

OS BENEFÍCIOS EFETIVADOS NO CONCRETO A PARTIR DA ADIÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

Igor Henrique Souza Sanchez¹, Lucas de Carvalho¹, Wygor Alves Martins Pimenta¹
igorshenrique@hotmail.com, lucasdcarvalho@icloud.com, wygoralves19@gmail.com

Professor orientador: Bruno Paniago Lima

Coordenação de Curso de Engenharia Civil

Resumo

Ao longo dos anos a sociedade vem se aprimorando a fim de suprir suas necessidades e tornar o dia a dia mais corriqueiro, no entanto, nem todo material utilizado supre as carências impostas. Por esse motivo, estudos e pesquisas vêm buscando analisar as características mecânicas dos materiais de modo a entender suas propriedades e conseguir suprimir suas imperfeições. Como exemplo disso, temos o concreto, o material estrutural mais utilizado na atualidade, porém, o mesmo possui adversidades mecânicas que precisam ser corrigidas para tornar o ambiente construído mais seguro estruturalmente, livre de patologias e exageradamente resistente. Diante disso, o presente trabalho buscou caracterizar as vantagens que a adição de fibras de polipropileno concebe quando misturadas ao concreto através de uma revisão bibliográfica qualitativa, onde o cruzamento de dados foi obtido por vários autores que realizaram ensaios mecânicos ordenados pela Associação de Normas Técnicas Brasileiras (NBR), podendo assim, concluir as principais melhorias acarretadas ao concreto devido à adição de fibras.

Palavra-chave: Concreto; Fibras de polipropileno; Adição de fibras ao concreto.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a indústria da construção civil vem apresentando um desenvolvimento dinâmico e acelerado, buscando melhorias em todos os setores, como, conservação, habitação, desenvolvimento econômico por meio de vias de transporte, saneamento básico, energias alternativas e até mesmo soluções e pesquisas voltadas para o setor espacial. A necessidade por melhorias vem contribuindo cada vez mais para o progresso de estudos e da sociedade (TRICHÊS, 1993).

Um dos materiais mais utilizados mundialmente para estruturas é o concreto, pois pode ser produzido com componentes diferentes e ainda possuir as mesmas características mecânicas, como exemplo disso, o agregado graúdo no concreto utilizado da região sul do Brasil, é a brita de basalto, já na região nordeste é utilizada a brita de granito. Além das modificações quanto aos seus componentes, o concreto também se associa perfeitamente à componentes químicos, como, plastificantes, retardantes, aceleradores de pega, aditivos, impermeabilizantes, componentes naturais e sintéticos (ULBRICH, 1997).

O concreto possui diversas características convenientes estruturalmente, no entanto, ele possui certas limitações, como, por exemplo, o comportamento marcadamente frágil, possui baixa capacidade de deformação fazendo com que o mesmo

¹ Graduação em Engenharia Civil – Centro Universitário UNA.

se torne instável e rupture, quando tracionado chega rapidamente em seu estado último, possui grande susceptibilidade às fissuras e micro-fissuras que podem ocorrer em seu interior e exterior, entre outras dificuldades (THOMÉ, 1999).

Diante disso, diversos estudos e ensaios são realizados a fim de encontrar meios que tornem o concreto mais resistente, e uma das alternativas técnicas encontradas que pode ser utilizada para minimizar essas limitações é o uso de fibras para o reforço do concreto. A adição de fibras se destacou devido ao fato do concreto manter seus componentes originais, podendo ser acrescido fibras de aço, vidro, amianto, polipropileno, carbono, celulose, acrílico, polietileno, sisal e outros. Segundo os catálogos industriais, a adição de fibras ocasiona no concreto ganho de resistência superficial à abrasão, controle da fissuração, melhor distribuição de cargas, resistência perante incêndios entre outros benefícios (SOARES; BICA; BRESSANI e MARTINS, 1994).

Quanto ao custo da adição de fibras, o mercado ainda não se encontra totalmente consolidado, possuindo alto preço e mão de obra especializada insuficiente, por esse motivo, aplicações de concreto reforçado com fibras em sua maioria são em obras de grande porte, como, infraestrutura urbana, rodoviária e obras industriais (PRIETTO, 1996).

Outro motivo das fibras se encontrarem em segundo plano é devido à complexidade de execução, pois necessitam de um rigoroso controle tecnológico na produção do concreto, onde, o mesmo quando reforçado com fibras deve atender a traços peculiares, possuir aditivos para aumentar a trabalhabilidade, e ter a proporção correta de adição de fibras (MARQUES FILHO, 2001).

As fibras mais utilizadas mundialmente são as de aço e polipropileno, no entanto, as fibras de polipropileno suprem certos impasses encontrados na de aço, além de possuir um custo menor. Diante disso, foi escolhido a fibra de polipropileno para a realização de um levantamento de dados através de estudos e ensaios realizados por diversos autores, a fim de demonstrar as vantagens da adição de fibra de polipropileno ao concreto.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho é de natureza qualitativa, e visa caracterizar os benefícios da adição de fibras ao concreto por meio de uma revisão bibliográfica, e demonstrar que a fibra de polipropileno é uma opção viável para a construção civil.

Para a obtenção de dados o presente estudo contou com livros, a Norma Reguladora Brasileira sobre concreto reforçado com fibras 16938 (2021), além de artigos encontrados em plataformas de pesquisa, como Scielo, utilizando os termos “adição de fibras ao concreto”, “fibras de polipropileno”, e “propriedades do concreto”.

3. DESENVOLVIMENTO

A construção civil está em constante desenvolvimento a fim de aprimorar os materiais e técnicas utilizadas para conceber durabilidade, resistência a esforços e a exiguidade de patologias na obra. No entanto, o material estrutural que possui o posto de mais utilizado no mundo, o concreto, possui certas características que o limitam, tornando necessário a adição de outros materiais (MEHTA e MONTEIRO, 2009).

3.1 Concreto

O concreto é caracterizado como uma mistura de um ligante, mais especificamente o cimento *Portland*, agregado miúdo, água e aditivos. Quando fresco, tem consistência plástica e pode ser moldado em diferentes formas e tamanhos conforme desejados, mas quando endurecido apresenta uma série de limitações, como o comportamento marcadamente frágil e a baixa capacidade de deformação apresentada antes da ruptura quando o material é tracionado. Além disso, devido à suscetibilidade do material a possíveis trincas e microfissuras internas e externas, sua resistência à tração é muito baixa em comparação com sua resistência à compressão (MARANGON, 2006).

O concreto é o material estrutural mais usados atualmente, não sendo tão resistente quanto o aço, mas possuindo uma boa resistência à água. Se comparado à madeira e o aço comum, o concreto consegue resistir à ação da água, mantendo seu estado inicial, sem deteriorar de maneira séria, fazendo com que ele seja uma boa opção como material para estruturas que tenham a intenção de entrar em contato direto e contínuo com a água (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

No entanto, segundo Oliveira (2018), para atingir o rigor e durabilidade do concreto também é necessária atenção a sua preparação, como, por exemplo: o lançamento do concreto onde deve ser lançado assim que misturado, respeitando um intervalo de no mínimo 30 minutos, evitando assim a segregação de materiais; o adensamento do concreto obrigando as partículas a ocupar os vazios e a desalojar o ar do material evitando futuras fissuras e fragilidade do concreto; e o tempo de cura, onde as superfícies do concreto quando expostas a condições que acarretam a sua secagem prematura podem ocasionar fissuras, deterioração e corrosão da armadura (TRIGO, 2009).

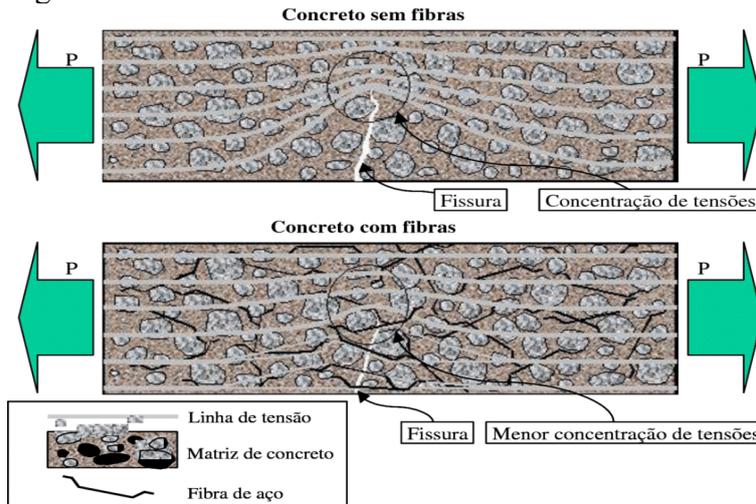
Por ser um dos materiais de construção mais usados, o concreto conta com uma diversidade de tecnologias estabelecidas que facilitam e suprem suas dificuldades e falhas, isto é, embora o concreto apresente baixa resistência à tração, é possível encontrar no mercado fibras que quando adicionados ao preparado do concreto concebem mais resistência a tração flexão e impacto, como também tenacidade (OLIVEIRA, 2018).

3.2 Fibras

O concreto simples apresenta um comportamento frágil e baixa capacidade de deformação antes de seu rompimento quando submetido à tensão de tração, fato este que conduziu a realização de muitas pesquisas no sentido de encontrar soluções para esta deficiência. A adição de fibras surgiu como um bom campo de pesquisa, pois mantém os componentes originais utilizados no concreto, acrescentando fibras que podem ser de aço, vidro, amianto, polipropileno, carbono, celulose, acrílico, polietileno, sisal e outros, mas as fibras mais utilizadas são as de aço e de polipropileno. As melhorias que ocorrem no concreto estão relacionadas as propriedades mecânicas, características da fibra escolhida, além da composição e de como foi realizado a fabricação do material. (FIGUEIREDO, 2011).

Segundo Figueiredo (2000), as fibras controlam a propagação das fissuras no concreto, isso acontece em razão das fibras servirem como uma ponte de transferência das tensões sofridas pelas fissuras, fazendo com que minimizem a concentração das tensões nas extremidades, conforme se visualiza na Figura 1. Por consequência, consegue-se uma redução da velocidade com que essas fissuras se propagam no concreto e o material passa a apresentar mais ductilidade, apresentando resistência às solicitações impostas após a fissuração.

Figura 1 - Concreto com e sem fibras.

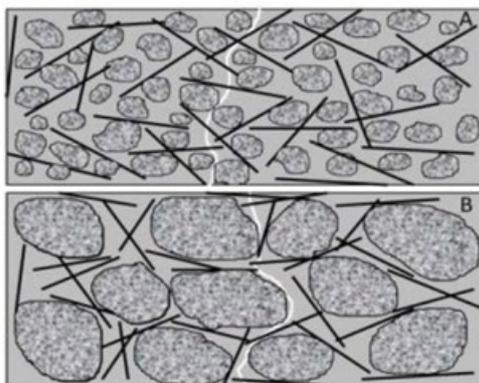


Fonte: Figueiredo (2005).

Uma das vantagens da adição de fibras é que elas se distribuem aleatoriamente no concreto, distribuindo assim de forma homogênea por toda a estrutura a sua capacidade de atuação. Isso significa que, ao contrário das armaduras que atuam somente onde estão posicionadas, tem uma atuação distribuída por toda a estrutura. Para existir tal homogeneidade no concreto é recomendado que a fibra deva ser no mínimo o dobro do tamanho do agregado utilizado no concreto. Essa dimensão possibilitará a atuação das fibras reforçando o concreto e não apenas na dimensão da argamassa, cujo agregado é de dimensão bem inferior (MAIDL e DIETRICH, 1995).

A Figura 2 demonstra a distribuição das fibras no concreto, sendo que em (a) tem-se uma distribuição correta, onde as fibras atuam ampliando a resistência do concreto devido ao fato das fibras ser maior que os agregados, e em (b) tem-se uma dimensão incorreta, pois as fibras atuam melhorando a resistência apenas da argamassa, dado que as fibras são bem menores que o agregado.

Figura 2 - Dimensão da fibra em relação ao agregado.



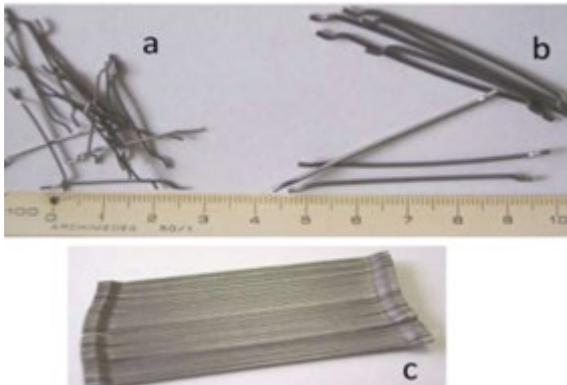
Fonte: Figueiredo (2011).

Figueiredo (2011) descreve que as fibras são materiais que tem por característica básica o comprimento maior que a sua seção transversal. As fibras de aço, comumente uma das mais utilizadas, são identificadas pelo seu comprimento como fibras curtas, com dimensões variando em torno de 2,5 cm, fibras longas, com comprimento em torno de 6,0 cm, fibras longas coladas, fibras corrugadas e retas. O modelo de cada fibra mencionada está relacionado à resistência, à tração do aço

e ao fator de forma. As fibras de aço já foram normatizadas no Brasil através da ABNT NBR 15530 (2019), e são mais empregadas em pavimentos industriais, concreto projetado, pré-moldados, tubos de concreto, tuneis, radiers e outros.

A Figura 3 a seguir demonstra as fibras de aço longas(b), curtas(a) e longas coladas(c), onde também se observa que as extremidades são em forma de gancho para aumentar a ancoragem, e as figura 4 e 5 mostram respectivamente as fibras de aço reta e corrugada.

Figura 3 - Fibras longa, curta e longa colada.



Fonte: Figueiredo (2005).

Figura 4 - Fibra de aço reta.



Fonte: NeoMatex (2022).

Figura 5 - Fibra de aço corrugada.



Fonte: NeoMatex (2022).

O polipropileno é um polímero resistente, flexível e versátil que é usado para fabricar uma variedade de produtos moldados, desde embalagens para manteiga e sorvete, móveis de plástico, baldes, para-choques de automóveis até fibras e tecidos. Ele é membro de um grupo de plásticos conhecido como poliolefinas. Estruturalmente, é semelhante ao polietileno, com a diferença de que todos os outros carbonos da cadeia principal têm um grupo metil ligado a ele (DE CARVALHO, 2007).

O polipropileno possui características significativas que o tornam um material multifuncional, como, resistência química, elasticidade, tenacidade, resistência à fadiga, isolamento e transmissividade. Devido a essas características foi desenvolvido as fibras de polipropileno para reforço do concreto na finalidade de transmitir tais características para compostos cimentícios (DE CARVALHO, 2007).

As fibras de polipropileno, como já dito anteriormente, concorrem com as fibras de aço por ser, com a mesma, as mais utilizadas pelo mercado construtivo. O polipropileno é um termoplástico semicristalino rígido usado em uma ampla variedade de aplicações domésticas e industriais. A crescente demanda por produtos de embalagens plásticas altamente eficientes está impulsionando a demanda de polipropileno globalmente. Afinal, sua ampla gama de propriedades, como excelente temperatura operacional, resistência à tração, alta resistência química e baixa absorção de umidade, permitem que seja empregado em diversas aplicações (SILVEIRA, 2018).

As fibras de polipropileno podem ser divididas em dois tipos básicos, as microfibras e as macrofibras, ambas feitas de polipropileno. As microfibras não possuem função estrutural e trabalham na retração plástica do concreto nos primeiros momentos, isto é, a cura do concreto, não possuindo assim função estrutural, já as macrofibras são incorporadas como elementos estruturais (CARVALHO, 2016).

Ainda segundo o autor, as microfibras consistem em filamentos extremamente finos sendo produzidas através de um processo de extrusão. Seu uso é encontrado em concretos e argamassas, pois reduz o índice de fissuras causadas por retração e assentamento. Isso se deve à sua capacidade de reter água no interior. Além disso, fornecem controle sobre os fenômenos de exsudação e segregação. As microfibras também melhoram o desempenho do concreto endurecido, aumentando sua abrasão, impacto e resistência ao fogo.

As microfibras, podem ser fornecidas em duas formas: monofilamento e fibriladas. As fibriladas (Figura 6) apresentam-se como uma malha de finos filamentos de seção retangular. A estrutura em malha das fibriladas promove um aumento na adesão entre a fibra e a matriz, devido a um efeito de intertravamento (BENTUR e MINDESS, 2007). As fibras chamadas de monofilamento consistem em fios cortados em comprimento padrão (Figura 7).

Figura 6 - Microfibrila fibrilada



Fonte: Figueiredo (2005).

Figura 7 - Microfibrila em monofilamentos

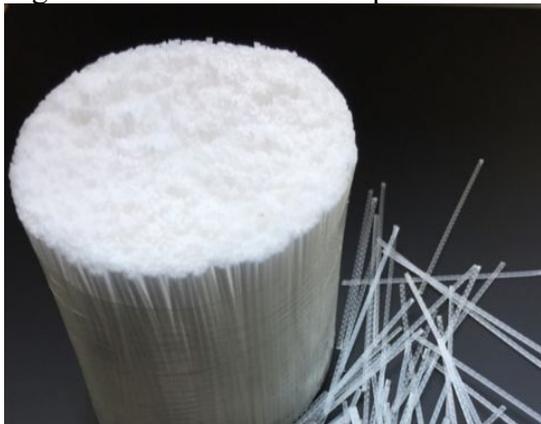


Fonte: Figueiredo (2005).

Já as macrofibras poliméricas surgiram no mercado internacional na década de 1990, quando passaram a ser fornecidas em feixes de um grande número de fibras ligadas por uma fita externa, como é possível observar na Figura 8. As primeiras aplicações de macrofibras de polipropileno no concreto se deram na Austrália e no Canadá, mais recentemente, vários fabricantes começaram a produzir diferentes tipos de macrofibras para o mercado brasileiro.

No entanto, ao contrário das fibras de polipropileno tradicionais, estas macrofibras foram desenvolvidas para conferir ao concreto uma maior resistência ao impacto e à fadiga para garantir um controle eficaz das fissuras, não são corrosivas e nem magnéticas, e totalmente resistente contra álcalis de concreto, tornando-se um material adequado para substituir fibras de aço e malhas soldadas (FIGUEIREDO, 2011). Existe também um produto que mistura macrofibras e microfibras de polipropileno (Figura 9) que quando combinados suprem a fissuração inicial e reforça o estado de endurecido do concreto.

Figura 8 - Macrofibra unida por fita



Fonte: NeoMatex (2022).

Figura 9 - Mescla de macro e microfibras de polipropileno



Fonte: NeoMatex (2022).

Como observado, as fibras de aço têm grande capacidade de carga e alto módulo de elasticidade, mas são sensíveis à corrosão, possuem um custo mais elevado e são altamente magnéticas. Já as fibras de polipropileno estruturais são leves, possui um menor custo, não são sensíveis à corrosão e muito menos magnéticas, deste modo as fibras de polipropileno se tornam mais acessível ao mercado consumidor (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

3.3 Parâmetros referentes ao desempenho das propriedades de compósitos de cimento com fibras

Os principais parâmetros relacionados às propriedades dos compósitos de cimento reforçado com fibras foram propostos por Taylor (1994), assumindo que as mudanças nas seguintes propriedades são alcançadas de forma independente. A seguir segue as informações sobre os parâmetros de compósitos de cimento com fibras de acordo com referências do autor Taylor.

Os parâmetros que definem a quantidade de fibras no concreto determinam que o alto teor de fibras confere maior resistência pós-fissuração e menores tamanhos de fissuras, desde que as fibras consigam absorver as cargas adicionais causadas pelas fissuras (RODRIGUES; MONTARDO, 2002).

O módulo de elasticidade das fibras é outro parâmetro que determina que um valor alto do módulo de elasticidade leva a um efeito semelhante ao teor de fibra, mas na realidade, quanto maior o módulo, maior a probabilidade de puxar as fibras (NEVILLE, 1997).

Quanto à adesão entre as fibras e a matriz, ela é determinada pelas propriedades de vários compósitos ligados reforçados com fibras, como resistência, deformação e modo de fratura, e depende fundamentalmente da adesão fibra/matriz. A alta adesão entre fibras e matriz reduz o tamanho das trincas e expande sua distribuição por todo o compósito (TAYLOR, 1994).

O parâmetro resistência da fibra, assume que com o aumento da resistência da fibra, conseqüentemente a ductilidade do compósito aumenta, assumindo não haver quebra de ligação devido à adesão. Na prática, a resistência das fibras selecionadas dependerá das propriedades pós-fissuração desejadas, bem como do teor de fibras e das propriedades de ligação da matriz de fibras (RODRIGUES; MONTARDO, 2002).

Com relação ao parâmetro de comprimento da fibra, dita que quanto menor o comprimento da fibra, maior a probabilidade de ela ser arrancada. Para uma determinada tensão de cisalhamento superficial aplicada a uma fibra, ela é melhor usada se seu comprimento permitir que a tensão de cisalhamento produza uma tensão de tração igual à sua resistência à tração (NEVILLE, 1997).

4. RESULTADO

Ao longo dos anos, vários pesquisadores têm experimentado encontrar os melhores materiais da mais alta qualidade para fornecer produtos duráveis e matérias-primas com alta disponibilidade no mercado, para isso, é fundamental entender suas propriedades mecânicas em diferentes condições de uso, como diferentes temperaturas, tipo e frequência de carga, desgaste e vários outros fatores que afetam o desempenho e a preservação do material (FELIX, 2018).

Desta forma, o ensaio mecânico é a melhor forma de orientar esses profissionais para poderem obter melhores parâmetros de comportamento do material em condições de trabalho conforme as normas técnicas. A entidade responsável pelas normas brasileiras é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (NINCE et al., 2013).

Visto que as fibras de polipropileno são as mais indicadas para o mercado consumidor quanto ao seu custo benefício em relação às fibras de aço, a realização de ensaios é essencial para provar que o material está conforme as especificações e apto para utilização, deste modo diferentes ensaios são necessários para atestar a sua qualidade (DE SOUZA; FERREIRA e FILLA, 2022).

As propriedades mecânicas de um material são verificadas realizando testes bem projetados e replicando a taxa de serviço o mais fielmente possível. Embora os valores de propriedade para muitos dos materiais utilizados possam ser obtidos em tabelas, é importante entender como os testes são realizados e viáveis, portanto, conhecer os fundamentos de cada ensaio é crucial (BERNARDI, 2003).

Ainda segundo a autora, tais ensaios são classificados como testes destrutíveis, isto é, aqueles que deixam marcas nas peças ou amostras submetidas a testes, mesmo que não tenham se tornado inúteis, seja em laboratório ou na obra, com a finalidade de observar as propriedades mecânicas do material diante aos esforços.

Para a realização de teste rápidos e eficientes, temos a NBR NM 67 Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone (1998), que estabelece um método que determina a consistência do concreto fresco, através da medida de assentamento, que pode ser realizado tanto em laboratório como *in situ* na obra.

Já para o concreto endurecido temos a NBR 12655 (2015) a qual determina os requisitos para o preparo, a composição química e o controle tecnológico do concreto fresco e endurecido.

O ensaio de resistência à compressão de corpos de prova é realizado aos 28 dias, porém, dependendo do tipo de aplicação, pode ser medido com 12 horas, 24 horas, três ou sete dias, entre outras possibilidades. E devido ao baixo custo para a realização do ensaio da NBR 12655 (2015), é possível encontrar correlações com outras propriedades do concreto, como, por exemplo, o ensaio mecânico de compressão, cujo objetivo é medir a força para deformar, por compressão, fornecendo dados como resistência à compressão, módulo de elasticidade, tensão de escoamento e deformação sob compressão.

Esses tipos de ensaios são amplamente utilizados na indústria da construção civil, em materiais devido a sua facilidade de execução, a grande disponibilização de dados normativos e o baixo custo para realização (DE SOUZA; FERREIRA e FILLA, 2022).

Com a utilização desses ensaios, segundo Nince (2006), vários autores ensaiaram em quantidades diferentes, para conseguir caracterizar a adição de fibras de polipropileno ao concreto e conhecer seu comportamento. A seguir a Tabela 1, demonstra os autores que realizaram ensaios sobre fibras de polipropileno e a quantidade de fibras por kg/m³. Os autores indicaram um consumo por m³ de concreto, visando obter dados a fim de qualificar a adição de fibras. Uma das características das fibras de polipropileno é que por serem de baixa densidade elas reduzem a capacidade de compressão do concreto, mas aumentam sua resistência a tração.

Tabela 1 - Consumo de fibras da bibliografia consultada

Autor	Fibra de polipropileno (kg/m³)
BOSTROM (2006)	1 - 2
PENG et al (2006)	0,3 - 0,6 - 1
RAMOS et al (2006)	1,2
SUHAENDE; HORIGUCHI (2006)	0,25 - 0,5
XIAO; FALKNER (2006)	1,8
ZEIML M et al. (2006)	1,5
ERDAKOV (2005)	1 - 2
HAN et al. (2005)	0,45 - 0,9
HERTZ (2005)	2
NOUMOWE (2005)	1,8
ALI et al (2004)	3
BILODEAU, KODUR; HOFF (2004)	1,5 - 2,5 - 3,5
CHEN; LIU (2004)	0,3 - 0,6 %
SULLIVAN (2004)	1 - 2 - 3
POON, SHUI; LAM (2004)	1 - 2
PERSSON (2003)	2 e 4
BAYASI; DHAHERI (2002)	0,1 - 0,2 - 0,3 %
LENNON, BAILEY; CLAYTON (2002)	2,7
PALIGA; HOSSER (2002)	2
TATNALL (2002)	1,8
VELASCO (2002)	2,28 - 4,56
KALIFA; CHÉNÉ; GALÉ (2001)	0,5 - 1,1 - 1,75 - 2,4 - 3
CHAN; LUO; SUN (2000)	1,8
KUTZING (1999)	2

Fonte: Nince (2006).

Em virtude desses autores, é possível obter dados sobre as propriedades mecânicas do concreto após a adição de fibras, isto é, quais os benefícios que a adição de fibras de polipropileno proporciona ao concreto.

4.1 Adição de polipropileno ao concreto

Qualquer material possui uma série de propriedades, sendo elas, físicas, térmicas, químicas, ópticas, magnéticas, elétricas e mecânicas. Dependendo de como o material é usado, certas propriedades podem ser consideradas mais importantes do que outras. No caso de projetos complexos de componentes ou máquinas, as principais características a serem determinadas serão as propriedades mecânicas dos materiais que compõem o equipamento ou dispositivo (MOHAMAD; LOURENÇO e ROMAN, 2006).

Determinar e compreender os atributos mecânicos é fundamental para a seleção de materiais, diante das suas utilidades e fabricação de seus componentes. Isto é, o material adicional deve ser selecionado para atender às necessidades do material original. Temos como exemplo, o concreto, que possui adversidades em relação a algumas de suas propriedades mecânicas, recorrendo assim, a adição de materiais que supram suas falhas e o fortaleça, no presente caso, as fibras (MOHAMAD; ROMAN e SEGAVE, 1998).

Ainda segundo o autor, as propriedades mecânicas definem o comportamento de um material quando submetido a forças mecânicas como compressão, tração, flexão, torção e cisalhamento. Esses comportamentos estão relacionados à capacidade do material de resistir e transmitir os esforços que lhe são empregues sem romper ou tornar instável.

As propriedades mecânicas de um material são geralmente determinadas por meio de testes destrutivos ou não destrutivos de amostras sob condições controladas. Dentre várias condições de controle, podemos ressaltar o controle da temperatura, umidade do ar, velocidade de carregamento, carga aplicada, tempo de ensaio entre outros (ABNT, 2004).

No geral, os ensaios mecânicos são métodos utilizados para medir uma série de fatores visando entender o comportamento do material com que se trabalha. Diante da necessidade de melhorar as propriedades mecânicas do concreto, fibras de diversos tipos de matérias são encontradas no mercado, onde cada uma possui um tipo de acréscimo as características do concreto. Como dito anteriormente as fibras mais empregadas nas construções na atualidade são as de aço e as poliméricas, diante disso, o trabalho buscou demonstrar as fibras de polipropileno.

Deste modo, os resultados desta pesquisa implicam nas melhorias mecânicas das fibras de polipropileno ao concreto, de acordo com estudos e ensaios dos pesquisadores demonstrados previamente na tabela 1.

4.1.1 Resistência à compressão

O ensaio de resistência a compressão avalia como o material reage quando pressionado, por um esforço axial que tende a provocar um encurtamento ou ruptura. A resistência do material a compressão está diretamente ligada à estabilidade e segurança estrutural, que valida a qualidade da estrutura do material na totalidade (PINHEIRO, 1986).

A resistência à compressão do concreto é conhecida como F_{ck} (Feature Compression Know), que significa em português resistência característica do concreto à

compressão. A qual é medida em megapascal (MPa), e cada 1 Mpa corresponde a uma resistência aproximada de 10 kgf/cm² (FUSCO, 2008).

O Fck indica, portanto, a qual tensão o concreto tem capacidade de resistir. Essa tensão é a resultante da divisão entre a força e a área em que ela atuará. Dessa forma, os testes de resistência no concreto possibilitam confirmar a tensão máxima a que ele resistirá antes de sofrer ruptura (FUSCO, 2008). Na figura 10, é possível observar um corpo de concreto sendo testado a resistência a compressão.

Figura 10 - Ensaio de compressão



Fonte: Maffei e Teixeira (2019).

Segundo Donato (2003), o concreto com adição de fibras possui quanto à resistência à compressão, valores não confirmados. A inclusão aleatória de fibras de polipropileno nos compósitos cimentados aumenta a resistência à compressão em relação ao concreto convencional, no entanto, esse aumento foi mais significativo para os materiais com granulometria mais fina, sugerindo uma relação entre a resistência à compressão e o diâmetro médio dos materiais. Isto é, em concretos com granulometrias mais grossas a resistência do concreto com adição de fibras não é tão boa quanto a com agregados finos.

Entretanto, mesmo com tal oscilação de valores, os estudos de Donato (2003), demonstram que a adição de fibras de polipropileno ao concreto, tornam o mesmo mais resistente a compressão.

4.1.2 Rigidez

Rigidez é a capacidade de um objeto de resistir à deformação sob a ação de uma força externa. Como o concreto é um material heterogêneo, alterações na microestrutura, como aumento do volume de vazios ou aumento do número de microfissuras na zona de transição, têm grande impacto em suas propriedades, principalmente resistência e deformabilidade (ALMEIDA, 2005).

Ainda segundo a autora, a zona de transição é o elo entre os dois constituintes do concreto: a matriz de argamassa e o agregado graúdo. A rigidez do material composto não reflete totalmente a rigidez de cada um dos seus constituintes e sim ao seu conjunto. A rigidez de um material pode-se dar tanto pela torção quanto pela flexão, no geral, a rigidez mede o empenho do mesmo para resistir a deformação, trincas ou ruptura.

Nas normas vigentes para dimensionamento de estruturas de concreto armado, considera-se que o concreto não resiste às forças de tração, suportadas apenas por barras

de aço. Embora tais normas considerem que o concreto fissurado não possui resistência à tração, sabe-se que ele consegue desenvolver tensões de tração devido à transferência de forças adesivas entre a armadura e o concreto. A capacidade do concreto intacto de continuar a suportar tensões de tração e fornecer rigidez entre as fissuras é chamada de rigidez de tração, o qual auxilia no controle da rigidez, deformação e abertura de fissuras no elemento, além de propriedades relacionadas ao atendimento dos requisitos de serviço da estrutura (FIELDS e BISCHOFF, 2004).

Já a rigidez à flexão, por outro lado, é caracterizada pelo módulo de elasticidade, que expressa a relação entre a tensão aplicada e a deformação instantânea em uma gama de escalas. Para o concreto, este parâmetro é uma importante propriedade mecânica e é fundamental nos cálculos para a determinação de deformações e tensões, apesar do comportamento não linear deste material. Essa não linearidade tem levado alguns autores a utilizarem o termo módulo de deformação ao invés de módulo de elasticidade, uma vez que o concreto não possui comportamento elástico perfeito (SCANDIUZZI e ANDRIOLO, (1986).

Quanto a adição de fibras de polipropileno ao concreto, Ramos (2006), diz que as fibras provocam uma queda do módulo inicial dos compósitos estudados, tanto para os cimentados quanto para os não cimentados. As maiores quedas foram observadas para os materiais não cimentados. Ou seja, a adição de fibras de polipropileno ao concreto o torna menos rígido, fazendo com que o mesmo tenha mais flexibilidade e aguentando maiores deformações antes da ruptura.

4.1.3 Resistência ao cisalhamento

Corpos de prova são submetidos a esforços de torção até se romperem a fim de obter as propriedades de cisalhamento. Usualmente o corpo de prova é marcado com linha longitudinal para facilitar a determinação do ângulo de rotação antes da ruptura. Com a análise desta marca pode determinar o tipo de comportamento do material. A resistência ao cisalhamento do material, é determinada calculando a tensão de cisalhamento em um corpo de prova quando aplicado um torque. Torque é a tendência que uma força tem de rotacionar um corpo sobre o qual ela é aplicada (SAVARIS e PINTO, 2017).

Já a tensão de cisalhamento, segundo De Castro, Liborio e Pandolfelli (2011), é um processo físico responsável pela geração de uma ação na qual forma uma tensão a partir de forças, que são aplicadas no mesmo sentido ou no oposto, mas com diferentes tipos de intensidade. Como essa tensão é diretamente proporcional ao raio, pode-se afirmar que ela é máxima na periferia e mínima no centro. Desta forma, durante o teste o material situado externamente já se encontra na fase plástica enquanto a porção interna ainda está na elástica, havendo assim o resultado de cisalhamento.

Para um exemplo clássico de cisalhamento, temos as vigas de concreto, onde o cisalhamento é a flexão da viga a partir de forças cortantes, ou seja, ocorre uma dilatação do concreto, resultando em tricas ou ruptura. Este fenômeno acontece, pois, as vigas de concreto estão amarradas por um único vão e forçadas a um carregamento progressivo, ou seja, contínuo. No entanto, esta ação é variável conforme o tamanho da peça e a estrutura em que a força será aplicada (SAVARIS e PINTO, 2017). Na figura 11, é possível observar uma viga de concreto sendo submetida à tensão de cisalhamento.

Figura 11 - Viga de concreto submetida à tensão de cisalhamento.



Fonte: ECIVIL (2022).

Quanto à resistência ao cisalhamento do concreto com adição de fibras de polipropileno, Donato (2003), observou que a adição de fibras provoca um aumento, tanto na resistência de pico quanto na resistência final, sendo que este aumento foi mais pronunciado para os materiais com diâmetro médio menor, isto é, os compósitos cimentados apresentaram ganhos de resistência ao cisalhamento, estabelecendo relações exponenciais entre estes ganhos de resistência e o diâmetro médio dos compósitos.

Ainda segundo o autor, todos os compósitos estudados, tiveram um aumento relativo da resistência final devido à inclusão das fibras de polipropileno. A inclusão de fibras de polipropileno aumenta o intercepto coesivo de pico do concreto compactado com rolo, mantendo o ângulo de atrito interno praticamente inalterado.

4.1.4 Modo de ruptura

Modo de ruptura é o estado limite de um material, isto acontece quando a exposição de cargas diversas faz com que o material trinque comprometendo sua estrutura e se tornando instável ou quando há ruptura do mesmo. No entanto, o modo de ruptura pode variar conforme o tipo de material e o tipo de força aplicado no mesmo, como exemplo disso, temos a figura 12, onde é possível observar quatro corpos de prova fragmentados de diferentes formas, mesmo possuindo o mesmo material, o concreto (PIRES, 2018).

Além disso, é importante ressaltar que a resistência à compressão e o modo de ruptura dos materiais estão diretamente ligados à sua utilidade, isto é, as especificações quanto a resistência e modo de ruptura dos materiais diferem e extremamente importantes, de modo que, para definir o local de atuação do material é necessário conhecer suas propriedades mecânicas, para que as mesmas reajam da melhor forma possível, essa relação é chamada de fator de eficiência (MOHAMAD; RIZZATTI e ROMAN, 2011).

Figura 12 - Amostras de concreto submetidas a diferentes tipos de ruptura.



Fonte: Pires (2018).

Para os compósitos cimentados, a inclusão das fibras de polipropileno ao concreto reduziu o índice de fragilidade, sendo que para o material com a granulometria mais fina, ocorreu uma mudança na forma de ruptura, de frágil para dúctil. Todas as amostras cimentadas apresentaram forma de ruptura dúctil. Em outras palavras, a fratura dúctil é aquela que ocorre apenas após deformação plástica extensa, caracterizada pela lenta propagação de trincas resultantes da nucleação e crescimento de micro cavidades no material (VELASCO, 2002).

4.1.5 Resistência à tração

Na física, a tração é a força aplicada sobre um corpo numa direção perpendicular à sua superfície, onde o vetor da força formará um ângulo de 90 graus com a superfície. O ensaio de tração é um dos mais importantes testes destrutivos para a determinação de propriedades mecânicas, por mostrar resultados da curva onde se relaciona a carga aplicada (tensão) e o alongamento do corpo de prova (deformação), que por consequência nesta curva diversas propriedades quantitativas do material podem ser determinadas, como a máxima tensão e deformação, a tensão e deformação de fratura, a tensão de escoamento, o limite de proporcionalidade e de elasticidade, o módulo de elasticidade, resiliência, tenacidade e rigidez (CARVALHO e CAVALCANTI, 2006).

O ensaio que submete o concreto a tração, ocorre ao colocar em um corpo de prova padronizado uma carga de tração constante e de forma lenta, sob a ação desta força, o corpo de prova começa a se deformar, a deformação progressiva do corpo faz com que haja uma diminuição da área da seção transversal de tal forma que o corpo não suporta a carga aplicada a ruptura (NBR 12142, 2010).

Quanto a adição de fibras de polipropileno ao concreto, os estudos de Donato (2003), mostraram uma relação aos ensaios de tração por compressão diametral, notando um aumento no valor em torno de 50% em relação ao da matriz sem reforço.

Corroborando com os ensaios de Donato, Rosa Filho et al. (2017), obteve em ensaios de tração uma maior deformabilidade do concreto reforçado com fibras de polipropileno se comparado ao concreto simples. Demonstrando assim, que a fibra transfere sua maleabilidade e tenacidade ao concreto devido ao seu baixo módulo de elasticidade e alto grau de deformabilidade quando comparado à matriz cimentícia, tornando o concreto com adição de fibras mais resistente a tração.

4.1.6 Modo de resiliência

Resiliência é a capacidade do material absorver energia quando deformado elasticamente e devolvê-la quando é cessado o esforço. Devido à segunda lei da termodinâmica, é impossível recuperar toda a energia absorvida pelo material durante a fase de carregamento (VECCHIA, 2013).

Ainda segundo o autor, o modo de resiliência de um corpo de prova é obtido através do ensaio de tração, onde as propriedades podem ser obtidas integrando-se a curva tensão deformação, sendo a resiliência o limite elástico até a ruptura. O módulo de resiliência é um parâmetro de crucial importância nas análises mecanistas que envolvem a estimativa das tensões e deformações na estrutura.

A adição fibras de polipropileno ao concreto, resultou que o módulo de resiliência permitiu verificar a grande importância da inclusão de fibras sobre a deformabilidade do concreto compactado com rolo, onde a inclusão das fibras reduziu em 65% o módulo resiliente médio do concreto (RAMOS, 2006).

Afirmando os estudos de Ramos, Henk (2015) e Breitenbach (2016), demonstraram em seus estudos que quanto maior a porcentagem e o comprimento de fibra adicionada, menor é o módulo de resiliência obtido da mistura.

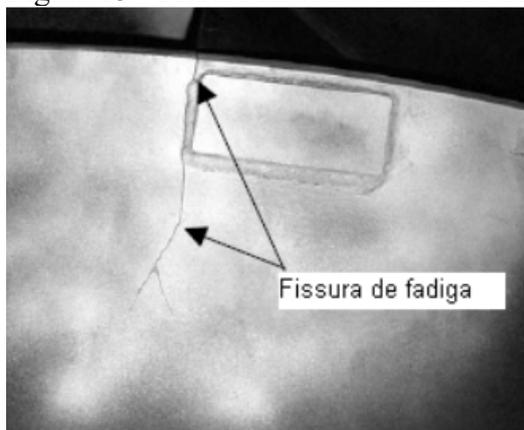
4.1.7 Fadiga

Fadiga é o processo de mudança estrutural interna ocorrendo em materiais submetidos a tensões repetidas, e a degradação dos mesmos ocorrem devido a cargas cíclicas. A falha por fadiga acontece apenas quando a tensão aplicada é suficiente para permitir o crescimento e propagação de trincas ou modificar bruscamente o material de forma que ele se torne instável (FURTADO, 2002).

Deste modo, fadiga é o termo que indica a fissuração de um material sob cargas cíclicas repetidas. Segundo Gonçalves (2003), a maioria das pesquisas sobre fadiga envolve materiais metálicos, mas alguns estudos se concentram em materiais não metálicos, como cerâmica, polímeros, concreto e outros compósitos, os metais são mais empregados pelos materiais frágeis não serem considerados sensíveis aos efeitos da fadiga.

Ainda segundo a autora, atualmente a fadiga pode ser identificada como um fator no processo de fratura de qual quer material, no entanto, muitos estudos sobre o comportamento desses materiais sob a influência da fadiga ainda são necessários. Os componentes, que estão sujeitos a mudanças cíclicas de carga durante sua vida útil, apresentam problemas relacionados à fadiga. A falha por fadiga geralmente ocorre abaixo do limite de resistência elástica, deste modo, para não comprometer a integridade estrutural, é de suma importância estudos e análises sobre as propriedades mecânicas de materiais em relação à fadiga (SCHAFFER, 2002). Na figura 13, a seguir, é possível observar uma trinca no concreto por fadiga.

Figura 13 - Fissura na solda da massa de balanceamento.



Fonte: Furtado (2002).

Quanto a inclusão de fibras de polipropileno ao concreto, Velasco (2002) afirma que a inclusão das fibras altera de forma significativa as características de fadiga do concreto compactado com rolo, onde se tem um tempo de sobrevivência maior para a matriz reforçada, sem que a mesma se comprometa estruturalmente.

5. CONCLUSÃO

Na presente pesquisa foi possível observar que o concreto convencional se rompe de forma abrupta, quando a deflexão supera a resistência à flexão última, no entanto,

de acordo com ensaios e estudos demonstrados, o concreto reforçado com fibras de polipropileno segue suportando cargas admissíveis, ainda que as deformações sejam superiores à deflexão de ruptura do concreto convencional.

A adição de fibras de polipropileno ao concreto é pouco utilizada devido ao seu alto custo, por esse motivo, o emprego de fibras de polipropileno se dá em obras de grande porte, como, infraestrutura urbana, rodoviária, e obras industriais, devido à complexidade de execução. E o alto custo do polipropileno se baseia na necessidade de um rigoroso controle tecnológico na produção do concreto, onde, o concreto reforçado com fibras de polipropileno deve atender a traços peculiares, possuir aditivos para aumentar a trabalhabilidade, e ter a proporção correta de adição de fibras.

O concreto, por si, já possui adversidades se não preparado e aplicado da forma correta, podendo gerar segregação, trincas entre outras patologias que podem acelerar o processo do estado último do material, e as fibras de polipropileno não facilitam essas dificuldades, ao contrário, novas obstáculos surgem quanto ao preparo e aplicabilidade do concreto com fibras. Mas, se preparado da forma certa, seguindo as especificações das normativas brasileiras e possuir mão de obra especializada, as fibras garantem ao concreto uma maior resistência à tração, à flexão, maior tenacidade e melhor resistência ao impacto, características, essas, superiores ao convencional, tornando o mesmo mais resistente.

Quanto ao custo, as fibras possuem um valor elevado por não serem utilizadas normalmente em qual quer tipo de construção e não possuir um grande mercado de mão de obra especializado, no entanto, quando comparadas as fibras de aço, as fibras de polipropileno possuem um custo menor e conseguem emparelhar suas características mecânicas.

Desta forma, o trabalho conclui que as fibras aumentam significativamente as características mecânicas do concreto, no entanto, o alto custo dificulta a utilização das mesmas em projetos convencionais. Para trabalhos futuros, seria importante pesquisar, se a diminuição no custo das fibras, afetariam diretamente no seu consumo, sendo empregado assim as fibras não somente em obras de grande porte, mas qual quer tipo de construção. Outra proposta de pesquisa, seria quais são as vantagens que a adição de fibra proporciona á ambientes construídos comuns, como, por exemplo, casas, questionando se elas se tornariam mais seguras, se o número de patologias diminuiria e o tempo de durabilidade a obra seria maior.

6. AGRADECIMENTOS

Primeiramente queremos agradecer a Deus, pela oportunidade que ele nos proporcionou durante esses 5 anos de curso, sem ele nada teria acontecido, aos nossos familiares que sempre esteve nos apoiando, a todos os professores do curso e nosso orientador Bruno Paniago.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Sandra Freire de. **Análise dinâmica experimental da rigidez de elementos de concreto submetidos à danificação progressiva até a ruptura**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15530**. Fibras de aço para concreto - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, RJ. Segunda edição 11/2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**. Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos Rio de Janeiro, RJ. Segunda edição 10/2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16938**. Concreto reforçado com fibras - Controle da qualidade. Rio de Janeiro, RJ. Primeira edição 02/2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**. Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, RJ (1998).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**. Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro, RJ. Terceira edição 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto e execução de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BENTUR, Arnon; MINDESS, Sidney. **Fiber Reinforced Cementations Composites**. Elsevier Science publishers Ltd, 2nd edition: 603 p.; 2007.

BERNARDI, Stefania Tesi. **Avaliação do comportamento de materiais compósitos de matrizes cimentícias reforçadas com fibra de aramida kevlar**. 2003.

BREITENBACH, Josieli. **Estudo do efeito da adição de fibras de polipropileno nas propriedades mecânicas de módulo de resiliência e resistência a tração das misturas asfálticas**. 2016.

CARVALHO, André Róseo de. **Avaliação das propriedades mecânicas do concreto com adição de fibras para confecção de anéis pré-moldados segmentados para revestimento de túnel de metrô**. 2016.

CARVALHO, Laura H. de; CAVALCANTI, Wilma S. **Propriedades mecânicas de tração de compósitos poliéster/tecidos híbridos sisal/vidro**. *Polímeros*, v. 16, p. 33-37, 2006.

DE CARVALHO, Giovanna MX et al. Obtenção de compósitos de resíduos de ardósia e polipropileno. *Polímeros*, v. 17, p. 98-103, 2007.

DE CASTRO, A. L.; LIBORIO, J. B. L.; PANDOLFELLI, V. C. **Reologia de concretos de alto desempenho aplicados na construção civil: revisão**. *Cerâmica*, v. 57, p. 63-75, 2011.

DE SOUZA, Emerson Moraes; FERREIRA, Tatiana Vettori; FILLA, Júlio César. **Análise do efeito da adição de fibra de polipropileno a concretos convencionais**. *Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa*, v. 38, n. especial, p. 370-405, 2022.

ECIVIL. Descomplicando a engenharia. **Viga de ensaio**. UTFPR, Campus Curitiba. 2022. Disponível em: <<https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-viga-de-ensaio.html>>.

FIELDS, Kelvin; BISCHOFF, Peter H. **Tension stiffening and cracking of high-strength reinforced concrete tension members**. *Structural Journal*, v. 101, n. 4, p. 447-

FELIX, Bruno Garcia et al. **Ensaio mecânicos dos materiais**. Revista Engenharia em Ação UniToledo, v. 3, n. 2, 2018.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Concreto com fibras de aço**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Construção Civil, 2000. Boletim Técnico (BT/PCC/260).

FIGUEIREDO, Antonio Domingues. **Concreto com fibras**. 2005.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FURTADO, Eduardo Perroni. **Avaliação de Fadiga Através da Análise Termo-elástica Bidimensional Usando o Método dos Elementos de Contorno**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2002.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural**. São Paulo, Pini, 2008.

GONÇALVES, Regiane. **Análise de propagação de fissuras por fadiga em concreto pelo MEF mediante a mecânica do dano contínuo**. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

HECK, A. F. **Análise da viabilidade do uso de fibras de polipropileno como material de reforço em pavimentos asfálticos**. 2015. 80f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015.

MAFFEI, Carlos Eduardo M.; TEIXEIRA, Pedro Wellington GN. **Materiais: concreto e aço**. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica. 2019.

MAIDL, Bernhard; DIETRICH, Jörg. **Concreto reforçado com fibra de aço**. Ernst, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, 1995.

MARANGON, Ederli. **Desenvolvimento e caracterização de concretos autoadensáveis reforçados com fibras de aço**. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado-Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), 2006.

MARQUES FILHO, J. **Estado da arte de concreto compactado com rolo aplicado a barragens - uma perspectiva**. 2001. 128p. Seminário (Doutorado em Engenharia) – PPGEC/UFRGS, Porto Alegre.

MEHTA, Kumar; MONTEIRO Povidar. J. M. **Concreto: estrutura, propriedade e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MEHTA, Kumar; MONTEIRO Povidar. J. M. **Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 4ª ed. São Paulo: Ibracon, 2014. 751 p. MEZZAROBBA, Orides; MONTEIRO, Cláudia Servilha. Manual de metodologia da pesquisa no direito. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2009.

MOHAMAD, Gihad; LOURENÇO, Paulo B.; ROMAN, Humberto R. **Ensaio de compressão em prismas de bloco de Concreto-deformabilidade e modo de ruptura**. 2006.

MOHAMAD, Gihad; ROMAN, Humberto R.; SEGAVE, A. M. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto**. 1998. Tese de Doutorado. Tese

de M. Sc., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil–PPGEC/UFSC, Florianópolis, SC, Brasil.

MOHAMAD, Gihad; RIZZATTI, Eduardo; ROMAN, Humberto Ramos. **Modo de ruptura, deformabilidade e resistência de pequenas paredes estruturais**. Ambiente Construído, v. 11, p. 7-22, 2011.

NINCE, Andréia Azeredo. **Lascamento do concreto exposto a altas temperaturas**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

NINCE, Andréia Azeredo et al. **Influência das fibras de polipropileno no comportamento do concreto de alta resistência endurecido, submetido à ação térmica**. Resumo, 2003.

NEOMATEX. **Fibras e Têxteis Técnicos para Engenharia**. <<https://www.neomatex.com.br/fibra-aco-concreto-projetado.html>>. Acesso em: 12/10/2022.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. Ed. Pine 2a . Edição, março 1997, São Paulo.

OLIVEIRA, T. T. A. de. **Desenvolvimento de um concreto reforçado com fibras (CRF) híbridas de polipropileno**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018.

PINHEIRO, Libânio Miranda et al. **Concreto armado: tabelas e ábacos**. 1986.

PIRES, Eliane Fernandes Côrtes et al. **Modos de ruptura e padrões de fissuração de vigas pré-moldadas de concreto armado geopolimérico: Estudo de caso**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 23, 2018.

PRIETTO, P.D.M. **Estudo do comportamento mecânico de um solo artificialmente cimentado**. 1996. 150p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – CPGEC/UFRGS, Porto Alegre.

RAMOS, D.V.M. et al. **Uso do ensaio de ultrassom em concretos submetidos a elevadas temperaturas**. 2006, Rio de Janeiro, RJ. Anais. São Paulo: IBRACON, 2006.

ROSA FILHO, C. D. D. et al. **Análise do comportamento mecânico do concreto com adição de fibras de polipropileno e sua atuação no combate às manifestações patológicas**. In: Anais da Conferência Nacional de Patologia e Recuperação de Estruturas. 2017.

RODRIGUES, Públio Penna Firme; MONTARDO, Júlio P. **A influência da adição de fibras de polipropileno nas propriedades dos concretos para pisos e pavimentos**. In: 44º Congresso Brasileiro do Concreto, Belo Horizonte. 2002.

SAVARIS, Gustavo; PINTO, RCA. **Influência do agregado graúdo na resistência ao cisalhamento de vigas de concreto autoadensável**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, v. 10, p. 30-40, 2017.

SCANDIUZZI, Luercio; ANDRIOLO, Francisco Rodrigues. **Concreto e seus materiais: propriedades e ensaios**. Pini, 1986.

SCHAFFER, Almir. **Verificação de seções de concreto armado solicitadas por flexão composta à fadiga**. 2002.

SILVEIRA, J.C. **Análise do comportamento físico e mecânico do concreto reforçado com fibras de polipropileno exposto a altas temperaturas.** Trabalho Final de Curso (Graduação). Universidade Filadélfia de Londrina, Unifil, 2018.

SOARES, J.M.D., BICA, A.V.D.; BRESSANI, L.A.; MARTINS, F.B. **Medição local de deformações utilizando sensores de efeito Hall.** Solos e Rochas, São Paulo, v.17, n.3, p.183-188, 1994.

TAYLOR, G.D. **Materials in Construction.** London: Longman Scientific & Technical. 2ed, 1994. 284p.

TRICHÊS, G. **Concreto compactado a rolo para aplicação em pavimentação: estudo do comportamento na fadiga e proposição de metodologia de dimensionamento.** 1993. 365p. Tese (Doutorado em Engenharia) – ITA, São José dos Campos.

TRIGO, Cristina Câncio. **Pré-fabricados em argamassa armada: material, técnica e desenho de componentes desenvolvidos por Lelé.** 2009. 162 p. Dissertação - Faculdade de Arquitetura da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

THOMÉ, A. **Comportamento de fundações superficiais apoiadas em aterros estabilizados com resíduos industriais.** 1999. 245p. Tese (Doutorado em Engenharia) – PPGEC/UFRGS, Porto Alegre.

ULBRICH, L.A. **Aspectos do comportamento mecânico de um solo reforçado com fibras.** 1997. 122p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – CPGEC/UFRGS, Porto Alegre.

VECCHIA, Alessandro Fernandes Della et al. **Influência da adição de fibras de polipropileno na resistência e na retração de um concreto compactado a rolo.** 2013.

VELASCO, R. V. **Concreto de alto desempenho reforçado com fibras de polipropileno e sisal submetido a altas temperaturas.** Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.