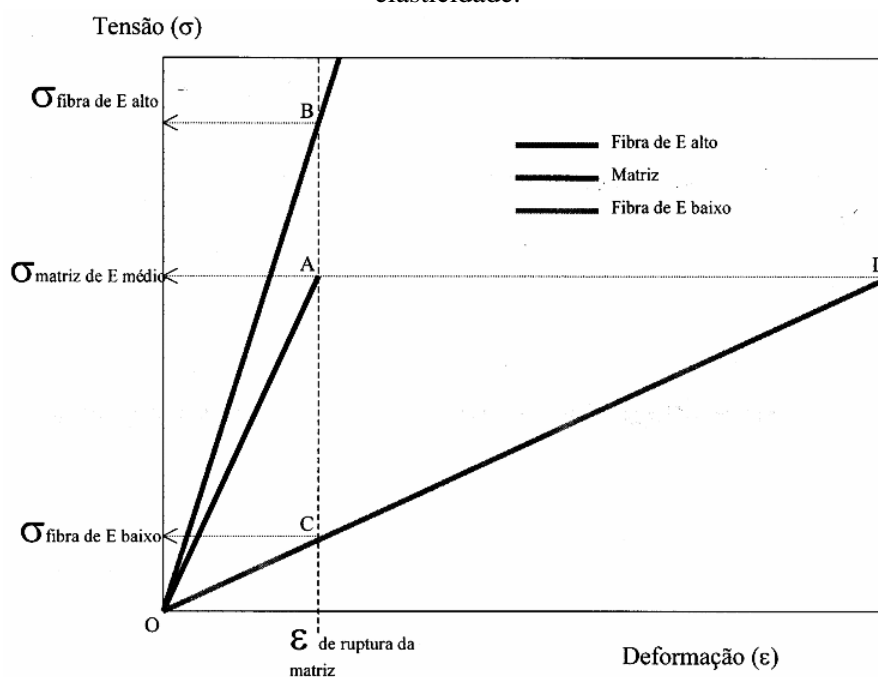
Nesse sentido, pesquisadores se empenham em buscar os melhores arranjos de adição para o concreto, ou seja, inserir materiais em sua matriz que venham a contribuir com a melhoria em suas propriedades mecânicas e compensar suas deficiências. Assim, muitas pesquisas vêm sendo realizadas com a adição de algum tipo de fibra ao concreto.

Khaloo et al. (2014) afirma que o uso de fibras no concreto diminui a fratura frágil do concreto significativamente e sob várias cargas, especialmente as cargas compressivas, cargas elásticas e jateamento de cargas, o comportamento do concreto reforçado com fibra será dúctil. As vantagens do emprego do concreto reforçado com fibras de aço são bem conhecidas do meio técnico internacional e começam a ser nacionalmente. A principal vantagem é o baixo custo e a pouca ou quase nenhuma intervenção na densidade do concreto, continuando assim sua boa trabalhabilidade. Outra vantagem importante é sua grande variação em suas propriedades podendo assim ser utilizado para várias funções, dependendo do tipo de elemento e seus volumes (FIGUEIREDO, 2000).

3.3.1 A introdução de fibras de aço no concreto e seus efeitos

Se tratando da inserção de fibras de aço no concreto, como indica Thomaz [s.d.], se as fibras forem suficientemente resistentes, bem aderidas à matriz cimentícia em quantidades corretas, estas ajudarão a manter pequena a taxa de abertura das fissuras e permitirão ao concreto reforçado com fibras resistir a tensões de tração bem elevadas, com grande capacidade de deformação no estágio pós-fissuração (o chamado “strain softening”), como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Diagrama de tensão por deformação elástica de matriz e fibras de alto e baixo módulo de elasticidade.



Fonte: Editado de Figueiredo (2000).

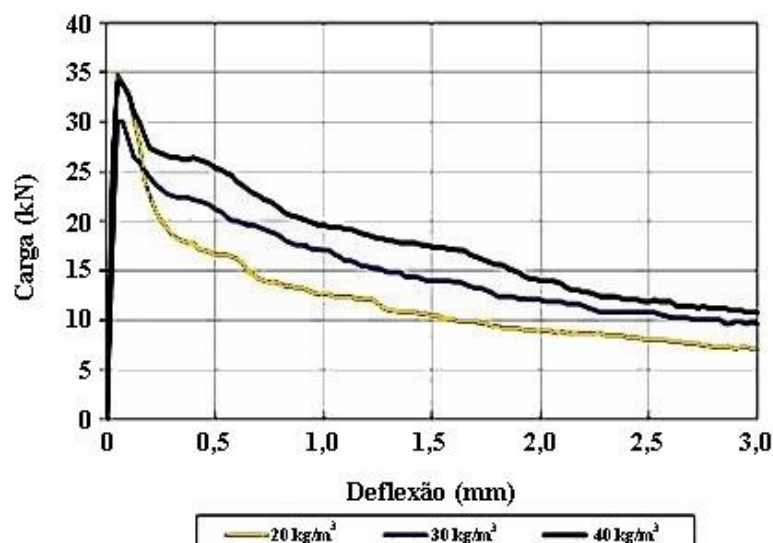
A Figura 3 traz o diagrama tensão-deformação para uma matriz hipotética reforçada com dois tipos de fibras, uma de módulo de elasticidade alto e outra de módulo baixo, sendo todas de comportamento elástico perfeito. A curva tensão-deformação está representada pela

linha O-A, as linhas O-B e O-C representam o trabalho elástico das fibras de alto e baixo módulo de elasticidade, respectivamente. A análise do diagrama permite observar que fibras que apresentam um alto módulo de elasticidade, como as de aço, apresentam um elevado nível de tensão no momento da ruptura da matriz, ou seja, elas permitem um reforço muito maior do concreto em detrimento daquelas que apresentam baixo módulo de elasticidade (FIGUEIREDO, 2000).

Há vários efeitos positivos associados à adição de fibras no concreto e argamassa como por exemplo o ganho de tenacidade, o aumento da resistência à ruptura estática, a fadiga dinâmica e ao impacto, o melhoramento do comportamento à tração, a redução das deformações de sollicitação e o controle de fissuras, no tocante ao número e a velocidade de propagação. Esses efeitos contribuem, conjuntamente, com o aumento da durabilidade da estrutura, pois a presença das fibras colabora com a diminuição das aberturas das fissuras, bem como ajuda a controlar e retardar sua propagação, permitindo que esta se dê de maneira estável (NEVILLE, 1975; CÁNOVAS; 1997; QUININO, 2015).

Como proposto por Figueiredo (2000), a capacidade de reforço que as fibras apresentam depende diretamente do teor de fibra utilizado. Pesando nisso, é certo afirmar que o teor será diretamente proporcional ao número de fibras atuando como ponte de transferência de tensão, portanto altos teores possuem alta quantidade de fibras. A Figura 4 apresenta um gráfico mostrando curvas de cargas x deflexão obtidas de ensaios de tração na flexão.

Figura 4 – Gráfico de Carga x Deflexão no ensaio de tração na flexão de concretos de FCK = 20 MPa e com diferentes consumos de fibra de aço.



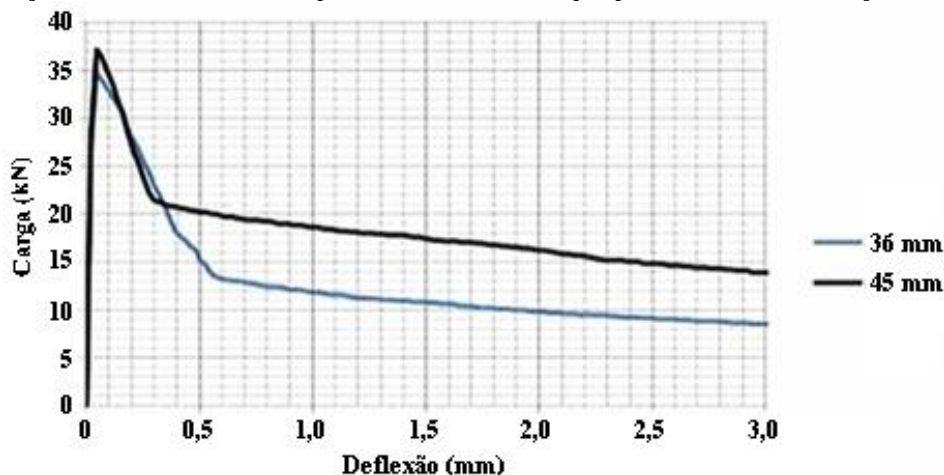
Fonte: Editado de Figueiredo (2000)

O gráfico na Figura 4 permite observar que até os primeiros 0,04 mm, o corpo de prova se mantém na fase elástica sem sofrer grandes alterações mesmo aumentando o teor de fibras, mas quando se atenta para a resistência do concreto após a fase elástica ou quando começa a fissurar, essa fissura cresce conforme aumenta o teor de fibras no corpo de prova. Sendo assim foi possível verificar que, quando se adiciona fibras com um teor de 40 kg/m³ proporciona uma resistência residual maior que em casos de inserção de 30 kg/m³ ou 20 kg/m³. No exemplo da Figura 5, é possível perceber que as fibras mais longas de 45 mm se sobressaem em relação às fibras de 36 mm, ou seja, aumentando cautelosamente o comprimento das fibras foi possível obter melhores resultados.

Figueiredo (2000) alertou que é preciso uma quantidade certa para adição de fibras em qualquer tipo de compósito, e que quando esse volume fica abaixo do necessário ele não reage bem aos esforços, não contribuindo assim como reforço, mas se adicionado acima do limite,

teremos grande resistência a solicitação de cargas, porém haverá um consumo bem maior que o necessário para obter os mesmo resultados quando se usa apenas o valor necessário. O volume é determinado em porcentagem em relação ao volume do concreto que será utilizado.

Figura 5 – Gráfico Carga x Deflexão obtidas no ensaio de tração na flexão de concretos de FCK = 30 MPa reforçados com fibras de comprimentos diferentes que possuem a mesma seção transversal.



Fonte: Editado de Figueiredo (2000).

Khaloo et al. (2014) utilizou várias porcentagens de adição de fibras de aço e dois tipos de classes de resistência, conforme indicado na Figura 5, em concreto auto adensável; utilizou corpos de prova no formato cilíndrico de 150 x 300 mm para teste de compressão e de dimensões 100 x 140 x 1200 mm para teste de resistência à tração por flexão. Dividiu as misturas em dois tipos, com diferentes porcentagens de adição da fibra de concreto, sendo os corpos de prova designados MS (Concreto auto-consolidável de resistência média) de 40 MPa e os designados HS (concreto auto-consolidável de resistência alta) são de 60 MPa, conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 1 – Resistência à compressão e tração.

Espécie	Resistência à compressão (MPa)			Resistência à tração (MPa)			
	7 dias	28 dias	91 dias	7 dias	28 dias	91 dias	
MS-SCC	-	29,4	39,7	47,3	2,20	3,27	3,46
	F0.5	26,7	38,0	46,3	2,26	3,40	3,59
	F1.0	24,2	35,1	43,2	2,43	3,71	3,80
	F1.5	23,2	33,9	40,3	2,48	3,97	4,01
	F2.0	22,4	32,3	40,2	2,75	4,30	4,43
HS-SCC	-	47,4	59,5	66,3	3,16	5,02	5,28
	F0.5	46,0	59,1	65,4	3,44	5,14	5,30
	F1.0	42,2	58,2	61,8	3,61	5,21	5,38
	F1.5	42,1	57,0	60,5	3,88	5,41	5,70
	F2.0	40,4	55,2	59,1	4,33	5,88	6,02

Fonte: Editada de Khaloo et al. (2014).

Pelos dados obtidos em testes que estão indicados na Tabela 1, em que Khaloo et al. (2014) comparou os valores obtidos nos textos realizados com os corpos de prova com adição da fibra de aço com os corpos sem adição da fibra, foi possível perceber que a resistência à compressão diminui conforme aumenta a porcentagem de tanto para a espécie MS quanto para a espécie HS. Na resistência a tração a adição das fibras fez efeito contrário em relação à

compressão, ela aumentou, tanto para os corpos de prova de espécie MS quanto para os corpos de prova de espécie HS.

Além das resistências a compressão e tração, Khaloo et al. (2014) analisou a deformação dos dois grupos de corpos de provas e obteve os resultados apresentados na Tabela 2 que mostra a resistência a flexão de cada espécie de corpo de prova mostrando a carga máxima atingida e a resistência a flexão.

Tabela 2 – Resistência a Flexão.

	Espécie	Carga Máxima (kN)	Resistência à flexão (MPa)
MS-SCC	-	4,81	4,41
	F0.5	5,00	4,59
	F1.0	5,32	4,88
	F1.5	5,45	5,00
	F2.0	7,02	6,44
HS-SCC	-	5,90	5,41
	F0.5	6,23	5,72
	F1.0	6,44	5,91
	F1.5	6,91	6,34
	F2.0	8,11	7,44

Fonte: Editado de Khaloo et al. (2014).

Pode se observar que os corpos com adição de 0,5% e 1,0% obtiveram melhores resultados quando adicionados ao concreto de média resistência MS-SCC, absorvendo em torno de 14 J e 18 J respectivamente sendo maiores que os valores absorvidos pelos corpos de prova HS-SCC com mesmas adições em tiveram valores de aproximadamente 10,8 J e 15,7 J. Já as adições de 1,5% e 2,0% tiveram melhores resultados no concreto HS-SCC, absorvendo em torno de 26 J e 31 J, apresentando-se maiores que o concreto MS-SCC que quando inseridas essas porcentagens obtiveram resultados de 20 J e 27 J para as mesmas adições.

No geral, tomando como referência para o concreto de média resistência o valor de MS-SCC, pode se ver que quanto maior a inserção das fibras mais se aumenta a tenacidade que sobe gradativamente com o aumento de porcentagem de adição, primeiro para 2,9 vezes com 0,5% de adição, seguido de 3,7 vezes, 4,5 vezes 6,7 vezes nas adições seguintes. E analisando os valores de concreto com alta resistência baseando-se em HS-SCC os resultados extraídos também subiram, para os acréscimos de 0,5% a 2,0% de fibras de aço na composição do corpo de prova, os valores da tenacidade foram 1,6, 2,6, 5,2 e 6,1 vezes maior, observando deflexão máxima de 8 mm.

Existe ainda um experimento de Migliorini (2012), que também comprova o aumento de resistência ao concreto se adicionado fibras de aço. Neste experimento foi adicionado fibras de aço no concreto confeccionando assim seus corpos de prova e os colocou sob intempéries durante algum tempo, para analisar se o concreto quando reforçado com fibras poderia ruir com o tempo por causa da degradação do aço das fibras e ainda tentou acelerar o processo adicionando uma porcentagem de cloreto de sódio ($NaCl$) em relação ao consumo de cimento. O autor utilizou cimento do tipo CPIV-32.

Este autor utilizou teor de 30 Kg/m³ de concreto e fibras de aço com 60 mm de comprimento e 0,75 mm de secção transversal, fez experimentos com duas situações e dois tipos de corpos de prova diferentes.

Na primeira situação, produziu o traço do cimento com adição de fibras de aço e adicionou 1% de $NaCl$ por quilo de cimento e os colocou sob céu aberto sofrendo alterações climáticas durante 730 dias, e fez testes de resistência em seu 90 e 730 dias de vida,

chamando de Betonada 1. No segundo experimento, o traço produzido foi apenas com adição de fibras de aço e os corpos de prova submetidos a um processo de molhagem e secagem semanais, imersos em solução de cloreto de sódio, nomeado Betonada 2. Os resultados obtidos por Migliorini (2012) estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Comparação de resultados no estudo de Migliorini.

TIPO	Resistência à compressão diametral		Tração por flexão	
	90 dias	730 dias	90 dias	730 dias
Betonada 1	2,83 MPa	3,25 MPa	4,38 MPa	5,87 MPa
Betonada 2	3,15 MPa	3,46 MPa	4,81 MPa	5,66 MPa

Fonte: Editado de Migliorini (2012).

De acordo com a Tabela 3, a Betonada 1 resistiu no ensaio de compressão diametral em média a 2,83 MPa aos 90 dias e a 3,25 MPa aos 730 dias, já na tração por flexão resistiu a 4,38 MPa aos 90 dias e 5,87 MPa aos 730 dias e todos esses dias estavam expostos ao tempo e suas mutações, provando que mesmo com a aceleração do processo de corrosão das fibras as resistências continuaram subindo. Na Betonada 2, os resultados obtidos foram, em média 3,15 MPa e 3,46 MPa para 90 e 730 dias de vida respectivamente para o ensaio de compressão diametral além da média de 4,81 MPa e 5,66 MPa para ensaio de tração por flexão para 90 e 730 dias, mesmo passando pelos banhos em solução de cloreto de sódio os corpos ainda ganharam resistência.

4 CONCLUSÃO

Com base nas pesquisas realizadas nos ensaios e estudos de Khaloo et al. (2014) e Migliorini (2012) constata-se que a adição de fibras de aço no concreto influenciou na resistência do mesmo de forma positiva em relação à tração por flexão e houve um decréscimo de resistência na compressão mostrando que quanto maior a quantidade de fibras maior foi essa queda. Os autores Khaloo et al. mostram em sua pesquisa que a principal característica afetada positivamente pela inserção das fibras de aço no concreto foi a deflexão.

Como visto nos trabalhos de Khaloo et al. (2014) e Migliorini (2012), quando se adicionou fibra de aço ao concreto, ela contribuiu para aumento da resistência à tração na flexão, aumentou a tenacidade dos corpos de prova que possuíam fibras de aço em sua composição. Isso mostrou que as fibras de aço quando bem posicionadas no concreto geram vantagens em seu emprego, podendo resistir até em ambiente marítimo que causa danos ao material da fibra, pois este é protegida pelo concreto. Foi possível determinar que tanto para concretos de média resistência quanto para concretos de alta resistência quanto maior o teor de adição mais a resistência à compressão diminuiu.

Com base em toda pesquisa feita para realização deste artigo chegou-se à conclusão de que a adição de fibras de aço no concreto gera aumento na tenacidade do compósito, melhora seu desempenho na resistência a flexão possibilitando uma maior deflexão dos corpos de prova. Esse compósito cimentício pode ser utilizado de várias formas, como em concretos auto-adensáveis podendo ser aplicado em contra pisos, ou utilizado em construções submersas. Observa-se ainda que o material influencia positivamente no aumento da resistência de tração por flexão, porém, promove uma queda na resistência à compressão com o aumento da quantidade inserida.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. 5 p. Rio de Janeiro: ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011.
- _____. **NBR 7217: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. 3 p. Rio de Janeiro: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987.
- _____. **NBR 15530: Fibras de aço para concreto – Requisitos e métodos de ensaio**. 38 p. Rio de Janeiro: ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019.
- ALVES, José Dafico. **Manual de tecnologia do concreto** / José Dafico Alves. 219 p.: il. (Série Compêndios; 5) 4. ed. rev. atual. – Goiânia: Ed. da UCG, 2002.
- ÂNGULO, Sérgio Cirelli; ZORDAN, Sérgio Eduardo; JHON, Vanderley Moacyr. **Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil**. 2001. 13 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- BASTOS, M. A. R. **Avaliação de sistemas construtivos semi e/ou industrializados de edifícios de andares múltiplos através da perspectiva de seus usuários**. Dissertação de Mestrado. 2v. 458p. Ouro Preto, UFOP, 2004.
- CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Panorama Actual de los hormigones reforzados com fibras de acero**. Universidade Politécnica de Madrid. In: IV Congresso Iberoamericano de Patologia das Construções – CONPAT 97, VI Congresso de Controle de Qualidade. Porto Alegre, 1997 Vol II. Anais p. 31 – 46.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 307, DE 5 DE JULHO DE 2002**. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamento/legislacao/federal/resolucoes/2002_Res_CONAMA_307.pdf. Acesso em: 17 nov. 2019.
- FERRAZ, Henrique. **O Aço na Construção Civil**. 2005. 16f. Artigo – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. **Concreto com fibras de aço**. 68 p. (BT/PCC/260). São Paulo: Epusp – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.
- _____. **A nova Norma Brasileira sobre fibras de aço para concreto**. São Paulo: Anapre – Associação Nacional de Pisos e Revestimentos de Alto Desempenho, 2008.
- _____. **Concreto Reforçado com Fibras**. 2011. 248 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- HENRIQUES, C.L. **Condicionantes de Projeto para Unidades de Pequeno e Médio Porte Utilizando Sistema Construtivo em Perfis Formados a Frio**. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto, 2005.
- IMIANOWSKY, Guilherme Wanka; WALENDOWSKY, Marcus Alberto. Os principais aços carbono utilizados na construção civil. CREA – Santa Catarina, 2017.
- JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

KHALOO, Alireza; RAISI, Elias Molaei; HOSSEINI, Payam; TAHSIRI, Hamidreza. Mechanical performance of self-compacting concrete reinforced with steel fibers. **Construction and Building Materials**, Oxford, v. 51, p. 179-186, jan. 2014.

MAGALHÃES, Lana. Sustentabilidade. **Toda matéria**. Maio, 2018. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/sustentabilidade/#:~:text=Sustentabilidade%20%C3%A9%20a%20capacidade%20de,agir%20em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A0%20natureza>. Acesso em: 17 nov. 2019

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

MIGLIORINI, A. V.; GUIMARÃES, A. T. C.; OZÓRIO, B. P. M. Fibras de aço em blocos de concreto: estudo para utilização em ambiente marítimo. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 997-1008, 30 maio 2012.

NEVILLE, A. **Fiber reinforced cement & concrete** – RILEM Symposium, 1975. P 459-, 1975.

OCTAVIANO, Carolina. Sustentabilidade na construção civil: benefícios ambientais e econômicos. **ComCiência**, Campinas, n. 122, Oct. 2010. Disponível em: http://comciencia.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S151976542010000800004&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 17 nov. 2019.

PANNONI, Fabio Domingos. **Aços Estruturais**. 2001. Disponível em: http://www.engmarcoantonio.com.br/cariboost_files/A_C3_A7os_estruturais.pdf. Acesso em: 23 out. 2019.

QUININO, Uziel Cavalcanti de Medeiros. **Investigação experimental das propriedades mecânicas de compósitos de concreto com adições híbridas de fibras**. 2015. 243 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

RODRIGUES, Rafael Bezerra; SOUZA, Marta, Francisca Suassuna Mendes de; **Sistemas estruturais de edificações e exemplos**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas (SP), Julho de 2008.

SILVA, L. F. **Estudo do efeito da microcelulose sobre o desempenho de materiais compósitos de matriz cimentícia**. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.

SOUZA, U.E.L. et al. **Desperdício de materiais nos canteiros de obras: a quebra do mito**. In: SIMPÓSIO NACIONAL – DESPERDÍCIO DE MATERIAIS NOS CANTEIROS DE OBRAS: A QUEBRA DO MITO. São Paulo, 1999. Anais. São Paulo (PCC/EPUSP), 1999. 48p.

THOMAZ, E.C.S., **Concreto reforçado com fibras – mito e realidade**. Notas de aula, Instituto Militar de Engenharia (IME). pp. 1-13. Rio de Janeiro, [s.d.].