



ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DO AÇO ESTRUTURAL POR FIBRAS DE AÇO

REGINATO, Amanda Larissa¹
PERES, Maria Vânia Nogueira do Nascimento²

RESUMO: A utilização de fibras de aço como adição no concreto tem se aprimorado ao longo dos anos devido aos benefícios que esse material oferece no que se refere ao comportamento estrutural, quando comparado ao concreto convencional. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo geral verificar o comportamento à flexão de vigas de concreto armado e vigas com 100% de substituição do aço estrutural por adição de fibras de aço. Para tanto, realizou-se, moldes de vigas de concreto, com tamanhos 12 cm de largura, 20 cm de altura e 70 cm de comprimento, sendo duas para o testemunho, duas com adição de fibra de aço na mesma proporção. Além disso, foram moldados dois corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, para controle tecnológico do concreto, para verificar o comportamento dos diferentes elementos quando submetidos a situações extremas de carregamento. Os resultados obtidos nas vigas com adição de fibra foram comparados com os resultados de modelos de vigas com aço estrutural com o intuito de analisar o comportamento das amostras e com base nos resultados foi possível observar que ao adicionar as 100% de fibras substituindo as armaduras de aço houve uma redução significativa em termos de resistência à tração. No que diz respeito às análises visuais de deformação e fissuração as mesmas se mostraram inconclusivas.

Palavras-chave: Resistência, Comportamento, Carregamento.

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR, alreginato@oulook.com;

²Mestre em Engenharia Civil, Prof. Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR.



1 INTRODUÇÃO

O concreto é atualmente o material de construção mais utilizado no mundo, em função de diversos fatores, dentre eles, sua facilidade de conformação (CARVALHO, 2012).

Segundo Almeida (2002) o concreto é um material de construção resultante da mistura, em quantidades racionais, de aglomerante (cimento), agregados (pedra e areia) e água. Logo após a mistura o concreto deve possuir plasticidade suficiente para as operações de manuseio, transporte e lançamento em formas, adquirindo coesão e resistência com o passar do tempo, devido às reações que se processam entre o aglomerante e a água.

Conforme Figueiredo (2011) o concreto possui algumas deficiências, como a dificuldade de ocupar totalmente peças esbeltas muito armadas, baixa ductilidade, retração plástica e permeabilidade em ambientes úmidos, que originam várias patologias. A amenização ou extinção destas carências viraram o foco de pesquisa de vários especialistas, o que resultou no surgimento, ao longo dos anos, dos chamados concretos especiais, os quais trouxeram alguns avanços em relação ao concreto convencional.

Os concretos especiais podem ser definidos como materiais de características específicas devido ao aprimoramento da tecnologia, que melhorou as deficiências do concreto tradicional ou incorporou propriedades não inerentes a este material, além de atender particularidades de cada obra, com produtos para serem empregados em locais/condições em que o concreto convencional não pode ser aplicado (FIGUEIREDO, 2011).

Segundo Góis (2010, p. 21) uma grande limitação do concreto convencional é a baixa resistência à tração, que é de apenas 7 a 10% de sua resistência à compressão. O concreto reforçado com fibras (CRF) é uma das alternativas mais utilizadas para melhorar o desempenho à tração. Mehta e Monteiro (2014, p. 490) afirmam que a resistência ao impacto é outra deficiência do concreto que tem sido aprimorada pela utilização da micro armadura de reforço (fibras).

Baroni (2003) comenta que ao analisar uma estrutura de concreto, além de considerar as propriedades mecânicas é importante analisar comportamentos referentes à sua capacidade de deformação e consequentemente fissurações. Mehta e Monteiro (1994) complementam que as deformações do concreto, assim como de outros materiais, podem ser entendidas como uma resposta dos mesmos à carga externa e ao meio ambiente de exposição.

Com essas informações, a justificativa para a realização deste trabalho é pertinente uma vez que a construção civil está em constante desenvolvimento através de novas tecnologias construtivas e novos materiais que possibilitam melhorias no comportamento das estruturas relacionadas a sua fragilidade. A intensidade de cargas atuantes, sua duração, as variações de temperatura e umidade, os fenômenos de retração e fluência são os principais fatores que influenciam no comportamento das estruturas, e em especial nas deformações (MEHTA e MONTEIRO, 1994). Logo, as fibras quando são adicionadas em módulo e quantidade (teor) apropriada minimizam esse comportamento frágil.

Com a finalidade de aperfeiçoar ou maximizar algumas propriedades do concreto convencional, o emprego das fibras vem aumentando e isso aumenta proporcionalmente a necessidade de obter conhecimentos sobre as propriedades e comportamento dessa adição.

Para tanto, a pergunta que será respondida com a realização dessa pesquisa é: A adição de fibras de aço no concreto em substituição do aço estrutural gera efeitos significativos em seu comportamento quando submetido a um determinado carregamento?

Este estudo está limitado à realização de ensaios em laboratório para analisar a eficácia de prognóstico de pesquisa, considerando a substituição total de armadura por fibra de aço.

De acordo com todas as informações expostas anteriormente, este trabalho tem como objetivo geral verificar o comportamento de vigas de concreto armado e vigas com a adição de fibras de aço em relação ao comportamento à flexão.

Salienta-se que para que este trabalho científico possa ter pleno êxito, os seguintes objetivos específicos são propostos:

- a) Determinar a resistência à tração nos elementos submetidos à flexão;
- b) Avaliar visualmente o comportamento à deformação das vigas;
- c) Avaliar visualmente o comportamento à fissuração das vigas.



2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Concreto

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), o concreto é considerado um material compósito formado pela junção de materiais diferenciados, que consiste principalmente de um meio aglomerante em que as partículas de agregado graúdo e miúdo estão agrupadas.

O concreto, de acordo com Valin e Lima (2019), por se tratar do material mais empregado na construção civil é amplamente utilizado em diversos tipos de estruturas e devido à sua trabalhabilidade é adequável a inúmeros tipos de formas, além de ser acessível devido ao seu baixo custo relativo. Figueiredo (2011) complementa que é o material estrutural mais utilizado no mundo devido a diversas características que possui. Contudo, existem algumas limitações quando solicitado à tração, pois possui comportamento frágil, quando comparado a esforços de compressão.

A resistência à tração é bem inferior à sua resistência à compressão, variando de 7 a 11% em função da resistência à compressão. Desse modo, tornou-se necessário utilizar técnicas de reforço para o concreto, utilizando materiais que aprimorassem a eficiência do compósito em relação a este tipo de esforço. O aço é corriqueiramente utilizado na construção civil, como por exemplo, em forma de fibra (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

2.2 Fibras de aço

Para Moscatelli (2011), a fibra de aço é caracterizada por sua geometria, onde uma das dimensões, comprimento, prevalece sobre as outras, diâmetro e ancoragem. Além disso, podem apresentar superfície lisa ou corrugada, apresentarem formas retas ou com ancoragem nas extremidades, com comprimentos variando entre 30 e 60 mm. O autor ainda complementa que, a geometria influencia significativamente na ductilidade dos materiais compósitos.

A NBR 15530 (ABNT, 2007) estabelece parâmetros de classificação para as fibras de aço e definem os requisitos mínimos de forma geométrica, como por exemplo, tolerâncias dimensionais, defeitos de fabricação, resistência à tração e dobramento.

De acordo com a NBR 15530 (ABNT, 2007) as fibras de aço são classificadas em três os tipos com a finalidade de uso em concreto:

- Tipo A: Fibra de aço com ancoragem nas extremidades;
- Tipo C: fibra de aço corrugada;
- Tipo R: fibra de aço reta.

Além das classificações relacionadas a tipologia da fibra, a NBR 15530 (ABNT, 2007) ainda especifica classes relacionadas ao material de origem da fibra, sendo elas:

- Classe I: fibra oriunda de arame trefilado a frio;
- Classe II: fibra oriunda de chapa laminada cortada a frio;
- Classe III: fibra oriunda de arame trefilado e escarificado.

Mehta e Monteiro (2008) complementam que o tipo de fibra e a quantidade empregada nos concretos, influenciam de modo direto nas propriedades mecânicas do concreto reforçado com fibra de aço, classificando a fração volumétrica das fibras em três categorias:

- Baixa fração volumétrica: menor que 1% do volume de concreto;
- Moderada fração volumétrica: entre 1% e 2% do volume de concreto;
- Alta fração volumétrica: maior que 2% do volume de concreto.

Segundo Figueiredo (2008), as fibras também se classificam de acordo com a sua resistência. Estudos demonstraram que no Brasil, a menor resistência prevista para o aço da fibra é de 500 MPa.

De acordo Guimarães (2015), em função das especificações de um projeto é possível escolher a fibra que melhor se adequa, pois em função da grande diversidade, existem fibras com altos e baixos módulos de elasticidade, com diferentes resistências à tração e diferentes massas específicas.

2.3 Propriedades do concreto com fibras de aço

A utilização de fibras é um conceito antigo e vem sendo aplicado há milhares de anos, com o intuito de melhorar as propriedades físicas e mecânicas de matrizes frágeis (BALAGURU e SHAH, 1992).

De acordo com Beglarigale e Yazigi (2015), os avanços tecnológicos referentes ao desenvolvimento de novos materiais trouxeram o concreto reforçado com fibras que é um material de construção composto que contém fibras de vários materiais adicionados à matriz de concreto. As propriedades mecânicas destes compósitos são influenciadas pela ligação fibra-matriz, possibilitando aumento de ductilidade e resistência mecânica quando comparado ao concreto sem fibras.

A adição das fibras ao concreto tem o objetivo de melhorar o desempenho da resistência à fissuração, tenacidade, resistência à flexão, resistência à fadiga, resistência ao impacto, entre outras propriedades relevantes ao desempenho da estrutura e desta forma, dos diferentes tipos de fibras existentes para aplicações estruturais, as de aço são as mais utilizadas (METHA e MONTEIRO, 2014).

Para Bentur e Mindess (2007), as fibras de aço não substituem a armadura longitudinal convencional, mas ambos os materiais devem ser usados em conjunto, pois quando o elemento for submetido a esforços de flexão, a fibra tende a inibir as fissuras, possibilitando melhor aderência do concreto com a armadura, e, portanto, reduzindo a fissuração na região de transferência de tensões. O autor ainda afirma que, o reforço com fibras, em certos casos, pode ser melhor do que a armadura convencional.

Bernardi (2003) evidencia que as fibras possuem funções distintas a das armaduras, e quando o compósito for submetido a esforços localizados, as fibras não possuem grande capacidade de reforço, distintivamente das armaduras que são elementos contínuos.

Figueiredo (2011) expõe que o concreto reforçado com fibras de aço tem um futuro promissor se utilizado como reforço estrutural, uma vez que o mecanismo de reforço apresentado pelas fibras favorece o comportamento à tração, à compressão, à flexão, ao cisalhamento, a capacidade de absorver energia, o controle da fissuração, entre outros aspectos.

Lima (2012), em oposição ao que foi exposto por Figueiredo (2011), revela que a adição de fibras à massa de concreto pode reduzir ligeiramente a resistência à compressão do concreto, pois as fibras propiciam a incorporação de vazios à matriz. O autor complementa que, sempre



que o modo de preparo do concreto se mostrar inapropriado pode ocorrer a formação de aglomerados de fibras.

3 METODOLOGIA

Trata-se de uma análise de comportamento de vigas de concreto armado e vigas com adição de fibras de aço.

O estudo foi baseado em bibliografias já existentes que serviram como instrumento auxiliar, ampliando o conhecimento na área analisada e sobre as normativas regulamentadoras, buscando a melhor qualidade do concreto (KOCHE, 2011).

Todo procedimento experimental foi desenvolvido no Laboratório de Ensaios Mecânicos e Construção Civil do Centro Universitário Assis Gurgacz em Cascavel – PR, onde foram moldadas vigas de concreto armado em tamanho real, com adição de fibras de aço, onde foram aplicadas cargas de tração e compressão, até seu rompimento, para a verificação do comportamento dos elementos.

3.1 Materiais e Métodos

O planejamento experimental consistiu na seleção de ensaios estabelecidos com critérios científicos, os quais se articulam de forma que seja possível determinar a influência de diversas variáveis nos resultados de um determinado processo (BUTTON, 2005).

Com base nisso, tendo definido os objetivos e a estratégia de pesquisa considerada adequada para o desenvolvimento deste trabalho, tornou-se possível estabelecer o procedimento metodológico que foi desenvolvido em diferentes etapas, sendo elas: materiais utilizados, produção do concreto e métodos de ensaios.

3.1.1 Materiais utilizados

O processo de produção das vigas em concreto armado foi realizada em duas etapas: a primeira procedeu-se com a preparação das formas em placas de compensado comum e corte e

dobra do aço das armaduras longitudinais (aço CA-50) e transversais (aço CA-60) das vigas. Após essa preparação, as armações foram dispostas nas formas para a concretagem. A segunda etapa foi a confecção do concreto utilizando os seguintes materiais: o aglomerante utilizado foi o cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV – ARI), atendendo às exigências da NBR 5733 – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (ABNT, 1991), o agregado miúdo é a areia natural, classificada como areia média. Já o agregado graúdo é de origem basáltica, com dimensão característica de 19 mm e classificado como brita 01. Por fim, a água, utilizada para a produção do concreto, foi fornecida pela rede de abastecimento da cidade de Cascavel, Paraná.

Para a confecção das vigas com 100% de substituição do aço estrutural por adição de fibras de aço foram utilizadas as mesmas formas de madeira produzidas em placas de compensado comum e os mesmos materiais para a produção do concreto, conforme especificado anteriormente. As fibras de aço utilizadas neste processo de produção foram as fibras MM40 (Figura 1), da marca MMFibras, conforme especificações técnicas são apresentadas na Tabela 1.

Figura 1: Fibra de aço MM40



Fonte: MMFibras (2020).

Tabela 1: Especificações técnicas da fibra de aço

MATERIAL	AÇO CARBONO TIPO I ASTM A820
Comprimento	40 mm
Largura	2 mm

Espessura	0,7 mm ($\pm 0,25$ mm)
Altura	2 mm
Fator de forma	40
Modelo	Arame de aço corrugado
Resistência	800 MPa por fio

Fonte: MMFibras (2020).

3.1.2 Produção do concreto

O traço unitário empregado nesta pesquisa foi baseado em Peres (2013), sendo 1:2,5:3,5 e relação água/aglomerante de 0,52, para se obter uma resistência de 25 MPa, com o consumo de materiais por metro cúbico de concreto de 330,45 de cimento, 825,71 de areia, 1155,99 de brita e 172,58 de água.

Foram moldadas quatro vigas em escala real, com dimensões 12 cm de largura, 20 cm de altura e 70 cm de comprimento, sendo duas para o testemunho, duas com adição de fibra de aço na mesma proporção. Além disso, foram moldados dois corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, para controle tecnológico do concreto, conforme Figuras 2 e 3.

Figura 2: Vigas de concreto.



Fonte: Autora (2020).

Figura 3: Corpos de prova cilíndricos.



Fonte: Autora (2020).

A mistura foi realizada com o auxílio de uma betoneira de eixo inclinado, a qual seguiu a ordem de colocação dos materiais: 100 % do agregado graúdo, 50 % da água de amassamento, 100 % de cimento, 100 % do agregado miúdo, 50 % da água de amassamento, sendo misturada por aproximadamente cinco minutos após a colocação de todo material. Ao finalizar o processo de mistura, foi realizado o controle da consistência do concreto (Figura 4), conforme determina a NBR NM 67- ABNT, 1998 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

Figura 4: Controle da consistência do concreto.



Fonte: Autora (2020).

Antes de iniciar a concretagem, foi aplicado desmoldante em todas as formas prismáticas e cilíndricas. No caso da viga em concreto armado foram posicionadas as armaduras e o concreto foi lançado em duas camadas e adensado com vibrador de imersão. Para o concreto com adição de fibras, as mesmas foram misturadas ao concreto após a mistura de todos os materiais. O lançamento e adensamento do concreto seguiu o mesmo procedimento da viga em concreto armado.

Após a realização da concretagem e adensamento, os corpos de prova foram mantidos em ambiente de laboratório por 24 horas. Decorrido esse período, os corpos de prova foram submetidos à cura em uma câmara úmida com umidade e temperatura controlada ($UR \geq 95\%$ e temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$). Após sete dias do período da concretagem, foram retiradas as formas laterais, ficando apenas o fundo, que foi retirado aos 28 dias, data do início da realização do ensaio.

Para as amostras que foram usadas para controle tecnológico a moldagem foi executada após o processo de mistura, seguindo as recomendações da NBR 5738 - Concreto: Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova (ABNT, 2015). Os corpos de prova foram mantidos em ambiente de laboratório por 24 horas. Decorrido esse período, os corpos de prova foram desmoldados e submetidos à cura em uma câmara úmida com umidade e

temperatura controlada ($UR \geq 95\%$ e temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$), onde ficaram armazenados e ensaiados na idade definida, aos 28 dias.

3.1.3 Métodos de Ensaio

O programa experimental compreendeu em análise de quatro vigas, sendo mantidas em todas elas, a geometria, as armaduras longitudinal e transversal, e o nível de carregamento. Como o ambiente interfere no comportamento das estruturas, salienta-se que fatores como temperatura e umidade foram apenas monitorados, mas não controlados.

Para o dimensionamento das vigas foram considerados os critérios de dimensionamento estabelecidos pela NBR 6118 – Estrutura de concreto armado: Procedimento (ABNT, 2014), sendo que o carregamento atuante considerado para a determinação dos esforços solicitantes e subsequente dimensionamento das armaduras foi somente o peso próprio da estrutura.

Os ensaios de resistência à flexão (Figura 5) foram realizados conforme especificações da NBR 12142 – Concreto: Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos (ABNT, 2010).

Figura 5: Ensaio de resistência à flexão.



Fonte: Autora (2020).

Os ensaios de resistência à compressão (Figura 6) para controle tecnológico do concreto foram realizados conforme prescrições da NBR 5739 – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2015).

Figura 6: Ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Autora (2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O concreto foi caracterizado com relação às propriedades mecânicas: resistência à compressão e resistência à tração na flexão. Os resultados experimentais apresentados foram obtidos para o concreto na idade de 28 dias.

As análises apresentadas nos itens a seguir levaram em consideração apenas as médias obtidas nos ensaios.

4.1 Resistência à compressão

Em geral, a resistência à compressão é usada como indicador de resistência mecânica dos materiais cimentícios, seja com algum tipo de adição ou não. Os resultados dos valores médios do ensaio de resistência à compressão para o concreto convencional e com adição de fibra de aço são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados médios do ensaio de resistência à compressão.

CONCRETO	RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MPa)
Convencional	22,3
Fibra de aço	21,9

Fonte: Autora (2020).

Com base nos dados expostos na Tabela 2, o concreto com adição de fibras de aço teve um decréscimo de resistência à compressão em média de 1,8%. Esses resultados confirmam a citação de Bentur e Mindess (2007) de que a adição de fibras produz um pequeno ou nenhum aumento na resistência à compressão do concreto. Neste caso, a adição de fibras de aço não teve grande influência nos resultados finais de resistência.

4.2 Resistência à flexão

Ensaio de resistência à flexão foram realizados para avaliar a resistência mecânica do material com aço estrutural e com substituição de 100% do aço estrutural por fibras de aço. Os resultados dos ensaios de resistência à flexão são apresentados na Tabela 3.

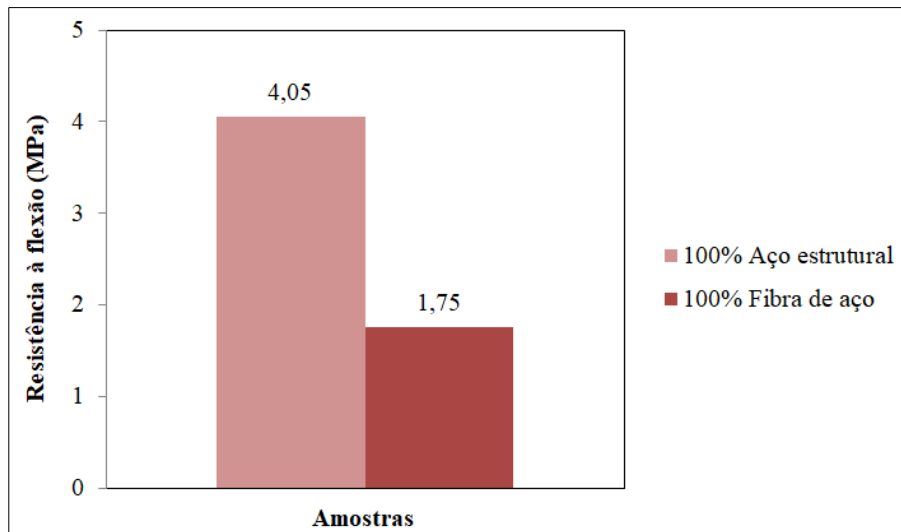
A Figura 8 relacionada às resistências médias à flexão das amostras testadas com aço estrutural e com fibra de aço.

Tabela 3: Resultados dos ensaios de resistência à flexão.

CONCRETO	RESISTÊNCIA À FLEXÃO (MPa)
Aço estrutural	3,9
	4,2
Fibra de aço	1,7
	1,8

Fonte: Autora (2020).

Figura 8: Resultados médios de resistência à flexão.



Fonte: Autora (2020).

A Figura 8 mostra que a força máxima média obtida nos ensaios de flexão foi maior para a composição com aço estrutural do que com 100% de substituição de fibra de aço, que obteve um decréscimo de resistência em média de 43%. Essa redução de resistência já era esperada, visto que um elemento submetido à flexão requer compensação dos seus esforços de tração a partir da adição de aço para amenizar esses efeitos.

4.3 Análise visual do processo de deformação e fissuração das vigas

As Figuras 9 e 10 ilustram os elementos de vigas com aço estrutural e com 100 % de fibra de aço quando submetidas à carga máxima de ruptura. As regiões em realce são as fissuras visíveis em função da ruptura dos elementos.

Figura 9: Comportamento de ruptura da viga com aço estrutural.



Fonte: Autora (2020).

Figura 10: Comportamento de ruptura da viga com a100% de fibra de aço.



Fonte: Autora (2020).

De acordo com as Figuras 9 e 10, observa-se que as possíveis deformações que ocorreram nos elementos, ao longo do processo de carregamento até a ruptura, não foram perceptíveis a olho nu. Já no que se refere às aberturas de fissuras, elas se mostraram mais intensas nas vigas com substituição do aço estrutural. Desta forma, considerando que visualmente esses efeitos não foram significativos, seria necessário um estudo referente à verificação de estado limite de serviço para verificar se esses efeitos são significativos a ponto de comprometer a vida útil da estrutura.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos dados apresentados no item anterior é possível concluir que a substituição de 100 % das armaduras de aço estrutural por fibras de aço provocou uma redução na resistência à flexão, causando assim, um rompimento mais rápido e com cargas menores.

Como a análise realizada nesta pesquisa foi o extremo no que se refere à substituição do aço estrutural, em 100%, é interessante a realização de estudos que possibilitem a utilização de diferentes percentuais de substituição, de forma a se obter um comportamento mais detalhado destes elementos quando submetidos à ruptura.

Esta proposta também se adequa a análise do comportamento destes elementos em termos de deslocamentos e fissuras, por meio da utilização de alguns artifícios de medição, pois visualmente os resultados se tornaram despercebíveis, embora a diferença de fissuras entre as amostras se mostraram pouco significativas.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67 - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

_____. NBR 15530: Fibras de aço para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2007, 7 p.

_____. NBR 6118 – Projeto de Estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR 5738: Concreto- Procedimento para moldagem e cura e corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ALMEIDA, L. C. Manual Fundamentos do concreto armado. São Paulo 2002.

BALAGURU, P. N. E SHAH, S.P., 1992, Fiber- Reinforced Cement Composites, McGrawHill International Editions, 1ed, New York, USA.



BARONI, H. J. M. Avaliação do comportamento dos deslocamentos transversais ao longo do tempo em tempo de vigas de concreto armado não convencional. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BEGLARIGALE, A.; YAZICI, H. Pull-out behavior of steel fiber embedded in flowable RPC and ordinary mortar. *Construction and Building Materials*, v. 75, p. 255-265, 2015.

BERNARDI, S. T. Avaliação do Comportamento de Materiais Compósitos de Matrizes Cimentícias Reforçadas com Fibra de Aramida Kevlar. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BENTUR, A.; MINDESS, S. *Fibre Reinforced Cementitious Composites*. 2nd ed. London: Elsevier, 2007.

BUTTON, S. T. Metodologia para planejamento experimental e análise de resultados. 88f. IM 317. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2016.

CARVALHO, E. Estudo da variabilidade da tenacidade de concretos reforçados com fibras de aço por meio de ensaios à flexão em prismas moldados e extraídos. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, 2012.

FIGUEIREDO, A. D. A nova especificação brasileira das fibras de aço para concreto. *Concreto Anais do 50º Congresso Brasileiro do Concreto*. IBRACON, 2008.

FIGUEREIDO, A.D. Concreto reforçado com fibras, Texto apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Livre Docente. São Paulo, 2011.

GÓIS, F. A. P. Avaliação experimental do comportamento de concreto fluido reforçado com fibras de aço: Influência do fator de forma e da fração volumétrica das fibras nas propriedades mecânicas do concreto. 156p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010.

GUIMARRÃES, Diego. Avaliação Das Propriedades De Concretos Reforçados Com Fibras De Aço Para Utilização Em Pisos Industriais. 2015. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

KOCHE, J. C. Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa. Petrópolis: Editora Vozes, 2011.

LIMA, R. P. A. F. P. Utilização de fibras metálicas com funções estruturais em estruturas de betão. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Setembro, 2012.



MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. 1ª Edição São Paulo: Editora Pini LTDA, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: **estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Ibracon, 2008. 751p. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Ibracon, 2014. 674p.

MOSCATELLI, I. Fibras de aço em concreto em concreto de cimento portland aplicados a pavimento. 2011. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

SAHOO, D. R.; SHARMA, A. Effect of Steel Fiber Content on Behavior of Concrete Beams With and Without Stirrups. ACI Structural Journal, v. 111, n. 5, p. 1157-1167, sep./oct. 2014.

VALIN JR, M. O.; LIMA, S. M. Influência dos procedimentos de cura na resistência e absorção do concreto. Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2009.