

Incorporação de Fibras Vegetais de Bambu ao Concreto em Substituição à Fibras Sintéticas

Bianca Lara Auersvaldt, Luís Antonio Lay, Thales Liebl Miranda

Resumo: A construção civil vem passando por grandes transições e investigando novas técnicas e materiais alternativos, sustentáveis e renováveis com características compatíveis e que possam substituir os métodos convencionais. Nesse contexto surge a fibra de bambu como um material de grande potencial ecológico, baixo custo, alta produtividade e boas características físicas e mecânicas, sendo um possível substituto das fibras sintéticas. Estas fibras são utilizadas como materiais de reforço incorporados à compósitos frágeis com o objetivo de melhorar suas propriedades, diminuindo a retração e aumentando a tenacidade, ductilidade e resistência do compósito. O estudo teve como objetivo comparar as resistências mecânicas de compósitos cimentícios com adição de fibras de bambu, microfibras de poliéster e macrofibras de polietileno, a fim de verificar a possível substituição das fibras sintéticas pelas fibras de bambu. Para isto foram realizados ensaios de compressão axial, tração diametral e tração na flexão aos 28 dias. Foram obtidos resultados satisfatórios na comparação, comprovando a viável substituição das fibras sintéticas pelas fibras de bambu em relação à sua resistência mecânica para a utilização como material construtivo na engenharia civil.

Palavras-Chave: Concreto. Fibras de Bambu. Resistência Mecânica. Engenharia Civil.

Incorporation of bamboo vegetable fibers in concrete replacing synthetic fibers

Abstract: Civil construction has been undergoing major transitions and researching new alternative, sustainable and renewable techniques and materials with compatible characteristics that can replace conventional methods. In this context, bamboo fiber appears as a material with great ecological potential, low cost, high productivity and good physical and mechanical characteristics, being a possible substitute for synthetic fibers. These fibers are used as reinforcing materials incorporated to the fragile composites in order to improve their properties, reducing retraction and increasing the toughness, ductility and strength of the composite. The purpose of this study was to compare the mechanical strength of cementitious composites with the addition of bamboo fibers, polyester microfibers and polyethylene macrofibres in order to verify the possible replacement of the synthetic fibers by the bamboo fibers. For this, tests of axial compression, diametral traction and tensile flexion were performed at 28 days. Satisfactory results were obtained in the comparison, proving the feasible substitution of the synthetic fibers by the bamboo fibers in relation to their mechanical resistance to the use as constructive material in civil engineering.

Keywords: Concrete. Bamboo Fibers. Mechanical resistance. Civil Engineering.

1 Introdução

O desenvolvimento e utilização de materiais de reforço incorporados à compósitos frágeis com o objetivo de melhorar suas propriedades, tornando-os mais resistentes, é uma prática provecta. Em épocas remotas o homem já empregava fibras vegetais como palha, capim e asbestos à bases como argila e gesso. Mais recentemente, com o aprimoramento de técnicas

construtivas, o desenvolvimento de pesquisas e a inovação tecnológica, as fibras naturais foram substituídas pelas chamadas fibras sintéticas, sendo mais insígnies as de aço, vidro e materiais poliméricos.

Porém, com crescente desenvolvimento global o conceito de sustentabilidade vem se popularizando, principalmente no ramo de construção civil, sendo este o principal consumidor de recursos, matérias e energia. Segundo Swamy (2000), o desafio do século XXI está na necessidade de se obterem materiais de construção com baixo consumo de energia, duráveis e ecológicos, capazes de satisfazer a necessidade de infraestrutura da população, sobretudo nos países em desenvolvimento. Sendo assim, esse setor vem passando por grandes transições, investigando novas técnicas e materiais alternativos, sustentáveis e renováveis com características compatíveis e que possam substituir os métodos convencionais. O objetivo não é apenas minimizar os impactos ambientais, mas também atenuar a exploração exacerbada de insumos, cooperando para um desenvolvimento socioeconômico justo e equilibrado (BARBALHO et al., 2019).

A construção civil está passando por transformações e cada vez mais está sendo induzida a desenvolver e incorporar inovações em um processo estruturado em três dimensões: empresarial (geração de valor), humana (segurança, saúde, social, e pessoas) e ambiental (meio ambiente), este conjunto forma diretrizes de sustentabilidade que potencializam a busca por novos materiais e tecnologias (CARRARO, 2018, p. 23).

Quanto ao consumo de fibras sintéticas, o grande volume necessário de matéria prima mineral e química para a sua produção, bem como os resíduos gerados e o descarte dos mesmos, causam grandes efeitos negativos no meio ambiente, deixando de ser atrativa do ponto de vista ecológico. Nesse contexto, as fibras vegetais ganham visibilidade novamente, conforme os autores Pickering et al. (2016) há um rápido crescimento em pesquisa e inovação na área desses compósitos, onde o interesse é garantido devido às vantagens desses materiais em comparação com outros, como exemplo os compósitos de fibra sintética, tornando-se uma alternativa atrativa ambientalmente e economicamente.

Ashby et al. (2018) definem as fibras vegetais como materiais obtidos de fontes renováveis que podem ser facilmente recicláveis ou biodegradável. Alguns dos tipos mais conhecidos são feitos de cânhamo, juta, coco, bambu, sisal, casca de arroz, palma, linho, algodão e cana-de-açúcar (FOTINI & STEFANIDOU, 2019). Devido às suas propriedades mecânicas razoavelmente boas, baixo custo, alta força específica, sustentabilidade, biodegradabilidade, facilidade de fabricação e boa rigidez estrutural, esses materiais podem ser usados em uma ampla gama de aplicações (ALKBIR et al., 2016). Taj et al. (2007), destacam também para as fibras naturais menor desgaste durante a produção, possibilidade de reciclagem, maiores propriedades mecânicas por peso unidade, e menor custo de fabricação por unidade de volume.

As possibilidades de fibras são inúmeras, porém o bambu se mostra um material viável tecnicamente, economicamente e ambientalmente. Apesar de suas vastas possibilidades como produto, podendo ser usado desde combustível para queima em prol da geração de energia até a produção de celulose e papel, o bambu é um componente ainda pouco utilizado e estudado, principalmente na construção civil. Dentro da engenharia civil pode ser usado desde acabamentos até empregos estruturais, suas características satisfatórias possibilitam até a substituição de materiais como concreto, madeira e aço. Desta forma o presente estudo tem como objetivo verificar a utilização da fibra de bambu como material incorporante de matriz cimentícia em substituição das fibras sintéticas.

Seu potencial ecológico é sua principal característica, pode considerado um recurso natural renovável, sustentável, biodegradável, com baixo impacto ambiental e com natureza não abrasiva. De acordo com Pereira (2001) o bambu tem maior capacidade para fixar carbono do que as árvores, protege terrenos contra a erosão, é utilizado para recuperação de áreas degradadas e, propagando-se com maior eficácia e facilidade que outros vegetais. Com baixa necessidade de energia para sua produção, baixa geração de resíduos, alta produtividade, rápido crescimento, baixo custo de cultivo e boa capacidade de propagação e regeneração torna-se uma matéria prima promissora. Suas características físicas e mecânicas, bem como sua estrutura, garantem leveza, resistência e alta capacidade de absorver energia.

A aplicação do bambu nos diversos campos da Engenharia é uma alternativa para o desenvolvimento global, pois esta planta é um excelente sequestrador de carbono, resistente, leve, versátil e com extraordinárias características mecânicas, físicas e químicas, que lhe permitem várias formas de aplicações ao natural ou processadas (BARBALHO et al., 2019).

2 Referencial teórico

2.1 Características do concreto com fibras

Segundo Pereira (2017), os materiais cimentícios em geral são caracterizados pela baixa resistência à tração e pela pequena capacidade de deformação, pois são materiais rígidos, podendo também serem considerados materiais frágeis. Essas características garantem à compósitos cimentícios grande capacidade de fissuração, seja por retração ou carregamento, diante disso, Nagaranti et al. (2019) explica que, a partir do momento em que essas rachaduras são formadas o concreto perde sua capacidade de carga, e, por consequência, suas propriedades. Uma das formas encontradas para minimizar essa deficiência é por meio da adição de fibras, as quais possuem o objetivo de diminuir a retração e aumentar a tenacidade, ductilidade e resistência do compósito a qual forem incorporadas, podendo este ser representado por concreto, argamassa ou pasta.

Este compósito então será resultante fundamentalmente de duas fases heterogenias: o reforço e a matriz. A fase de reforço será composta pelas fibras, as quais garantem maior resistência à matriz que será composta basicamente por concreto, sendo esta normalmente frágil. Visto que a matriz é maleável, esta envolve a fase de reforço garantindo uma boa transferência de tensões dentro da estrutura.

O mecanismo por trás da incorporação de fibras no concreto está na habilidade das mesmas de criarem pontes entre fissuras e controlarem a sua propagação e abertura, incrementando por consequência a tenacidade, as tensões residuais de tração e a rigidez à flexão (PEREIRA, 2017). Sendo assim, uma vez que a matriz nos compósitos cimentícios é frágil e vulnerável a fissuras, a adição de fibras traz uma melhoria nas suas propriedades mecânicas. Quando a matriz fissura, as fibras passam a suportar a maior parte das tensões atuantes, servindo como ponte de transferência das mesmas pela fissura. Essa característica minimiza a concentração de tensões nas extremidades da fissura, restringindo ou reduzindo sua velocidade de propagação. É importante lembrar que as fibras conseguem controlar a abertura e crescimento das fissuras, mas não impedir a sua formação.

Para Pereira (2017) a eficiência do reforço fibroso pode ser avaliada pela resistência das fibras ao arrancamento, que depende da força de adesão com a interface fibra-matriz. Ainda segundo o autor, fibras irregulares com seções de pequeno diâmetro promovem maior resistência ao arrancamento do que fibras circulares de grande diâmetro, pois a resistência ao

arrancamento é proporcional à área superficial da interface fibra-matriz. Nagaranti et al. (2019) destaca que o arrancamento da fibra ou a sua ruptura é notada quando estas tensões excedem a força de ligação entre a fibra e a matriz.

Diversos fatores têm influência na eficiência do compósito fibroso para se garantir valores de resistência e rigidez elevados, os autores Gray e Johnston (1984) já destacavam que o comportamento mecânico dos compósitos é influenciado pela distribuição, relação comprimento-diâmetro e durabilidade das fibras. Johnston (1994) explica que a orientação das fibras em relação ao plano de ruptura é um fator importante, sendo que uma fibra paralela a fissura não tem efeito influente de transmissão de carga, enquanto fibras perpendiculares alcançam os efeitos máximos. Hannant (1994) defende que o desempenho do concreto reforçado com material fibroso depende também das propriedades físicas da fibra e da matriz. Segundo Monteiro e D'Almeida (2006), fibras muito curtas resultam em uma transmissão pouco eficiente da carga externa aplicada sobre a matriz contínua, havendo necessidade de um comprimento crítico mínimo da fibra para que exista uma efetiva transmissão de esforços. De acordo com Nia et al. (2012) o comprimento, resistência à tração e aderência da fibra com a matriz de concreto são fatores importantes que melhoram a resistência ao carregamento de impacto. Wahyuni et al. (2014) adiciona que a fração de volume da fibra influencia diretamente nos resultados.

2.2 Fibra de bambu

Atualmente há uma busca constante por materiais que possam ser usados na construção civil provenientes da reciclagem ou que sejam encontrados na natureza, porém renováveis, com processo de extração com baixo gasto energético e não degradando o meio ambiente, diante desta realidade o bambu aparece como uma prática de sustentabilidade (CARRARO, 2018). Segundo Javadian et al. (2016), é um recurso natural de crescimento rápido, acessível e disponível em muitos países em desenvolvimento, sendo potencialmente superior a madeira e ao aço para construção em termos de sua relação peso/resistência.

O bambu pertence à família das gramíneas (Poacea) e à subfamília bambusoidae, sua estrutura é dividida em rizoma, colmo, galhos e folhas e pode ser encontrado na forma entouceirante ou alastrante. Adepto de condições ambientais e relevos diversos, podemos encontrá-lo em grande parte do globo terrestre, segundo Lopez (2003) está distribuída na porção de 67% na Ásia e Oceania, 30% nas Américas e 3% na África, tendo como exceção a Antártida e Europa onde não são encontradas espécies nativas. De acordo com Londoño (2004), no mundo existem cerca de 1200 espécies de bambu distribuídas em 90 gêneros. Se reproduz assexuadamente através dos rizomas, produzindo colmos todo ano sem a necessidade de replantio, possibilitando que a mesma planta brote novamente depois de ser colhida, diferentemente de outras espécies arbóreas, essa característica garante à planta um grande rendimento anual por área sem grandes investimentos. O que o diferencia, de imediato, de outros materiais vegetais estruturais é sua alta produtividade, completa seu crescimento poucos meses após o seu brotamento e dois anos e meio após ter brotado do solo alcança resistência mecânica estrutural, não tendo portanto, neste aspecto, nenhum concorrente no reino vegetal (GHAVAMI, 1995).

A eficiência à esforços mecânicos do bambu são variantes mesmo dentro da mesma espécie ou plantação, sofrendo influência de acordo com a espécie, idade, clima, umidade e densidade. Por não possuir o mesmo diâmetro, espessura de parede, disposição de fibras e de nós ao longo de seu comprimento, suas características mecânicas não são lineares

(geralmente esses números diminuem da base para o topo dos colmos). Sendo assim, facilmente são encontradas divergências em resultados de estudos de acordo com o colmo e o local escolhido para o ensaio.

A parte usual do bambu é chamada de colmo, sendo este um material lenhoso composto por vasos vasculares, parênquima e fibras de celulose dispostas em forma de feixes circulares, de modo geral podemos considerar o bambu como um compósito natural onde temos as fibras como material de reforço imersas em uma matriz de lignina. As fibras são as principais responsáveis pela sua resistência mecânica, constituindo de 40 a 50% do tecido e contribuindo com 60 a 70% do peso total do colmo (GROSSER & LIESE, 1974). Estas são distribuídas de forma descontínua nos nós e paralela nos internos, havendo maior concentração de fibras na parte mais externa do colmo. Enquanto as fibras mais curtas são encontradas próximas dos nós, as mais longas concentram-se no meio dos internos, com comprimento médio variando entre 1,65 mm e 3,43 mm segundo Pereira e Beraldo (2007). Essas fibras garantem ao colmo resistência à tração, flexão e rigidez para a estrutura, juntamente com os nós distribuídos ao longo de seu comprimento estas características auxiliam a evitar a tendência de flambagem da estrutura ocasionada pelas grandes dimensões características do bambu.

Alguns estudos acerca da utilização das fibras de bambu como reforço de matriz mostram resultados promissores, porém, por se tratar de um material natural, a heterogeneidade presente nas características físicas e morfológicas do material, bem como seu alto grau de higroscopicidade, apresentam alguns obstáculos, principalmente quanto a incompatibilidade, em alguns casos, entre os componentes da matriz e componentes das fibras. Segundo Carraro (2018), um dos fatores que impede sua indicação para o emprego na construção civil deve-se a capacidade de absorção de água pela fibra, que resulta na perda das propriedades mecânicas da mesma e, por consequência, do concreto. Mas, em geral, segundo Sales (2006), oferecem à matriz cimentícia a qual forem incorporadas uma melhor distribuição de tensões, maior resistência à fissurações e impactos, aumento da resistência à flexão e da capacidade de suportar carregamento pós-fissuração, maior ductilidade e tenacidade, suprimindo as necessidades predestinadas às fibras em geral.

Para Pereira e Beraldo (2007), o bambu, e conseqüentemente suas fibras, são capazes de absorver elevada porcentagem de energia, apresentando maior capacidade de deformação antes da ruptura. Os resultados encontrados por Ghavami e Marinho (2001) comprovaram sua capacidade de condutividade térmica reduzida, tornando-o um ótimo isolante térmico, podendo os princípios serem aplicados também para o isolamento acústico. A densidade de massa do colmo de bambu é outra característica relevante, conforme Zhou (1981) a variação normalmente é entre 0,50 a 0,90 g/cm³, diminuindo significativamente o peso do material ao qual seus compósitos serão aplicados. Outro ponto positivo se refere quanto a sua estrutura superficial irregular, tal característica tende a auxiliar na melhoria de aderência à matriz, sendo esse um grande equívoco encontrado nas fibras em geral.

Para sua obtenção podem ser extraídos colmos provenientes do plantio agrícola do bambu, os quais são produzidos e extraídos através de processos limpos e sustentáveis e com baixo consumo de energia e baixa geração de resíduos. Também podem ser reaproveitados colmos e restos de fibra descartados por fabricas e artesões que utilizem bambu para a produção de seus produtos, havendo neste caso uma reciclagem de resíduos que seriam descartados.

3 Metodologia

O estudo tem como característica para o objetivo sendo descritivo, com procedimentos de processo metodológico de cunho experimental. Conforme Gil (2010), a pesquisa descritiva tem como objetivo da descrição de determinada população, fenômeno ou estabelecimento de relação entre variáveis, já em relação à pesquisa experimental, o autor coloca que ao selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciar o objeto estudado e observar os efeitos que a variável produz no objeto.

Para a extração das fibras de bambu, foram coletados no perímetro rural da cidade de Mafra – SC amostras da espécie *Bambusa tuldoides*, com comprimento aproximado de 15 m, diâmetro médio de 50 mm e espessura de parede de 16mm. Foram retirados de seus colmos cavacos de 10x3 cm, os quais passaram por um processo de lavagem e limpeza para eliminação de poeira e resíduos, e posteriormente foram submersos em água durante 48 horas. Após o devido tempo as fibras foram retiradas manualmente e inseridas em estufa à 60 °C durante 12 horas para a secagem.

As fibras sintéticas foram cedidas por uma concreteira da região, sendo elas microfibras compostas por hastes de multifilamentos de poliéster e macrofibras formadas por monofilamentos de polietileno, conforme são apresentados na Figura 1 os materiais utilizados no estudo provenientes do bambu e fibras de sintéticas.



- a
(a) – Fibras de bambu
- b
(b) – Fibras de poliéster
- c
(c) – Fibras de polietileno

Fonte: Dos autores.

Figura 1 – Fibras utilizadas

O restante dos materiais como areia, brita e cimento utilizados no estudo apresentaram as seguintes características: areia com módulo de finura de 19, brita com diâmetro máximo de 19mm e cimento CIIZ-32. Os agregados graúdos e miúdos foram secos em estufa à 110 °C por 24 horas para retirar toda a sua umidade, para que não houvesse interferência desta umidade no traço determinado.

Foi realizado um traço único para a utilização na pesquisa, sendo a base deste aplicada em todas as misturas. A diferença entre eles foi a quantidade de cada fibra adicionada e o fator água/cimento, o qual precisou ser alterado em determinados traços para garantir uma trabalhabilidade uniforme.

Foram produzidos exemplares sem a adição de qualquer fibra - afim destes servirem como parâmetro de comparação-, exemplares com incorporação de microfibra de poliéster,

exemplares com macrofibra de polietileno e exemplares com fibra de bambu, na Tabela 1 são apresentados as quantidades de materiais e fibras utilizadas em cada traço.

	Adição	Quantidade de cimento (kg/m ³)	Quantidade de areia (kg/m ³)	Quantidade de brita (kg/m ³)	Quantidade de água (ml/m ³)	Quantidade de fibra
Traço 1	-	487	765	975	223,95	-
Traço 2	Microfibra de poliéster	487	765	975	223,95	800 g/m ³
Traço 3	Macofibra de polietileno	487	765	975	239,94	4 kg/m ³
Traço 4	Fibra de bambu	487	765	975	239,94	2 %

Fonte: Dos autores.

Tabela 1 – Proporção de cada material utilizado em cada traço

Após revisão bibliográfica, foi adotada a dosagem de fibras de bambu de 2% em volume, recomendação de Oliveira et al. (2015), onde em seus estudos obtiveram melhores resultados. Quanto a dosagem das fibras sintéticas, foi seguido o recomendado pelos fabricantes.

Foram moldados para cada um dos traços, corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 100mm e altura de 200mm e corpos de prova prismáticos com dimensão de 100x100x350mm.

Após a moldagem os corpos de prova permaneceram em ambiente livre de ação de intemperes até a data de desmolde, sendo que os corpos de prova cilíndricos foram desmoldados após 24 horas e os prismáticos após 48 horas. Posteriormente, estes foram identificados e colocados em tanque de cura saturado de cal para a devida cura, permanecendo neste local durante 28 dias. Os procedimentos de moldagem e cura foram feitos seguindo a NBR 5738/2003.

Após o período de cura foram executados em laboratório os corpos de prova foram retificados e encaminhados para os testes de compressão conforme a NBR 5739/2007, tração indireta por compressão diametral conforme a NBR 7222/2011 e tração na flexão em três pontos conforme a NBR 12142/2010.

4 Análise dos resultados

Pelo método do picnômetro foi determinada a massa específica real da fibra de bambu conforme a norma DNER-ME 084/95 (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem [DNER], 1995), chegando a um resultado de 1,30 g/cm³. De acordo com os fabricantes as massas específicas das microfibras de poliéster e das macrofibras de polietileno são respectivamente 1,34 g/cm³ e 1,12 g/cm³, ficando a de bambu em uma posição intermediária entre elas.

Os resultados encontrados para o ensaio de compressão simples dos corpos de prova, são apresentados na Tabela 2.

Traço 1 (Base)	Valores (Mpa)	43,49	42,23	34,55
	Média (Mpa)	40,09		

Traço 2 (Microfibra de poliéster)	Valores (Mpa)	40,68	36,54	40,86
	Média (Mpa)	39,36		
Traço 3 (Macofibra de polietileno)	Valores (Mpa)	41,50	41,76	40,77
	Média (Mpa)	41,34		
Traço 4 (Fibra de bambu)	Valores (Mpa)	35,33	37,62	37,35
	Média (Mpa)	36,77		

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 2 – Resultados do teste de Compressão Simples

Para o ensaio de compressão simples obteve-se a média de 40,09 Mpa para os corpos de prova base, enquanto para as fibras de poliéster e polietileno encontrou-se o valor de 39,36 e 41,34 respectivamente, não havendo uma margem de diferença significativa entre eles. O menor resultado obtido foi para a adição da fibra de bambu, com a média de 36,77 Mpa, ocorrendo uma redução na resistência de 9,02% em relação ao traço base.

Esses resultados também foram observados por Carraro (2018) que verificou que a adição de fibras de bambu provocou um decréscimo na resistência à compressão do concreto de 19,85% em comparação ao concreto sem adição de fibras aos 28 dias. Os autores Kesikidou e Stefanidou (2019) em seu estudo sobre a incorporação de fibras vegetais ao concreto, observaram que a resistência à compressão diminuiu 3% para as fibras de coco e 6,8 para as fibras de alga marinha, a argumentação dos autores foi a adição extra de água ao traço que deixa maior porosidade no concreto, esta justificativa pode ser aplicada também para a redução de resistência do presente estudo.

Após realizados os testes de compressão simples, foi realizado o teste do ensaio de tração diametral dos corpos de prova, sendo apresentados na Tabela 3.

Traço 1 (Base)	Valores (Mpa)	3,26	2,96	2,80
	Média (Mpa)	3,01		
Traço 2 (Microfibra de poliéster)	Valores (Mpa)	3,14	3,35	4,35
	Média (Mpa)	3,61		
Traço 3 (Macofibra de polietileno)	Valores (Mpa)	2,72	3,11	3,51
	Média (Mpa)	3,11		
Traço 4 (Fibra de bambu)	Valores (Mpa)	3,71	2,74	3,30
	Média (Mpa)	3,25		

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 3 – Resultados do teste de Tração Diametral

No ensaio de tração diametral, todas as médias dos corpos de prova com fibras ficaram acima da média dos corpos de prova base. A fibra de polipropileno obteve um acréscimo de 3,2% na sua resistência em relação ao traço base, a fibra de bambu de 7,38% e a fibra de poliéster 16,62%.

Cunha et al. (2017) em seu estudo comparativo entre fibras de bambu e fibras de aço também encontraram resultados de maior resistência à tração diametral nos concretos com fibras em relação ao sem fibras, obtendo para o concretos base, com fibras de aço e fibras de bambu, respectivamente os valores de 1,71 Mpa, 3,29 Mpa e 3,66 Mpa.

Comparando os resultados das fibras no ensaio de tração diametral, a fibra de bambu ficou em posição intermediária com 3,25 Mpa, enquanto a fibra de polipropileno alcançou média de 3,11 Mpa e a fibra poliéster 3,61 Mpa.

Os resultados encontrados para o ensaio de tração na flexão dos corpos de prova, são apresentados na Tabela 4.

Traço 1 (Base)	Valores (Mpa)	2,07	1,46	1,60
	Média (Mpa)	1,71		
Traço 2 (Microfibra de poliéster)	Valores (Mpa)	1,19	2,39	2,21
	Média (Mpa)	1,93		
Traço 3 (Macofibra de polietileno)	Valores (Mpa)	1,54	3,76	2,96
	Média (Mpa)	2,75		
Traço 4 (Fibra de bambu)	Valores (Mpa)	2,99	2,05	1,09
	Média (Mpa)	2,04		

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 4 – Resultados do teste de Tração na Flexão por três pontos

Os resultados de tração na flexão também foram maiores para os corpos de prova com fibras, havendo um aumento de 11,39% na média para as fibras de poliéster em relação ao traço sem fibras, de 16,17% para as fibras de bambu e 37,81% para as fibras de polietileno. Os resultados encontrados também foram observados por Carraro (2018), que verificou um aumento de 12,17% na resistência à tração na flexão dos corpos de prova de bambu em relação aos corpos de prova base.

Para os resultados de tração na flexão para os corpos de prova com fibras, as fibras de bambu obtiveram novamente um resultado intermediário com 2,04 Mpa, enquanto a de poliéster obteve 1,93 Mpa e a de polietileno 2,75 Mpa.

5 Conclusão

O objetivo do estudo buscou verificar a utilização da fibra de bambu como material incorporante de matriz cimentícia em substituição das fibras sintéticas, foi realizado testes para a verificação, sendo observado que para a tração diametral o bambu obteve um aumento de 7,38% em sua resistência em comparação ao traço base, ficando em posição intermediária entre as fibras de poliéster e polietileno, com 11,07% de redução e 4,30% de aumento em relação à elas respectivamente. Em relação ao ensaio de tração na flexão por três pontos, o bambu obteve um aumento de 16,17% em sua resistência em comparação ao traço base, ficando também em posição intermediária entre as fibras de poliéster e polietileno, com 3,92% de aumento e 34,8% de redução em relação à elas respectivamente.

Para o ensaio de compressão observou-se uma redução na resistência característica para a adição da fibra de bambu em relação aos outros traços, com uma diferença de 9,02% em relação ao traço base, 7,04% à fibra de poliéster e 12,42% à fibra de polietileno. Essa redução pode se dar pela alta porosidade da fibra de bambu, formando espaços vazios dentro da matriz, que quando comprimida encontra nas fibras locais frágeis à fissuração. A redução da resistência também pode ser explicada pela maior dosagem de água utilizada nesse traço. Apesar disso, a diminuição de resistência não foi significativamente grande a ponto de impossibilitar sua utilização.

Foi observado que os corpos de prova com adição de fibras apresentaram um padrão de ruptura diferente em todos os ensaios se comparados ao traço base, havendo uma ruptura mais branda, o que indica um aumento de ductilidade e tenacidade no concreto. Em decorrência deste fato, mesmo após a fissuração e a ruptura completa, não houve a separação das faces do concreto, permanecendo unidas e não se estilhaçando ou desprendendo como ocorreu no concreto sem fibras.

Com base no que foi apresentado, é possível comprovar a viável substituição das fibras sintéticas pelas fibras de bambu em relação à sua resistência mecânica como materiais construtivos na engenharia civil. Dessa maneira, as fibras de bambu possuem resultados promissores em seu desempenho, pois suas características mecânicas são compatíveis com as fibras de poliéster e polietileno. Sua maior vantagem acima delas está na preservação ambiental e benefícios sociais, colaborando quando a sustentabilidade global e tendendo à redução dos custos de fabricação em decorrência da necessidade de baixo grau de industrialização e baixo consumo de energia na produção, baixa geração de resíduos, alta produtividade e facilidade na obtenção do produto.

É importante ressaltar que durante o preparo o concreto com fibra de bambu ficou menos fluido, demandando a adição de mais água para ganhar trabalhabilidade e garantir uma boa compactação, o mesmo caso ocorreu para as microfibras de poliéster. Isto pode ser justificado pela geometria da fibra que possui grande área superficial, necessitando de maior quantidade de água para a saturação. Outra característica da fibra de bambu que justifica o ocorrido é seu alto grau de higroscopicidade, onde a fibra absorve parte da água da reação de hidratação do concreto, deixando a mistura mais seca conseqüentemente.

Esta peculiaridade não apenas afeta a trabalhabilidade e características imediatas do concreto, como também pode influenciar em suas propriedades durante sua vida útil, isto porque a absorção de água pela fibra resulta em um inchaço da mesma, provocando sua expansão dentro do concreto. Ao longo do tempo a fibra poderá ir perdendo essa umidade e diminuindo seu volume, surgindo falhas e vazios na matriz, onde surgirão pontos frágeis. Estas circunstâncias juntamente com o fato de a fibra de bambu ser de origem vegetal e estar sujeita à ataques xilófagos e de fungos, à decomposição e à heterogeneidade requer estudos mais profundos acerca da durabilidade desses compósitos quando não tratados quimicamente e como sua resistência é afetada no decorrer do tempo.

Referências

ALKBIR, M.F.M.; SAPUAN, S.M.; NURAINI, A.A.; ISHAK, M.R. Fibre properties and crashworthiness parameters of natural fibre-reinforced composite structure: a literature review. **Composite Structures**, vol. 148, pp. 59-73. 2016.

ASHBY, M.; SHERCLIFF, H.; CEBON, D. **Materials: Engineering, Science, Processing and Design**. Butterworth-Heinemann, Oxford. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Concreto-Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. 2003.

_____. NBR 5739: **Concreto—Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. 2007

_____. NBR. 7222: **Concreto e argamassa-Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos**. 2011.

_____. NBR 12142: **Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos**. 1991.

BARBALHO, N.; GARCIA, D. V.; SILVA, J. R. Aplicação do MatLab em Análise de Resistência Mecânica de Compressão Axial do Bambu no Concreto. **Unisanta Science and Technology**, v. 7, n. 2, p. 56-62, 2019.

CARRARO, C. G. **Tratamento de fibras de bambu com polipropileno para utilização em concreto estrutural**. 121 f. Dissertação (Engenharia de Materiais) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo. 2018.

CUNHA, G. D. C. J. ; SILVA JUNIOR, H. G. ; MAIA, M. E. T. ; PINTO, Joana D.S. . **Estudo do concreto reforçado com fibras de aço e fibra de bambu**. In: 69ª Reunião Anual da SBPC, 2017, Belo Horizonte. 69ª Reunião Anual da SBPC, 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, DNER-ME 084/95 **Agregado miúdo – determinação da densidade real**. Rio de Janeiro, 1995.

FOTINI, K.; STEFANIDOU, M. **Natural fiber-reinforced mortars**. **Journal of Building Engineering**, p. 100786, 2019.

GHAVAMI, K. **Propriedades dos Bambus e suas aplicações nas obras de Engenharia, Arquitetura e Desenho Industrial**. Artigos Compilados do Autor. CTC/ PUC- RIO. Jul. 201p. 1995.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. **Determinação das propriedades dos bambus das espécies: Mossô, Matake, Guadua angustifolia, Guadua tagoara e Dendrocalamus giganteus para utilização na engenharia**. 53 f. Departamento de Engenharia Civil. PUC-Rio. 2001.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisas**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GRAY, R.J.; JOHNSTON, C.D. **The effect of matrix composition of fibre/matrix interfacial bond shear strength in fiber-reinforced mortar**. **Cement and Concrete Research**, v.14, p.285-296. 1984.

GROSSER, D.; LIESE, W. Verteilung der Leitbndel und Zellarten in Sproachsen verschedener Bambusarten, **Holz als Roh - Werkstoff** v. 32, n. 12, p. 473-482. 1974.

HANNANT, L. – **Fibre-reinforced Cements and Concretes** – London, 2ed. – 518p. 1994.

JAVADIAN, A.; WIELOPOLSKI, M.; SMITH, I. F.; HEBEL, D. E. Bond-behavior study of newly developed bamboo-composite reinforcement in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 122, p. 110-117, 2016.

JOHNSTON, C. D.: **Fibre-reinforced cement and concrete**. In: V. M. Malhorta. **Advances in concrete technology**. 2ed. : V. M. Malhotra. p.603-673. Ottawa. 1994.

KESIKIDOU, F.; STEFANIDOU, M. **Natural fiber-reinforced mortars**. **Journal of Building Engineering**, p. 100786, 2019.

LONDOÑO, X. **La Subtribu Guaduinae de América**, In: Universidad Tecnológica de Pereira. **Memorias Simposio Internacional Guadua**. p. 76-83. 2004.

LÓPEZ, O. H. **Bamboo, The Gift Of The Gods**. Bogota – Colômbia. 553p. 2003.

MONTEIRO, S. N.; D'ALMEIDA, J. R. M.. Ensaio de Pullout em fibras lignocelulósicas: uma metodologia de análise. **Matéria (Rio J.)**, Rio de Janeiro , v. 11, n. 3, p. 189-196. 2006.

NARAGANTI, S. R., PANNEM, R. M. R., PUTTA, J. **Impact resistance of hybrid fibre reinforced concrete containing sisal fibres.** Ain Shams Engineering Journal. 2019.

NIA, A. A.; HEDAYATIAN, M.; NILI, M.; SABET, V.A. An experimental and numerical study on how steel and polypropylene fibers affect the impact resistance in fiber-reinforced concrete. **International Journal of Impact Engineering**, v. 46, p. 62-73, 2012.

PEREIRA, M. A. R. **Bambu, espécies, características e aplicações.** UNESP, Bauru. 2001.

PEREIRA, E. V. **Influência de Fibras de Aço no Comportamento Mecânico e nos Mecanismos de Fissuração de Concretos Autoadensáveis.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2017

PICKERING, K.L.; ARUAN EFENDY, M.G.; LE, T.M. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. Composites Part A: **Applied Science and Manufacturing**, vol. 83, pp. 98-112. 2016.

SALES, A. T. C. **Retração, fluência e fratura em compósitos cimentícios reforçados com polpa de bambu.** 273 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

SÁNCHEZ-ECHEVERRI, L. A.; AITA, G.; ROBERT, D.; RODRIGUEZ GARCIA, M. E. Correlación entre composición química y respuesta mecánica para dos edades de culmos de bambú *Guadua angustifolia* Kunth. **Madera y bosques**, v. 20, n. 2, p. 87-94, 2014.

SOUNTHARARAJAN, V., M.; JAIN, A.; SINGH, A.,K.; SIVAKUMAR, A. Evaluation of composite polypropylene fibre reinforced concrete. **International Journal of Engineering and Technology**, v. 5, n. 2, p. 1817-1828, 2013.

SWAMY, R. N. **FRC for sustainable infrastructure regeneration and rehabilitation.** Fibre-Reinforced Concretes (FRC), BEFB/RILEM. p.5-17. 2000.

TAJ, S.; MUNAWAR, M.; KHAN S. Natural fiber-reinforced polymer composites. **Proceedings-Pakistan Academy of Sciences**, v. 44, n. 2, p. 129, 2007.

WAHYUNI, A. S.; SUPRIANI, F.; GUNAWAN. A. The performance of concrete with rice husk ash, sea shell ash and bamboo fibre addition. **Procedia Engineering**, v. 95, p. 473-478, 2014.

ZHOU, F. C. Studies on physical and mechanical properties of bamboo woods. **Journal of Nanjing Technology College of Forest Products**, v. 2, p.1-32. 1981.