

ANÁLISE COMPARATIVA DA UTILIZAÇÃO DA MICROFIBRA DE POLIPROPILENO E A FIBRA DE COCO NO CONCRETO

CERVIGNI, Pedro G. C. ¹
TURELA JUNIOR, Sidnei. ²
SILVA, Marcelo. ³
Universidade São Francisco
pedrogabrielccervigni@gmail.com
sidnei.turelajr@gmail.com

¹Pedro Gabriel Campos Cervigni, Aluno do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista - SP;

²Sidnei Turela Junior, Aluno do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista - SP;

³Prof. M.e Marcelo da Silva, Professor Orientador do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista - SP;

Resumo. Esse estudo tem como objetivo realizar uma análise comparativa da utilização da microfibras de polipropileno e da fibra de coco, visando avaliar o impacto das mesmas nas propriedades mecânicas quando aplicadas no concreto, pois essas adições tem se mostrado uma técnica eficaz para melhorar características como fissuração e ductilidade. O estudo investigou as características e propriedades de cada uma: a microfibras de polipropileno, um material sintético amplamente utilizado na engenharia civil, e a fibra de coco, um produto natural com crescente interesse devido à tendência pela busca de novos materiais sustentáveis. Foram realizados ensaios de teste de abatimento, resistência à compressão axial e tração por compressão na diametral em amostras de concreto, com dosagens de materiais e fibras com as mesmas proporções, para comparar os efeitos de ambas e de um concreto de referência, sem nenhum aditivo. Os resultados indicaram que, a microfibras de polipropileno demonstrou melhorar significativamente o controle de fissuração, assim como a fibra de coco, que além da contribuição para a sustentabilidade, oferece um desempenho mecânico competitivo em comparação com a microfibras. Conclui-se que ambas as fibras têm potencial para aprimorar as propriedades do concreto, porém a utilização de fibras vegetais necessita de mais estudos científicos e regulamentações normativas para comprovar, padronizar e possibilitar controle sobre a sua eficiência.

Palavras-chave: Concreto, Microfibras de polipropileno, Fibra de coco, Propriedades mecânicas, Sustentabilidade.

Introdução

A construção civil é um dos mercados que mais consome matéria prima no planeta, e cada vez mais vemos a necessidade de melhorias nas qualidades das estruturas em conjunto com a inclusão de políticas sustentáveis. Diante disso, realizou-se uma pesquisa com o objetivo de comparar as propriedades do concreto quando adicionadas microfibras de polipropileno (sintéticas) e fibras de coco (vegetais), na análise das propriedades mecânicas principais, como resistência à compressão, tração e durabilidade do concreto ao se utilizar fibras como aditivo na matriz de concreto.

A execução de ensaios é de extrema importância para a determinação e comprovação da eficiência do traço de concreto, essencial para garantir a segurança e durabilidade das estruturas, para isso ser possível, utilizou-se normas ABNT para os procedimentos serem padronizados, comparando três traços de concreto com as mesmas proporções de materiais e relação de água cimento, somente adicionando as fibras como diferencial nas matrizes, assim deverão ser submetidos ao teste de slump e testes de ensaios à compressão axial e compressão na diametral de corpos de prova cilíndricos, tendo em vista a absorção de água, trabalhabilidade da mistura e o resultado da resistência e fissuração dos corpos de prova no momento de rompimento.

História do concreto

Segundo Memória Votorantim (2023) o cimento formou-se naturalmente há 12 milhões de anos, quando o calcário queimado reagiu com xisto de petróleo. O concreto, por outro lado, foi utilizado pela primeira vez na região nabateia (que hoje inclui os territórios da Síria e da Jordânia) por volta de 6.500 a.C. Os assírios, babilônios e egípcios também usaram tecnologia primitiva de cimento em suas construções. Durante o Império Romano, a introdução do concreto revolucionou a arquitetura, possibilitando a construção de monumentos icônicos, como o Coliseu e o Panteão. Já na Idade Média, muito do conhecimento sobre a produção e utilização do concreto foi perdido, e só depois desse período ocorreram avanços significativos na utilização desse material.

No ano de 1756, o engenheiro britânico John Smeaton inventou o primeiro concreto moderno, conhecido como cimento hidráulico, ao adicionar pedras e misturar tijolos no cimento para construir o terceiro Farol Eddystone, o que acarretou em um grande aumento na utilização de concreto nas estruturas modernas. Em 1824, o inventor inglês Joseph Aspdin desenvolveu o Cimento Portland, que se tornou a forma dominante de cimento para a fabricação de concreto. Aspdin criou o primeiro cimento artificial verdadeiro ao queimar pedra calcária e argila juntas, modificando-o quimicamente para obter um material mais robusto do que o calcário simples.

O concreto fez um avanço significativo com a introdução do metal embutido, geralmente aço, formando o que hoje conhecemos como concreto armado, inventado por Joseph Monier em 1849 e patentado em 1867, o concreto armado combina a resistência e flexibilidade do metal com a resistência à compressão do concreto, permitindo suportar cargas pesadas. Monier demonstrou sua invenção na Exposição de Paris de 1867 e promoveu seu uso em vias ferroviárias, tubos, pisos e arcos.

No Brasil, o concreto introduziu-se através de empresas estrangeiras no início do século passado, mas sua popularização ocorreu a partir dos anos 30 com a instalação de importantes indústrias de cimento. Nos anos 40, o concreto armado foi regulamentado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas e passou a ser amplamente utilizado nas escolas de engenharia em todo o país, consolidando-se como o principal material da construção civil no Brasil. (MEMÓRIA VOTORANTIM, 2013).

Cimento

O cimento Portland é um tipo de aglomerante hidráulico que se forma pela moagem de clínquer e adições minerais. A produção deste aglomerante passa por alguns processos de preparo e dosagem das proporções dos seus componentes. Uma característica de extrema importância é que após seu endurecimento, ocasionado a partir das reações químicas quando adicionado água para o seu uso, ele não se decompõe mesmo quando exposto à água. (ALLEN; IANO, 2013, *apud* PARIZOTTO, 2017).

Allen e Iano (2013, *apud* Parizotto, 2017, p. 29), define que as adições mais utilizadas no cimento Portland são:

- As cinzas volantes, que diminuem a porosidade do concreto, reduzem o aumento de temperatura durante a hidratação, aumentam a resistência a sulfatos, melhoram a trabalhabilidade e diminuem a retração por secagem do concreto.
- A sílica ativa, que produz um concreto com alta resistência e baixíssima permeabilidade devido às dimensões de seus grãos, que são 100 vezes menores do que os do cimento Portland.
- As pozolanas naturais, que reduzem o calor de hidratação, reduzem a reatividade do concreto com agregados que contenham sulfatos e melhoram a trabalhabilidade.
- A escória de alto-forno, que melhora a trabalhabilidade, aumenta a resistência, reduz a permeabilidade e o aumento de temperatura durante a hidratação e melhora a resistência a sulfatos.

Concreto

Segundo Parizotto (2017) o concreto é um dos principais elementos da construção civil no qual existem inúmeras variações em sua composição, permitindo alcançar melhorias em sua função de resistência à compressão. Uma vez sabendo que concreto não possui boa resistência à tração, o concreto normalmente recebe o aço para o aumento dessa capacidade.

Allen e Iano (2013, *apud* PARIZOTTO 2017, p. 28) define que:

- O concreto é formado pela mistura dos seguintes materiais:
- Cimento Portland;
 - Agregados graúdos e miúdos;
 - Água.

O concreto, ocasionalmente, recebe aditivos que alteram sua trabalhabilidade, comportamento ao longo do tempo e sua resistência.

Quando a mistura é composta apenas de água e cimento, é chamada de pasta. Ela desempenha o papel de incluir os agregados na mistura. Nesta etapa o concreto se encontra no estado líquido, ou seja, o concreto é mole quando está fresco, isso devido a adição da água, auxiliando na compactação, impactando também na durabilidade, resistência mecânica e permeabilidade.

Ao adicionar agregados miúdos, como areia, a mistura se torna argamassa, usada para assentamento de tijolos e blocos. Forma-se o concreto quando os agregados graúdos são adicionados. Esses agregados são responsáveis pelo aumento na resistência ao desgaste, desempenhando isolamento térmico e acústico, e ajudam a diminuir o custo e as variações de

volume.

A trabalhabilidade do concreto é de extrema importância. Ela garante que o concreto passe por todas as etapas de aplicação sem perder suas propriedades e evitando a formação de vazios. Em casos de adensamento inadequado, podem surgir falhas chamadas "bicheiras", geralmente localizadas no fundo das formas. (CREMONINI, 2008 *apud* PARIZOTTO, 2017, p. 28).

De acordo com Mehta e Monteiro (1994, *apud* PARIZOTTO, p. 102) “As principais propriedades mecânicas do concreto são: resistência à compressão simples; resistência à tração; e módulo de elasticidade”.

Aditivos de fibras no concreto

Concrete Show (2024) informa que:

Segundo a ABNT NBR 11768, o aditivo é: “produto adicionado e misturado no concreto, em quantidades geralmente não superior a 5% da massa de ligante total contida no concreto, com o objetivo de modificar suas propriedades no estado fresco e/ou no estado endurecido”. (CONCRETE SHOW, 2024)

A garantia de um concreto bem executado é medida de acordo com a sua durabilidade, segurança e sustentabilidade, além do aspecto visual entregue, sem o aparecimento de fissuras e falhas na composição da estrutura. (CAMARGO QUÍMICA, 2023)

Concrete Show (2021) discorre que em 1847, surgiram as primeiras utilizações de fibras no concreto, quando Joseph Lambot, inventor do ferro-cimento, buscava melhora na capacidade de resistência do concreto e melhorias em suas propriedades.

Em constante busca em relação a tecnologia, maiores garantias em relação a execução e qualidade das estruturas em concreto, essa nova possibilidade como aditivo, foi um marco para aumentar as características como resistência, trabalhabilidade, tenacidade, entre outros, e por esse motivo, as fibras são cada vez mais procuradas. As fibras mais relevantes são dos seguintes materiais: aço, polipropileno, carbono, aramida e vidro. Entretanto, as fibras vegetais estão sendo amplamente pesquisadas e podem ser boas opções dependendo da aplicação.

A principal vantagem está na ductilidade desse material, trazendo a redução do aparecimento de fissuras e diminuição de suas aberturas, caso ocorra e sua desvantagem está relacionada ao custo que algumas delas têm.

O engenheiro civil Kennedy Queiroz Pessoa (*apud* Concrete Show, 2021) afirma que a utilização das fibras não extingue o aparecimento de fissuras, e sua utilização deve ser feita com estudo e proporções corretas, devendo ser um ponto de atenção na mistura.

Fibra de polipropileno

Segundo NTC Brasil (2016) as fibras de polipropileno são um tipo de polímero termoplástico utilizados nas estruturas de concreto visando aumentar a sua segurança através

de algumas propriedades presentes nas características deste material. As fibras possuem diversas utilidades por se tratar de um material de fácil manuseio, não corrosivo e econômico.

Existem dois tipos e vantagens distintas entre as fibras de polipropileno, sendo elas:

Microfibras: São monofilamentos de tamanho padronizado e pequeno diâmetro. Este tipo de fibra auxilia principalmente na redução de fissuras por retração, melhorando a capacidade de resistir a impactos e a desgastes. Elas são altamente utilizadas em lajes, pisos, pavimentos, estruturas de concretos pré-moldados, concreto projetado e estuques.



Figura 1 - Ilustração da microfibra de polipropileno do tipo microfibra (Fonte: NTC Brasil).

Macrofibras: São filamentos retangulares compostos através de malhas fibriladas. Esta modalidade de fibra possui função estrutural, ou seja, há um aumento na resistência mecânica do concreto, podendo ser utilizada na substituição das telas metálicas eletrossoldadas, como também no lugar das fibras de aço nas construções de pisos industriais, concreto projetado, pavimentos rígidos, capeamento de lajes, tubos de concreto, estruturas de concreto em túneis e pré-fabricadas.



Figura 2 - Ilustração da macrofibra de polipropileno aplicada no concreto (Fonte: NTC Brasil)

Uma vantagem está na aplicação das fibras de polipropileno, uma vez que sabendo que a aplicação é direta, ou seja, não exige utilização de equipamentos ou custos adicionais, bastando somente ser acrescida junto aos agregados no momento da mistura para a fabricação do concreto para que se espalhem. (CAMARGO QUÍMICA, 2023).

Tanesi e Figueiredo (1999, *apud* Figueiredo, Tanesi e Nince, 2002) declaram que as fibras de polipropileno são capazes de reduzir a fragilidade das matrizes cimentícias, isso deve-se a transferência das tensões aplicadas, assim como o teor das fibras também influencia na eficiência de controle de retração da estrutura, diminuindo o aparecimento e propagação de fissuras.

“A influência das fibras sobre as resistências à compressão e tração do compósito é pouco pronunciada ou mesmo inexistente, quando o teor de fibras é baixo”. (TANESI e FIGUEIREDO, 1999, *apud* FIGUEIREDO, TANESI e NINCE, 2002).

A relação de a/c efetiva na matriz é relacionada com um pequeno aumento de resistência, pois as fibras apresentam uma adesão de água em sua superfície, comprovada pela diminuição significativa da exsudação. Os autores complementam que quando não há divergências como mau adensamento e incorporação do ar, os teores de fibras entre 0,5% e 20% promovem aumento de resistência do material, mas somente com a adição adequada do teor de fibras o material adquire um pequeno aumento na resistência à tração.

No entanto, a quantidade de fibras utilizadas mostra-se diretamente ligada a redução da fluidez e aumento da coesão do concreto, afetando a trabalhabilidade quando alta, favorável para aplicações como concreto projetado e pré-moldado, tendo em vista a estabilidade dimensional adquirida do concreto fresco, em contrapartida, em outros usos, é preciso ser submetido a vibração para um melhor adensamento. (BENTUR, MINDESS, 1990, *apud* FIGUEIREDO, TANESI e NINCE, 2002).

Wittmann (1976, *apud* Figueiredo, Tanesi e Nince, 2002) ressalta que o concreto sofre fissuras em razão da secagem superficial da peça quando a taxa de evaporação excede a taxa de exsudação, esse fenômeno explica o porquê o processo de cura é fundamental para o controle de fissuração, e as fibras auxiliam o controle da fissuração plástica, principalmente quando a estrutura tem grande exposição de superfície.

Camargo Química (2023) trata as fibras de polipropileno como um material sustentável, apesar de sintético, afirmando que essa relação está ligada a redução de desperdícios com a prevenção de falhas, manutenções reduzidas, além de demolições e reconstruções caso ocorra algum desvio que afete a qualidade da estrutura.

Fibras vegetais

Há milênios as fibras vegetais são utilizadas pelo homem, apresentando ampla aplicação nas indústrias de fios, cordas, tecidos, tapetes, papéis e estofamentos, além de serem empregadas como reforço em materiais de construção e na estrutura de painéis (WIEDMAN, 2002).

Uma prática antiga é o uso de palhas, gramíneas e raízes como reforço de tijolos crus, com o objetivo de aumentar a estabilidade e reduzir a retração durante a secagem. Um exemplo

desse uso é uma construção de tijolos crus reforçados com raízes no Iraque, datada de 1400 a.C. (SAVASTANO, 1987 *apud* WIEDMAN, 2002, p. 7).

Segundo Wiedman (2002) apesar da concorrência das fibras sintéticas com as fibras vegetais, por oferecerem vantagens como maior durabilidade, menor absorção de água e controle de qualidade mais eficiente, seu uso permanece amplamente difundido. Recentemente, devido às campanhas de conscientização, a demanda por produtos ambientalmente adequados, especialmente em países industrializados, tem havido um aumento do interesse por matérias-primas renováveis, como as fibras vegetais.

Segundo Mitschein et al (1994 *apud* Wiedman, 2002, p. 1.) um recurso natural renovável, ainda pouco explorado, é a utilização de fibras vegetais, com exceção das fibras de madeiras, por serem um recurso abundante em países em desenvolvimento. O uso sustentável dessas fibras, por meio de tecnologias locais, pode proporcionar novas oportunidades econômicas, principalmente em áreas onde as fibras são produzidas como cultivo ou subprodutos da agroindústria. A integração de espécies produtoras de alimentos e fibras em regiões carentes, pode proporcionar uma nova fonte de recursos tanto necessários à subsistência quanto econômica, como exemplo na Índia, Nepal e Brasil.

A utilização de fibras naturais está associada ao seu baixo custo e ampla disponibilidade, sendo fator de pesquisas para utilização desses materiais, analisando seu comportamento e a possibilidade de substituir fibras sintéticas por naturais nas tecnologias construtivas atuais. (CABRERA; NWAUBANI, *apud* GIRALELLI, *et al.* 2021, p.35).

Para os autores (PRITCHARD; SARSBY; ANAND, 2000, *apud* GIRALDELLI, *et al.* 2021, p.35), “as fibras de origem vegetal possuem maior potencial para serem utilizadas na engenharia em função de suas propriedades”.

As fibras podem ser classificadas em três grupos principais: fibras de origem animal, vegetal e mineral, apresentando características distintas entre cada uma delas, que influenciam sua utilização e desempenho. As fibras animais, embora possuam maior alongamento, apresentam menor resistência quando comparadas às fibras vegetais, estas por sua vez, são mais fortes e, por isso, mais resistentes. Por outro lado, as fibras minerais, devido à dificuldade de extração têm um valor aquisitivo mais elevado, são mais frágeis, demonstrando menor força e flexibilidade, o que pode limitar seu uso em aplicações que demandam maior durabilidade.

Já as fibras vegetais são compostas, predominantemente, por celulose, e podem ser classificadas com base na parte da planta de onde são extraídas. Essas fibras se dividem em três categorias principais: as provenientes da semente, do caule ou da folha. (GIRALDELLI, *et al.* 2021).

Tabela 1 - Composição química e física de diversas fibras vegetais

Fibras Vegetais: Composição química e física					
Classificação	Fibra	Celulose (%)	Lignina (%)	Comprimento (mm)	Largura (%)
Caule	Cânhamo	57,0 – 78,0	3,7 – 13,0	5,0 - 55,0	0,01 - 0,04
	Linho	29,0 - 81,0	2,0 - 23,0	4,0 - 77,0	0,005 - 0,04



Folha	Abacate	56,0 – 64,0	7,0 – 12,0	2,0 - 12,0	0,02 - 0,03
	Sisal	43,0 – 88,0	4,0 – 12,0	0,8 - 8,0	0,008 - 0,04
Semente	Algodão	80,0 – 99,0	0,5 – 66,0	10,0 - 60,0	0,01 - 0,04
	Coco	35,0 – 45,0	45,0 – 46,0	0,3 - 1,0	0,10 - 0,45

Fonte: Adaptado Bhatia e Smith (2008, *apud* GIRALDELLI, *et al.* 2021, p.35).

Tabela 2 - Propriedades mecânicas de diversas fibras vegetais

Fibras Vegetais: Propriedades Mecânicas				
Classificação	Fibra	Resistência a Tração (MPa)	Modulo de Elasticidade (GPa)	Alongamento de Ruptura (%)
Caule	Cânhamo	580,0 – 110,0	3,0 – 90,0	1,3 – 4,7
	Linho	343,0 – 100,0	27,0 – 100,0	1,6 – 3,2
Folha	Abacate	980,0 – 000	72,0	2,5 – 12,0
	Sisal	468,0 – 55,0	9,0 – 28,0	1,9 – 4,5
Semente	Algodão	287,0 - 97,0	5,5 – 12,6	2,0 – 10,0
	Coco	106,0 – 70,0	3,0 – 6,0	15,0 – 47,0

Fonte: Adaptado Bhatia e Smith (2008, *apud* GIRALDELLI, *et al.* 2021, p.35).

Fibra de coco

“O coqueiro pertence ao reino vegetal, ramo phanerogamos, sub-ramo angiospermas, classe monocotiledônea, ordem príncipes, família Arecaceae, espécie *Cocos nucifera L.*” (ALVES; MULLER, 1995, *apud* GIRALDELLI, *et al.* 2021, p. 37).

GIRALDELLI *et al.* (2021) destaca que o fruto do coqueiro é composto por quatro partes, sendo elas, Epicarpo ou epiderme lisa, Mesocarpo, Endocarpo e Amêndoa.

- Epicarpo ou epiderme lisa: casca dura e brilhante que cobre o mesocarpo.
- Mesocarpo: consiste no material fibroso e espesso, local onde se extrai a fibra de coco.
- Endocarpo: destaca-se por ser uma camada rígida que envolve a amêndoa.
- Amêndoa: subdividida em albúmen sólido (camada carnosa, coloração branca e oleosa) que é a polpa comestível, albúmen líquido (água de coco) e o embrião.

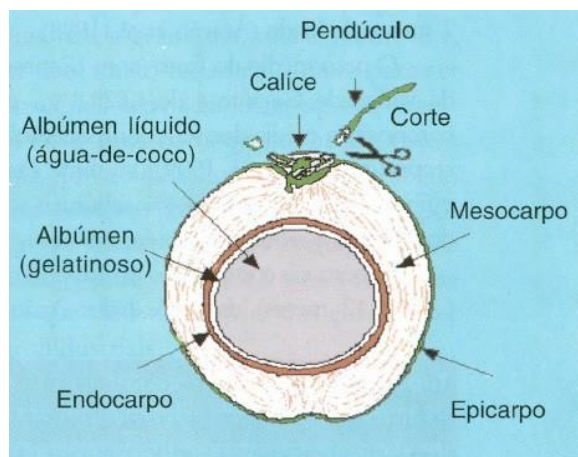


Figura 3 - Ilustração de corte frontal do coco-da-baía (Fonte: Aragão *et al.* 2002, *apud* GIRALDELLI, *et al.* 2021, p.37).

Passos (2005, *apud* GIRALDELLI, *et al.* 2021, p.35) observou que a fibra de coco possui maior quantidade de tanino e lignina do que outras fibras vegetais convencionais em sua composição, apresentando características mecânicas diferente das demais fibras, possibilitando maior versatilidade.

Tabela 3 - Características químicas, físicas e mecânicas da fibra de coco

Características da Fibra de Coco		
Composições Química e Física	Celulose (%)	35,0 – 45,0
	Lignina (%)	45,0 – 46,0
	Comprimento (mm)	0,3 – 1,0
	Largura (%)	0,10 – 0,45
Propriedades Mecânicas	Resistência a Tração (MPa)	106,0 – 70,0
	Modelo de Elasticidade (GPa)	3,0 – 6,0
	Alongamento de Ruptura (%)	15,0 – 47,0

Fonte: Adaptado Bhatia e Smith (2008, *apud* GIRALDELLI, *et al.* 2021, p.36).

Conforme Barbosa *et al.* (2016, *apud* Giraldelli, *et al.* 2021, p. 36,37)

Destacaram que, anualmente, o Brasil produz cerca de 8,1 bilhões de unidades de coco que geram 70% do resíduo encontrado nas praias, tendo como destinação final lixões e aterros e, assim, diminuindo a vida útil desses, pois este resíduo apresenta alto volume, leva cerca de 8 anos para sua decomposição completa, sendo potenciais emissores de gases estufa, contaminam o solo e podem contribuir na proliferação de animais peçonhentos. Desse modo, a reutilização deste material se torna uma alternativa atrativa para o meio ambiente.

Segundo os autores, as principais características da fibra de coco são:

- **Durabilidade:** as fibras de coco são constituídas por lignocelulósicos, que influenciam positivamente na durabilidade do material atribuída ao alto teor de lignina, quando comparado a outras fibras naturais.
- **Rigidez e impermeabilidade:** o elevado índice de rigidez e impermeabilidade apresentado pelo compósito é uma característica presente pela associação da celulose com a lignina.
- **Resistência contra-ataques biológicos:** a presença de lignina em conjunto com a celulose atua como agente contra-ataques biológicos, apresentando resistência a fungos e roedores.
- **Acústico:** o material amplia a difusão, podendo ser adotado como material acústico. **Térmico:** a fibra de coco é comumente utilizada como material acústico, por demonstrar baixa condutividade térmica (0,043 a 0,045 W/mk) (SENHORAS, 2003, *apud* GIRALDELLI, *et al.* 2021, p. 37).

Por ser um material com múltiplas aplicações, a fibra de coco se destaca em razão de sua elevada resistência e durabilidade, além de ser um material ecológico, que pode ser reciclado de forma simples, ampliando seu potencial de utilização como no caso da construção civil.



Figura 4 - Foto da fibra de coco seco (Fonte: Próprios autores).

Material e Métodos

Para o trabalho experimental, procurou-se realizar uma análise comparativa da influência da microfibrila de polipropileno e da fibra de coco no concreto, buscando analisar a influência entre as fibras e a matriz. Para esse procedimento, foi necessário conhecer as características dos materiais empregados e seguir as etapas utilizadas na execução dos ensaios de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015), NBR NM 67 (ABNT, 1998), NBR 5739 (ABNT, 2018) e NBR 7222 (ABNT, 2011).

Todos os ensaios deste trabalho foram realizados no Centro Tecnológico das Engenharias – CT, da Universidade São Francisco/SP, Campus Bragança Paulista e Campus Itatiba.

Materiais

Para a realização dos ensaios foram comprados os seguintes materiais:

- 50Kg cimento CSN CP II
- 2 Sacos de areia média lavada
- 2 Sacos de pedra britada 1
- 5 Litros de fibra de coco seco em fios
- 1 Rolo de papel filme de PVC
- 600g Fibra de polipropileno 12mm Microfibra Maccaferri

As ferramentas e materiais a seguir foram providos pela Universidade São Francisco:

- 18 Moldes de corpos de prova cilíndricos
(dimensões:100mm de diâmetro e 200mm de altura)
- 4 Provetas graduadas 1000ml
- 1 Betoneira
- 1 Carrinho de mão
- 1 Colher de pedreiro
- 1 Kit de teste de slump
- 1 Balança
- 1 Trena 5m
- 1 Desmoldante Desmol Vedacit 3,6L
- 2 Baldes
- Reservatório de água para a cura dos corpos de prova
- Máquina de ensaio à compressão Forney

Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova

Os corpos de prova foram devidamente moldados conforme as especificações da ABNT NBR 5738, garantindo a uniformidade e a homogeneidade do concreto. Após a moldagem, os corpos de prova devem ser curados em condições adequadas por um período de 28 dias.

A princípio, foi definido o traço de concreto 1:2:3 e 0,6 de relação a/c como receita padrão e 1% da parcela do cimento para a fibra de polipropileno e fibra de coco para a produção dos corpos de prova.

Em seguida, foi feito o cálculo do volume para a determinação das medidas de consumo de cada material para fabricação do concreto para 6 corpos de prova cilíndricos.

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Onde:



V = é o volume;
r = é o raio;
h = é a altura de cada um dos corpos cilíndricos.

O cálculo para o volume do teste de slump, utiliza-se a fórmula do tronco de cone.

$$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h (R^2 + r^2 + Rr)$$

Onde:

V = é o volume;
h = é a altura;
R = é o raio da base;
r = é o raio do topo do cone.

O resultado deve ser multiplicado por seis para o volume total dos corpos de prova cilíndricos, após isso, deve-se somar o volume do concreto do teste de slump.

A fração de cada material, tendo em vista o traço escolhido, é determinado pela fórmula a seguir:

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{\delta_c} + \frac{a}{\delta_a} + \frac{b}{\delta_b} + x}$$

Onde:

C = é o consumo de cimento em metro cúbico;
 δ_c = é a massa específica real do concreto (3,15 Kg/dm³);
 δ_a = é a massa específica real da areia (2,63 Kg/dm³);
 δ_b = é a massa específica real da brita (2,65 Kg/dm³);
a = é a proporção de areia do traço escolhido;
b = é a proporção de brita do traço;
x = a relação de água cimento.

Tabela 4 – Dosagem dos materiais.

Mistura	Traço	Consumo (Kg/m ³)				Microfibra de polipropileno (Kg)	Fibra de coco (Kg)
		Cimento	Areia	Brita	Água		
Concreto de Referência	1:2:3:0,6	5,91	11,82	17,73	3,55	-	-

Concreto com adição de microfibras de polipropileno	1:2:3:0,6	5,91	11,82	17,73	3,55	0,059	-
Concreto com adição de fibra de coco	1:2:3:0,6	5,91	11,82	17,73	3,55	-	0,059

Fonte: Próprios autores.

Após a descoberta das porções de cada material, foram separados e medidos na balança disponibilizada em laboratório, considerando a tara de cada recipiente utilizado.

A betoneira foi preparada em local aberto e limpa, devidamente pronta para uso, já em funcionamento, adicionou-se primeiro a brita com metade da porção de água, em seguida adicionou-se o cimento, areia e, por fim, o restante da água.

A mistura de concreto de referência foi transportada com o carrinho de mão para os locais de teste de slump e montagem dos corpos de prova cilíndricos, assim sendo possível a preparação para a moldagem dos corpos de prova cilíndricos, conforme a norma NBR 5738 (ABNT, 2015).

O procedimento se repete para o concreto com fibras de polipropileno e para o concreto com fibras de coco assim como o concreto referência, apenas aplicando as fibras no momento de mistura dos materiais na betoneira.



Figura 5 - Foto da moldagem dos corpos de prova (Fonte: Próprios autores).

A finalização para o início do processo de cura se deu pelo envolvimento do topo dos CPs em plástico filme e tempo de 24h antes de desmoldar e transporte para o reservatório de água com cal, onde os CPs ficaram submersos e em repouso por 28 dias de cura.



Figura 6 - Foto após o processo de cura de 28 dias (Fonte: Próprios autores).

Resultados e Discussão

Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone

A NBR NM 67 (ABNT,1998) é um método para determinação da consistência do concreto plásticos e coesivos no estado fresco através da medida de seu assentamento, sendo de acordo com a norma aqueles que obtiverem um assentamento igual ou superior a 10mm.



Figura 7 - Foto do teste de slump do traço de concreto de referência (Fonte: Próprios autores).



Figura 8 - Foto do teste de slump do traço do concreto com fibra de polipropileno (Fonte: Próprios autores).



Figura 9 - Foto do teste de slump do traço do concreto com fibra de coco (Fonte: Próprios Autores).

A Tabela 5 apresenta os resultados comparativos entre os assentamentos, em milímetros, dos ensaios de teste de slump das três misturas propostas.

Tabela 5 – Assentamento em mm Teste de Slump.

Mistura	Concreto de Referência	Concreto com adição de microfibra de polipropileno	Concreto com adição de fibra de coco
Assentamento (mm)	120	20	110

Fonte: Próprios autores.

O ensaio de teste de slump (Tabela 5) possibilitou observar-se que o concreto referência está de acordo com a norma, que estabelece desde a preparação e materiais necessários à execução, com resultado de 120mm, utilizado como base para a comparação entre os outros modelos realizados com as fibras. Como esperado, o concreto com a adição das microfibras de polipropileno obteve um resultado de assentamento de apenas 20mm, extremamente baixo, comprovando uma mistura mais consistente e menos fluida, alterando a trabalhabilidade do concreto no estado fresco. Já o concreto com a adição das fibras de coco mostrou-se com resultado próximo ao do concreto referência, com 110mm de assentamento.

Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos

Para o concreto, definiu-se a idade de 28 dias para os ensaios de resistência à compressão axial, seguindo a NBR 5739 (ABNT, 2018).

O cálculo de resistência à compressão é calculado pela seguinte expressão:

$$F_c = \frac{4 F}{\pi r^2}$$

Onde:

F_c = é a resistência à compressão, expressa em megapascals (MPa);

F = é a força máxima alcançada, expressa em newtons (N);

D = é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

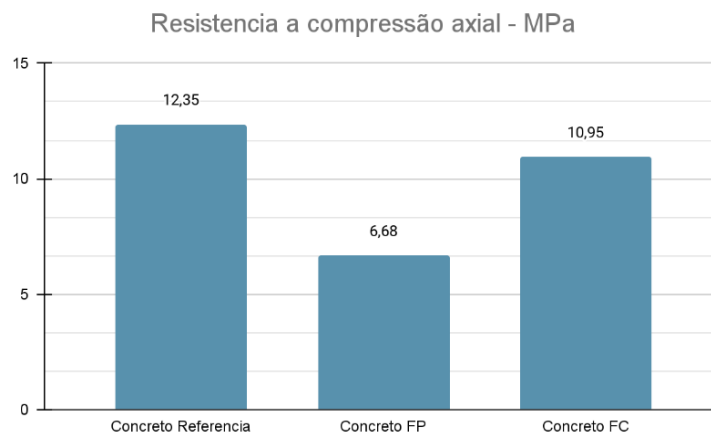


Figura 10 - Comparação dos resultados de resistência à compressão axial a partir dos corpos de prova dos traços estudados (Fonte: Próprios Autores).

Considerando-se as dosagens estabelecidas na Tabela 4, a Figura 10 apresenta os valores obtidos no ensaio de resistência à compressão axial. Esperava-se que os resultados obtivessem resistência característica de 25 Mpa, entretanto houve uma diminuição de 50,6% dessa resistência, sendo assim, esse novo valor foi considerado como modelo de referência, visto que todas as amostras seguiram a mesma dosagem. O concreto com a microfibras de polipropileno

reduziu sua resistência característica em 45,91%, já o concreto com a adição da fibra de coco, apresentou redução de 11,34% se comparados com o concreto de referência. No entanto, observou-se que os corpos de prova após os 28 dias não obtiveram a cura esperada do concreto, apresentando um estado de porosidade e descoloração, resultando em uma menor resistência.



Figura 11 - Foto do ensaio de compressão do traço de concreto de referência (Fonte: Próprios Autores).



Figura 12 - Foto do ensaio de compressão do traço de concreto com fibra de polipropileno (Fonte: Próprios Autores).



Figura 13 - Foto do ensaio de compressão do traço de concreto com fibra de coco (Fonte: Próprios Autores).

Embora os resultados de resistência à compressão apresentados pela (Figura 10) expõe menores valores para os corpos de prova das fibras de polipropileno e de coco, nas figuras acima mostram que as fibras conseguiram cumprir seu objetivo, ficando bem aparente a redução de trincas e tipo de ruptura em comparação ao corpo de prova do concreto de referência.

Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos

A resistência à tração por compressão diametral segundo a NBR 7222 é calculada pela seguinte expressão:

$$F_{ct,sp} = \frac{2 F}{\pi d l}$$

Onde:

$F_{ct,sp}$ = é a resistência à tração por compressão diametral, expressa com três algarismos significativos, em megapascals (MPa);

F = é a força máxima obtida no ensaio, expresso em newtons (N);

d = é o diâmetro do corpo de prova, expresso em milímetros (mm);

l = é o comprimento do corpo de prova, expresso em milímetros (mm).

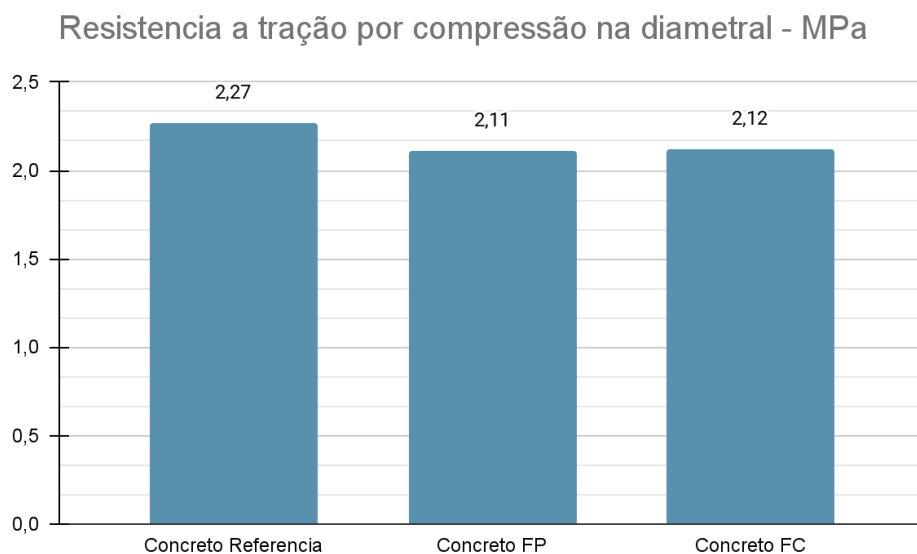


Figura 14 - Comparação dos resultados de resistência à tração por compressão na diametral a partir dos corpos de prova dos traços estudados (Fonte: Próprios Autores).

O ensaio de resistência à tração por compressão na diametral apresentou os três resultados próximos com destaque para o concreto referência com maior resultado. A amostra com a microfibras de polipropileno e fibra de coco diminuíram 7,05% e 6,61% respectivamente, enquanto o objetivo seria manter ou aumentar sua resistência à tração.



Figura 15 - Foto do ensaio de tração por compressão na diametral do traço de concreto de referência (Fonte: Próprios Autores).



Figura 16 - Foto do ensaio de tração por compressão na diametral do traço de concreto com fibras de polipropileno (Fonte: Próprios Autores).



Figura 17 - Foto do ensaio de tração por compressão na diametral do traço de concreto com fibra de coco (Fonte: Próprios Autores).

As figuras acima confirmam os valores obtidos no teste de resistência a compressão, destacando a propriedade das fibras como aditivo com função da diminuição da fissuração do concreto. Pode-se observar que o corpo de prova do concreto de referência apresentou cisalhamento integral, já os corpos com as fibras mostraram-se aparentemente amassado, sem

o deslocamento de metade da peça, devido à dificuldade de propagação das fissuras e alta ductilidade das fibras, que atuam como ponte de transferência das tensões aplicadas.

Conclusões

A utilização de fibras no concreto garante uma melhor ductilidade, transferindo os esforços como pontes de tensões. A partir dos resultados obtidos podemos comprovar que ambas as fibras são capazes de reduzir o aparecimento de fissuras, embora a resistência não tenha atingido o esperado nos testes.

As adversidades encontradas neste processo podem estar relacionadas ao índice de umidade da areia, local de armazenamento, fator água e cimento, temperatura e umidade do dia, entre outras. Futuras pesquisas e laboratórios de controle tecnológico poderiam investigar com exatidão quais as causas encontradas e possíveis fatores que influenciaram a redução de resistência do concreto, realizando novos testes com os processos corrigidos para que a pesquisa consiga apresentar o resultado esperado. A utilização de aditivos aceleradores de pega ou o cimento do tipo CP V ARI podem ser fortemente recomendados para um processo de cura mais rápido.

No entanto, a utilização das fibras vegetais de coco, apesar de não possuírem norma específica, cumprem o objetivo de melhorar a ductilidade do concreto, assim como as fibras sintéticas de polipropileno. A principal preocupação em relação às fibras do tipo vegetal está em sua degradação e exposição ao longo do tempo, este problema pode ser solucionado com a adição de aditivos impermeabilizantes que terão função de proteger as fibras sem a alteração de suas propriedades mecânicas.

O desenvolvimento normativo para a utilização das fibras vegetais faz-se de suma importância para o conhecimento e padronização dos processos de preparação e aplicabilidades, o que pode resultar em um crescimento significativo na utilização de materiais renováveis com o objetivo de sustentabilidade na construção civil.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer primeiramente a Deus, aos nossos familiares e ao nosso orientador Marcelo, expressar gratidão e reconhecer as contribuições dos professores e também a Universidade São Francisco, que viabilizaram este estudo com recursos e infraestrutura para a realização desta pesquisa.

Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, RJ, 2016. 09 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, RJ, 2018. 09 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, RJ, 2011. 05 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16938: Concreto reforçado com fibras - Controle da qualidade.** Rio de Janeiro, RJ, 2021. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16942: Fibras poliméricas para concreto - Requisitos e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, RJ, 2021. 20 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, RJ, 1998. 08 p.

CAMARGO QUÍMICA, **Fibra de polipropileno no concreto: importância e pontos positivos para a obra.** 2023. Disponível em: <https://camargoquimica.com.br/fibra-de-polipropileno-no-concreto-importancia-e-pontos-positivos-para-a-obra/>. Acesso em: 10 out. 2024.

CONCRETE SHOW, **Fibras para concreto: benefícios e desvantagens.** 2021. Disponível em: <https://digital.concreteshow.com.br/produtos/fibras-para-concreto-beneficios-e-desvantagens>. Acesso em: 14 out. 2024.

FIGUEIREDO, A.D., TANESI, J.; NINCE, A.A. **Concreto com fibras de polipropileno.** *Téchne*, São Paulo, v.10, n.66, p.48-51, 2002.

GIRALDELLI, Mariana A. et. al. **Propriedade da Fibra de Coco: Uma Revisão Sistemática.** *UNICIÊNCIAS*, [S. l.], v. 24, n. 1, p. 34–38, 2021. DOI: 10.17921/1415-5141.2020v24n1p34-38. Disponível em: <https://uniciencias.pgsscogna.com.br/uniciencias/article/view/8920>. Acesso em: 10 out. 2024.

MEMÓRIA VOTORANTIM. **A história do concreto armado no mundo e no Brasil.** 2023. Disponível em: <https://www.memoriavotorantim.com/historias/empresas-investidas/historia-concreto-brasil-mundo/>. Acesso em: 21 ago. 2024.

NTC Brasil. **Fibras de polipropileno.** 2016. Disponível em: [https://www.ntcbrasil.com.br/blog/fibras-de-polipropileno/#:~:text=e%20as%20macrofibras%3A-,Existem%20dois%20tipos%20de%20fibras%20de%20polipropileno,idades%20do%20concreto%20\(cura\)](https://www.ntcbrasil.com.br/blog/fibras-de-polipropileno/#:~:text=e%20as%20macrofibras%3A-,Existem%20dois%20tipos%20de%20fibras%20de%20polipropileno,idades%20do%20concreto%20(cura).). Acesso em: 02 set. 2024.

PARIZOTTO, Liana. **Concreto armado.** Porto Alegre: Grupo A, 2017. E-book. ISBN 9788595020917. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595020917/>. Acesso em: 15 ago. 2024.

WIEDMAN, Guilherme Alexandre. **Fibra de coco e resinas de origem vegetal para produção de componentes de mobiliário e da construção civil.** 2002. Tese (Doutorado em Estruturas Ambientais Urbanas) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em:



CREA
Conselho Regional de
Engenharia e Agronomia



<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16131/tde-27062017151001/publico/GuilhermeAlexandreWiedman.pdf>. Acesso em: 03 out. 2024.