ESTUDO DA VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE FIBRAS DE COCO EM ARGAMASSAS

Raylane de Souza Castoldi [(1)]; Sayonara Maria Moraes Pinheiro [(2)]

(1) UFES – raylanecastoldi@gmail.com; (2) UFES – sayonara.pinheiro@gmail.com

RESUMO

A construção civil é um dos setores responsáveis por grande consumo de recursos naturais e elevada geração de resíduo. Um dos grandes desafios é a implementação de ações direcionadas para o desenvolvimento sustentável do setor, com foco na redução da utilização de matérias-primas não renováveis e no reaproveitamento de resíduos. O presente estudo visa à avaliação da viabilidade do aproveitamento do resíduo agroindustrial fibra de coco verde, para uso como reforço discreto em argamassas de cimento Portland. Esse resíduo apresenta alta disponibilidade e é disponível a baixo custo. Entretanto, muitas vezes esse material não tem um destino adequado, tornando-se um problema ambiental. Portanto, o estudo teve como foco o entendimento do processo de geração e caracterização do resíduo, seguido do desenvolvimento do processo de obtenção das fibras a partir do coco verde e, por fim, a produção e avaliação do produto final. Foram produzidas argamassas reforçadas com fibras de 25 mm de comprimento, com dosagens de 0,3, 0,6 e 1% em volume. A viabilidade técnica foi avaliada por ensaios no estado fresco (ensaio de consistência) e endurecido, pela avaliação mecânica a partir de ensaios de compressão e flexão. Os resultados apontam para a possibilidade do uso de fibras de coco como reforço em argamassa na construção civil.

Palavras-chave: fibra de coco, resíduo agroindustrial, argamassa.

FEASIBILITY STUDY ON THE APPLICATION OF COCONUT FIBERS IN MORTARS

ABSTRACT

Civil construction is one of the sectors responsible for high consumption of materials from natural resources and high generation of waste. One of the major challenges is the implementation of actions focused on the sustainable development of the sector, by reducing the use of non-renewable materials and the reuse of waste. The present study aims to evaluate the viability of the use of the agroindustrial residue coconut fiber as discrete reinforcement in Portland cement mortars. This residue is highly available and has a low cost. However, this material usually does not have an adequate destination, becoming an environmental problem. Therefore, the study focused on the understanding of the generation process and characterization of the residue, followed by the development of the process of obtaining the fibers from the green coconut and, finally, the production and evaluation of the final product. The mortars were reinforced with fibers with 25 mm long and were used at dosages of 0.3, 0.6 and 1% by volume in the mortars. The technical feasibility was evaluated by tests in the fresh state (consistency test) and hardened, by mechanical evaluation from compression and bending tests. The results show that the use of coconut fibers as reinforcement in mortars is technically possible.

Key-words: coconut fiber, agroindustrial residue, mortar.

1. INTRODUÇÃO

As atividades da construção civil são relevantes, tanto social quanto economicamente, e abrange toda a sua cadeia produtiva. Dentro do panorama geral da economia brasileira, o setor da construção civil representou 5,1% do Produto Interno Bruto (PIB) em 2018 [1]. Em 2016, o setor possuía cerca de 8 milhões de trabalhadores, representando 8% de toda a população empregada do país, evidenciando sua importância dentro do âmbito social [1]. Por outro lado, a construção civil é responsável por uma grande parcela do total de consumo de recursos naturais e apresenta uma elevada quantidade de geração de resíduos [2]. Portanto, um dos grandes desafios atuais do setor é a implementação de ações efetivas direcionadas para a redução do impacto ambiental e o seu desenvolvimento sustentável.

O desenvolvimento sustentável é fundamentado no atendimento às necessidades de recursos naturais das presentes gerações, sem comprometer a capacidade de atendimento às necessidades das gerações futuras [3]. Sendo assim, o setor construtivo pode contribuir com esse desenvolvimento, principalmente no que concerne ao aproveitamento de resíduos, transformando-os em subprodutos. Portanto, é importante o incentivo a novas soluções tecnológicas com dupla finalidade: a redução da utilização de matérias-primas não renováveis e o reaproveitamento de resíduos. Cabe aos pesquisadores a responsabilidade de encontrar soluções econômica e tecnologicamente viáveis para a transformação dos resíduos em produtos aplicáveis na construção civil, reduzindo seu impacto ambiental.

Segundo John e Ângulo (2003) [4], o desenvolvimento metodológico para o estudo do uso e da reciclagem de resíduos na construção civil deve ser constituído de cinco etapas: entendimento do processo de geração do resíduo; caracterização do resíduo; seleção de usos potenciais para os resíduos; desenvolvimento e avaliação do produto, quanto aos aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais. Neste sentido, muitas vezes é necessário um esforço multidisciplinar entre as grandes áreas do conhecimento para viabilizar a utilização do resíduo [3].

Atualmente, a utilização de fibras naturais em elementos construtivos desponta como material de reforço a ser utilizado em compósitos cimentícios destinados à produção de componentes para a construção civil [3,5]. As fibras naturais, em geral, são resíduos de atividades agroindustriais, existem em larga escala e apresentam diversas vantagens, como o fato de serem renováveis, biodegradáveis e disponíveis a baixo custo [6]. No Brasil, há disponibilidade de uma diversidade

muito grande de fibras, entre elas, desponta a fibra de coco. Durante as atividades de comercialização do coco – polpa e água, uma grande quantidade de resíduos, formado por casca e fibra, é gerada, fazendo-se necessário um estudo aprimorado para uma destinação mais nobre a esse resíduo [3,7,8].

Estudos iniciais relacionados à adição de fibras de coco em matrizes cimentícias, inclusive argamassas e concretos [9,10], relatam melhora no comportamento mecânico, aumentando a resistência à tração; redução da formação das fissuras, contribuindo para o aumento da sua durabilidade [6], bem como contribuição no controle de abertura e propagação de fissuras e aumento da ductilidade, permitindo maiores deformações antes da ruptura.

Entretanto, existem algumas questões que, ainda, precisam ser melhor compreendidas, como a influência do teor de fibras e do tamanho das fibras que otimizam a mistura. Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo analisar a viabilidade técnica da utilização de fibras naturais de coco em argamassas de cimento Portland, por meio da avaliação de suas propriedades físicas e mecânicas para 3 (três) diferentes teores de fibra.

2. FIBRA DE COCO

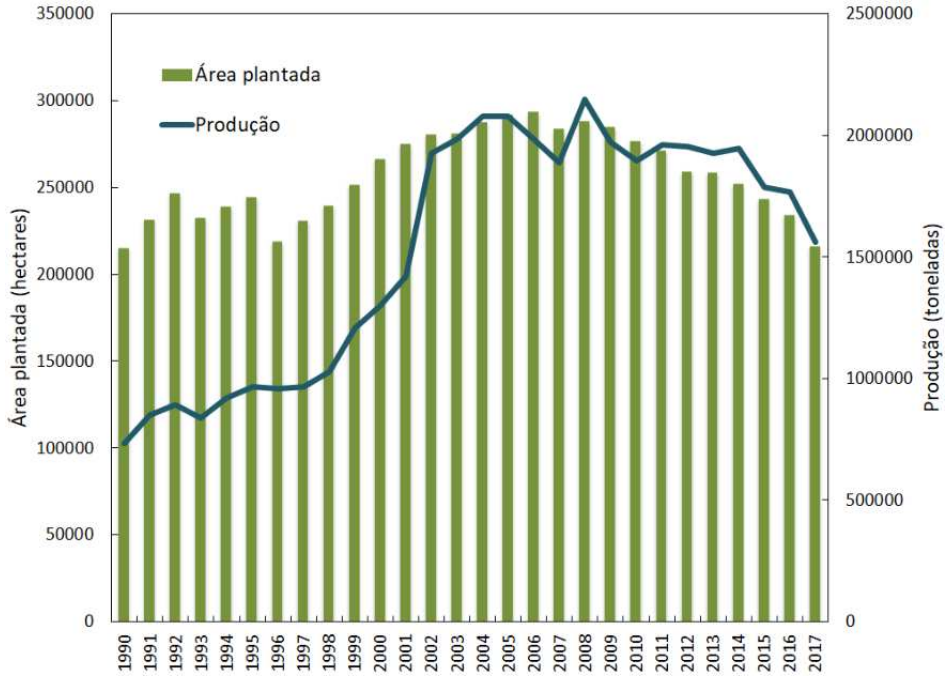
2.1. Processo de geração do resíduo

O coqueiro é uma cultura tropical, largamente distribuída na Ásia, África, América Latina e região do Pacífico. É cultivado em aproximadamente 90 países [11]. A introdução do coqueiro no Brasil e sua adaptação aos solos arenosos do litoral brasileiro permitiu o surgimento de uma classe agrícola de grande produção e com grande importância social. Há indícios de que o coqueiro foi introduzido no Brasil em meados do século XVI através do estado da Bahia e disseminou-se, inicialmente, por todo o litoral nordestino [12]. Posteriormente, acabou se adaptando em outras regiões do Brasil e, o que se constata nos dias atuais, é o cultivo em quase todas as unidades da federação brasileira.

De acordo com o IBGE [1], a produção de coco no Brasil alcançou um total de aproximadamente 1.561.961 toneladas de frutos na safra de 2017 (Figura 1). Apesar da redução na produção, quando comparada a anos anteriores, o total de frutos produzidos ainda representa um grande volume da produção agrícola brasileira. Além disso, sabe-se que o estado do Espírito Santo se enquadra como o 6º maior produtor do Brasil, responsável pela produção de 118.476 toneladas de frutos no ano de 2017[1]. Entretanto, a finalidade principal da produção no Brasil é para o consumo da água do coco,

colocando o país diante de um sério problema ambiental: a disposição final dos resíduos gerados neste processo.

Figura 1 – Área plantada e produção de coco no Brasil de 1990 a 2017 (1).



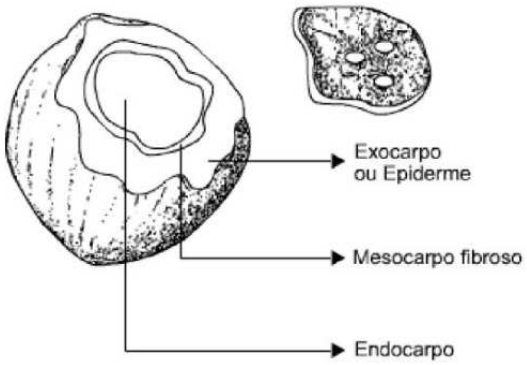
O grande consumo da água do coco, principalmente nas cidades litorâneas, é responsável pela geração de cerca de 6,7 milhões de toneladas de casca/ano (7), transformando-se em um sério problema ambiental. De acordo com Senhoras (2003) (14), cerca de 70% do lixo gerado no litoral de grandes cidades brasileiras é composto por cascas de coco verde. Segundo Silva et al. (2015) (3), aproximadamente 65% do lixo proveniente do consumo da água de coco é encaminhado para lixões ou aterros controlados que, do ponto de vista ambiental, pouco se diferenciam dos lixões convencionais (5). Essas cascas também se tornam foco de proliferação de doenças, além de diminuir a vida útil de aterros sanitários, pois constitui material de difícil degradação, necessitando de cerca de 8 a 12 anos para se decompor (8). Portanto, o Brasil tem uma grande responsabilidade no que diz respeito à destinação adequada através do reaproveitamento em detrimento da simples deposição em aterros.

2.2. Caracterização do resíduo

O coco é um fruto constituído por quatro partes principais (Figura 2): a epiderme, que consiste em uma camada externa fina e lisa que forma a sua casca; mesocarpo, camada intermediária fibrosa de onde obtém-se a fibra; o endocarpo, uma camada lenhosa e dura; e a castanha (albúmem sólido),

que é a parte do fruto de maior valor comercial, além da água do coco. O fruto chega a alcançar o peso médio de 3 a 4 kg e a quantidade de água diminui à medida que o fruto amadurece [8]. A fibra do coco é extraída do mesocarpo. As fibras podem ser extraídas simplesmente embebendo a casca em água para decompor o material macio que envolve as fibras. Alternativamente, um processo mecânico pode ser usado para separar as fibras.

Figura 2 – O coco e suas partes [15].



Em geral, a fibra de coco apresenta 350 mm de comprimento, 0,12 – 0,25 mm de diâmetro e densidade de 1250 kg/m³. Quanto a sua composição, essas fibras são formadas basicamente por celulose, hemicelulose, lignina, pectina e minerais. A celulose é o principal constituinte estruturante, responsável pela estabilidade e resistência da fibra. A hemicelulose, por sua vez, funciona como um material ligante entre a celulose e a lignina [8]. Este tipo de fibra tem uma das maiores quantidades de lignina, o que a torna mais flexível do que a maioria dos outros tipos de fibras naturais [16]. O alto teor de lignina também permite que a degradação da fibra de coco ocorra muito mais lentamente do que outras fibras naturais [17].

Figura 3 – Aspecto superficial da fibra de coco obtida por MEV[20].

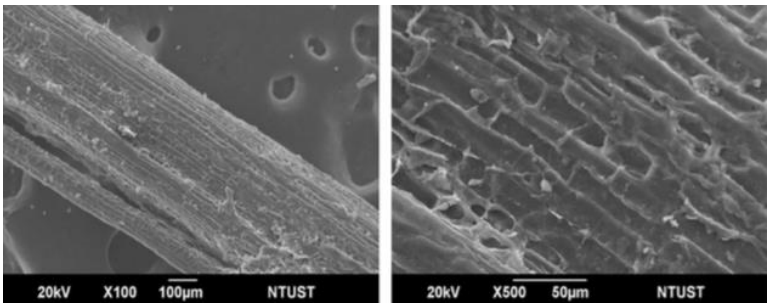
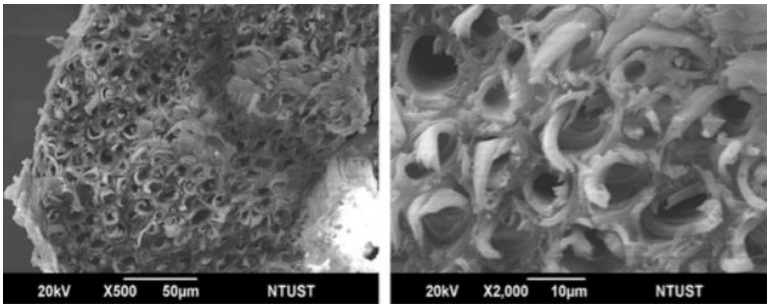


Figura 4 – Seção transversal da fibra de coco obtida por MEV[20].



As Figuras 3 e 4 mostram as características microestruturais das fibras de coco obtidas pela técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Estas micrografias evidenciam a superfície rugosa e a estrutura porosa da fibra de coco. A rugosidade superficial da fibra de coco ajuda na adesão da fibra na matriz cimentícia, resultando em melhor resistência mecânica do compósito [18]. Em relação às propriedades mecânicas da fibra de coco, de acordo com Ramli et al. (2013) [19], as fibras possuem resistência à tração de aproximadamente 175 MPa e módulo de elasticidade que chega a 22,4 GPa.

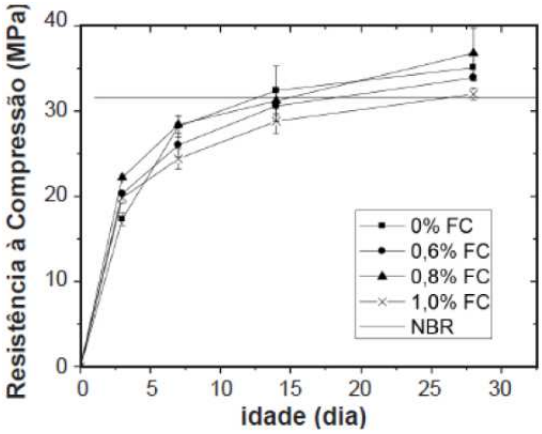
2.3. Usos potenciais e novos produtos

No contexto atual, recicla-se uma pequena parcela da casca do coco que é descartada, principalmente focada na utilização das fibras. Essas fibras são utilizadas para fabricação de tapetes e capachos, fabricação de cordas, utilização na produção de vassouras, como enchimento de almofadas, na fabricação de madeira prensada, dentre outras aplicações [8]. Na construção civil, as principais linhas de pesquisa estão focadas no estudo da inclusão de fibras de coco dispersas na matriz cimentícia, para a produção de compósitos de aplicação não estrutural. Argamassas reforçadas com fibras de coco podem ser utilizadas como uma alternativa de material de construção mais sustentável, sendo aplicadas na fabricação de placas de argamassa e painéis de vedação vertical. Além disso, o custo reduzido possibilita a aplicação em habitações de interesse social [21].

Savastano e Pimentel (2000) [22] indicam que as fibras de coco aumentam a capacidade de absorção de energia do compósito, em detrimento do colapso instantâneo observado para matrizes cimentícias sem reforço. Em relação ao módulo de elasticidade, há um ganho de desempenho devido à melhor deformabilidade decorrente da presença das fibras na matriz [22]. Bonato et al. (2014) [23] apresentaram resultados de ensaios de compressão realizados em corpos de prova de

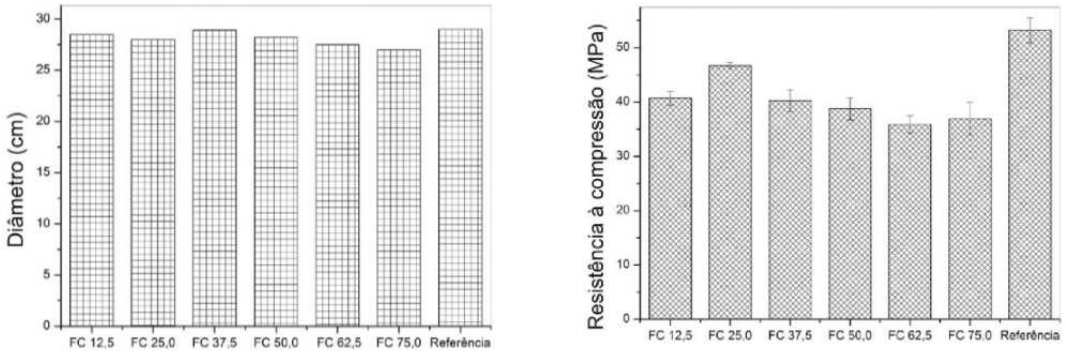
concreto reforçados com 0,6, 0,8 e 1% de fibras de coco (Figura 5). De acordo com o autor, houve melhoria de desempenho quanto à compressão axial para as argamassas reforçadas com 0,8% de fibras de coco, possibilitando redução de até 5% do total de cimento sem decréscimo na resistência à compressão.

Figura 5 – Resultados de ensaios de compressão realizados em concretos reforçados com 0, 0,6, 0,8 e 1% de fibra de coco[23].



Apesar da melhoria no comportamento mecânico, a presença das fibras de coco pode ser limitada pela redução da consistência da matriz cimentícia. No trabalho de Silva et al. (2014) [9], foi observado que a presença de 0,3% de adição de fibra de coco em uma argamassa de referência, considerando comprimentos de 12,5, 25, 37,5, 50, 62,5 e 75 mm, resultou em redução na consistência da argamassa (Figura 6.a). Para comprimentos de fibras maiores, essa redução ficou ainda mais evidente. Além disso, após realização de ensaios de compressão aos 28 dias, concluiu-se que o uso das fibras de comprimentos maiores que 50 mm resultaram em maiores decréscimos no comportamento mecânico (Figura 6.b). O comprimento de 25 mm foi considerado como sendo o comprimento crítico da fibra de coco para as argamassas estudadas. Essa redução na resistência é atribuída à alta taxa de absorção dessas fibras, o que resulta em uma zona de transição porosa na região do entorno da fibra. Entretanto, de maneira geral a presença de fibras resultou em uma maior ductilidade do material após a fissuração, mantendo as faces rompidas dos corpos de prova unidas, mesmo após atingida a carga máxima.

Figura 6 – Resultados dos (a) ensaios de consistência e (b) ensaios de compressão axial aos 28 dias em argamassas reforçadas com 0,3% de fibra de coco com diferentes comprimentos[9].



(a) (b)

Ainda referente à influência das fibras de coco na resistência à compressão, Silva et al. (2012) [10] apresentaram resultados de resistência à compressão 7,1% maiores para a argamassa reforçada com fibras de coco de 25 mm de comprimento (dosagem de 2 kg/m³), em relação a argamassa de referência sem fibra. Escariz (2008) [24] demonstrou ser importante o traço de argamassa para se alcançar eficácia na utilização das fibras de coco. De acordo com a autora, a partir dos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão, foi possível concluir que, para misturas com matriz de argamassa de traço 1:1, a adição de fibras reduziu a resistência à compressão. Já para o compósito com matriz de traço 1:2, a adição de fibras trouxe aumento na resistência à compressão.

A determinação da resistência à tração na flexão é uma avaliação importante na investigação do uso de fibras, pois é possível avaliar a evidente influência na melhoria da tenacidade e na absorção de esforços de tração da matriz. De acordo com Soares et al. (2012) [21], a presença de 0,25% em volume de fibras de coco com 4 cm de comprimento em uma argamassa resultou em acréscimo de aproximadamente 20% na resistência à tração na flexão em relação a uma argamassa sem reforço. Além disso, foi observado ganho de desempenho da argamassa, em termos de ductilidade e capacidade de resistência após a fissuração dos corpos de prova.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

O cimento Portland utilizado para a produção das argamassas foi o CP V ARI, devido a sua maior velocidade de hidratação e menor teor de adições minerais que poderiam influenciar no

desempenho da fibra de coco. Foram utilizadas quatro frações de areia normalizada, que atendem as prescrições da ABNT NBR 7214: 2015 [25] areia de fração grossa, média grossa, média fina e fina, correspondendo às peneiras de abertura nominal 1,2, 0,6, 0,3, e 0,15 milímetros (números 16, 30, 50 e 100).

Em relação à obtenção das fibras de coco, o processo de extração foi realizado diretamente no coco (Figura 7). O processo inicial consistiu em manter o coco verde sob incidência solar por 3 dias para redução da umidade presente. A seguir, foi realizada a separação do mesocarpo do coco verde por um processo mecânico, com auxílio do martelo para facilitar a desfibrilação. Após separação das fibras, foi realizado um ciclo de imersão em água em temperatura ambiente e secagem ao ar livre – 1 dia de imersão e 2 dias de secagem, para eliminação das impurezas [26]. O procedimento final consistiu no corte manual das fibras com o comprimento pré-determinado de 25 mm, conforme resultados sugeridos no estudo de Silva et al. (2014) [9].

Figura 7 – Processo de extração das fibras de coco: (a) aspecto inicial antes do procedimento; (b) processo mecânico para separação do mesocarpo; (c) aspecto final das fibras com 25 mm de comprimento.



(a) (b) (c)

3.2. Dosagem e mistura

A dosagem escolhida para avaliação da influência da presença de fibras teve como base o traço recomendado pela ABNT NBR 7215: 1996[27] para determinação da resistência à compressão de cimento Portland. A única adaptação foi a relação água/cimento, que teve de ser maior devido à tendência de redução da trabalhabilidade pela absorção de água pelas fibras, sendo selecionada a relação água/cimento de 0,5. Foram adotadas, para este estudo três dosagens de fibras diferentes:

0,3%, 0,6% e 1% em relação ao volume de argamassa. As quantidades de material utilizadas para cada traço são descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Dosagem da argamassa.

Materiais	Referência	FC0,3	FC0,6	FC1,0
Cimento (g/cm³)	0,53	0,53	0,53	0,53
Areia grossa (g/cm³)	0,40	0,40	0,40	0,40
Areia média grossa (g/cm³)	0,40	0,40	0,40	0,40
Areia média fina (g/cm³)	0,40	0,40	0,40	0,40
Areia fina (g/cm³)	0,40	0,40	0,40	0,40
Água (g/cm³)	0,26	0,26	0,26	0,26
Fibra de coco (%)	-	0,30	0,60	1,00

Para mistura da argamassa, foi utilizada uma argamassadeira de bancada com capacidade de 5 litros. O procedimento de mistura dos insumos seguiu a sequência: i) mistura do cimento com a água por 30 segundos em velocidade baixa; ii) inserção de todas as frações de areia e mistura por mais 30 segundos em velocidade baixa; iii) adição das fibras já previamente saturadas com parte da água do traço, seguido de mistura por mais 30 segundos em velocidade alta. Vale ressaltar que a mistura das fibras já umedecidas garantem uma dispersão mais eficiente na argamassa.

3.3. Procedimento experimental

As argamassas especificadas foram avaliadas em relação a sua consistência e desempenho mecânico. A avaliação da consistência de argamassas reforçadas com fibras naturais é de grande importância, pois, em geral, a trabalhabilidade da mistura pode ser significantemente prejudicada com a adição de fibras. Deve-se garantir que a matriz tenha consistência adequada para que a aderência e a transferência de cargas entre a mesma e a fibra sejam garantidas, independente da dosagem de fibra utilizada.

Em relação à consistência no estado fresco, foram obtidos os índices de consistência para cada mistura de acordo com recomendações do anexo B da norma ABNT NBR 7215: 1996[27]. Dessa forma, após cada mistura realizou-se o abatimento na mesa de consistência de tal forma que, após a retirada do molde tronco-cônico, foram executadas 30 quedas da mesa em 30 segundos, provocando o abatimento do tronco de cone da argamassa. O índice de consistência, por sua vez, correspondeu ao valor do diâmetro médio obtido a partir de dois diâmetros ortogonais medidos com paquímetro. A Figura 8 apresenta a mesa e o molde utilizados para realização da avaliação de consistência.

Figura 8 – Mesa e molde metálico utilizado para obtenção do índice de consistência das argamassas.



Após os testes de consistência, corpos de prova prismáticos de dimensões de 4 x 4 x 16 cm foram moldados para avaliação mecânica. Para cada dosagem especificada, 6 corpos de prova foram moldadas da mesma mistura, resultando em um total de 24 corpos de prova. O preenchimento das formas seguiu sempre o mesmo padrão: preenchimento até a metade do molde, seguido de 25 golpes, e então preenchimento total seguido de mais 25 golpes e realização do acabamento da superfície com espátula. A Figura 9 apresenta a configuração final após moldagem dos corpos de prova em formas metálicas. Após a moldagem, os corpos de prova foram cobertos por filme plástico e desmoldados após 72 horas. O procedimento final de cura consistiu na imersão em água saturada de cal até o momento do ensaio, após 10 dias.

Figura 9 – Resultado final de corpos de prova de argamassa reforçados com fibras de coco moldados em formas metálicas prismáticas.



A avaliação mecânica consistiu na execução de ensaios de flexão para determinação da resistência à tração na flexão, conforme recomendado pela norma ABNT NBR 13279: 2005[28]. Para a determinação da resistência à tração na flexão, o corpo de prova era posicionado no dispositivo de apoio e posteriormente era aplicada a carga até a ruptura na Prensa Universal Amsler de capacidade de carga de 50 toneladas do Laboratório de Ensaios em Materiais de Construção – LEMAC da Universidade Federal do Espírito Santo (Figura 10.a). A resistência à tração na flexão é obtida segundo Equação A, sendo R_f a resistência à tração na flexão em MPa, F_f a carga aplicada no centro do vão em Newtons e L o vão entre os apoios, em milímetros.

$$R_f = \frac{1{,}5F_fL}{40^3} \quad \text{(A)}$$

Posteriormente, para a determinação da resistência à compressão foram utilizadas as metades dos corpos de prova do ensaio de flexão (Figura 10.b) sob carregamento até a ruptura na Prensa Universal Amsler de capacidade de carga de 50 toneladas do Laboratório de Ensaios em Materiais de Construção – LEMAC da Universidade Federal do Espírito Santo. A resistência à compressão é obtida pela Equação B, onde R_c representa a resistência à compressão em MPa e F_c a carga máxima aplicada em Newtons e A a área da seção transversal na qual a carga foi aplicada.

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad \text{(B)}$$

A resistência média será calculada considerando seis corpos de prova ensaiados à tração na flexão e doze corpos de prova ensaiados à compressão.

Figura 10 – Arranjo dos ensaios de (a) flexão em três pontos e (b) compressão nas argamassas.



(a)



(b)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir do ensaio de consistência para as misturas estão apresentados na Tabela 2. Observa-se que a argamassa de referência (sem fibras) apresentou maior fluidez quando comparada às argamassas com fibra. Isso é explicado devido ao fato de que as fibras podem dificultar a mobilidade das partículas, reduzindo a fluidez do material [6]. Além disso, fibras naturais apresentam uma grande absorção de água, o que também pode ser prejudicial à consistência da argamassa [29].

Tabela 2 – Obtenção do índice de consistência das argamassas.

Dosagem	Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Índice de consistência (mm)
Referência	211,5	208,0	209,8
FC0,3	204,5	204,0	204,3
FC0,6	182,0	182,0	182,0
FC1,0	154,0	163,0	158,5

A presença de 0,3% de fibras resultou em redução de 2,6% do índice de consistência em relação à argamassa de referência, enquanto as dosagens de 0,6% e 1% resultaram em redução de 13,2% e 24,4%, respectivamente. Apesar disso, em nenhum dos casos foram observados problemas relacionados com a segregação dos materiais do traço ou exsudação de água. O resultado final do espalhamento das argamassas está apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Resultado final do ensaio de consistência para a argamassa (a) referência e reforçada com (b) 0,3%, (c) 0,6% e (d) 1,0% de fibra de coco.



(a) (b) (c) (d)

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios de flexão e compressão. Observa-se que o aumento do teor de fibras influenciou positivamente nos valores de resistência para os corpos de prova. Quanto maior a dosagem, maior a resistência à tração na flexão e à compressão das argamassas. Apesar da redução do índice de consistência da mistura com maiores teores de fibra,

a capacidade resistente da argamassa não foi prejudicada. Isso se deve ao cuidado atribuído ao processo de moldagem e compactação, no qual reduziu o possívelaumento de defeitos devido à dificuldade da moldagem com maiores dosagens de fibras. Além disso, considerando o desvio-padrão, quase não há diferença entre os resultados obtidos de resistência mecânica, considerando a tração na flexão e compressão, evidenciando novamente a eficiência na moldagem dos corpos de prova, mesmo com menores índices de consistência.

Tabela 3 – Resistência à tração na flexão e resistência à compressão das argamassas.

Dosagem	Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)
Referência	5,82 ± 0,12	32,93 ± 1,93
FC0,3	6,36 ± 0,75	33,35 ± 1,48
FC0,6	7,93 ± 0,43	36,24 ± 3,52
FC1,0	8,12 ± 0,76	37,43 ± 7,44

Em relação ao comportamento observado após a ruptura do corpo de prova verifica-se a ductilidade do compósito pós-fissuração. As fibras mantiveram unidas as faces dos corpos de prova rompidos (Figura 12), evitando sua ruptura brusca, evidenciando a maior capacidade de deformação que a fibra promoveu na argamassa. Isso ocorre devido a ponte de transferência de tensões criada pelas fibras na região da fissura, o que resulta em absorção de carga mesmo após a fissuração da matriz. O mesmo comportamento foi observado por diversos autores [9,10]. Assim como o esperado, esse comportamento não foi observado para a argamassa sem reforço, visto que matrizes cimentícias têm como principal característica uma ruptura do tipo frágil.

Figura 12 – Corpos de prova rompidos após ensaio de (a) flexão e (b) compressão nas argamassas reforçadas com fibras de coco.



(a) (b)

5. CONCLUSÕES

As principais conclusões que envolvem a avaliação da viabilidade da utilização da fibra de coco para fins de reforço em argamassas cimentícias, incluem:

I. A presença de fibras de coco diminuiu a consistência da argamassa, tornando-a menos fluida. Entretanto, a sua mistura e moldagem não foram inviabilizadas, mesmo com dosagens relativamente altas;

II. Para as dosagens avaliadas, o teor de fibras influenciou na capacidade de carga da argamassa quando submetida a carregamentos de tração na flexão e compressão. Quanto maior o teor de fibras, maiores os valores de resistência em ambos os casos;

III. O reforço da argamassa com fibras de coco resultou em capacidade de deformação dos corpos de prova mesmo após o aparecimento da primeira fissura, evidenciando uma ruptura menos frágil.

Conclui-se, portanto, que esses resultados apontam para a possibilidade técnica do uso de fibras de coco em argamassa na construção civil. Entretanto, visando sua aplicação, é necessário estudo a respeito da durabilidade dessas fibras, visto que estão susceptíveis à degradação alcalina. Uma possível solução seria a utilização de matrizes com menor alcalinidade, com adição de pozolanas, assim como recomendado anteriormente por alguns autores [30,31].

6. REFERÊNCIAS

1. IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - LSPA. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2018.
2. SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL - SÃO PAULO (SINDUSCON - SP). Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil - Avanços Institucionais e melhorias técnicas. Agosto, 2015.
3. SILVA, E.; MARQUES, M.; JUNIOR, C.; VELASCO, F. Análise técnica para o reaproveitamento da fibra de coco na construção civil Technical. **Ambiência Guarapuava**, v. 11, n. 3, p. 669–683, 2015.
4. JOHN, V.; ÂNGULO, S. Metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos. **Coletânea Habitare**, v. 4, p. 8–71, 2003.
5. NAKATA, R.; LIMA, J. Potencial da aplicação de fibras de coco em matriz à base de Cimento Portland. **Anais da Mostra e Pesquisa em Ciência e Tecnologia**, 2017.
6. BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre Reinforced Cementitious Composites**. 2 ed. Taylor & Francis, 2007.

7. BITENCOURT, D.; PEDROTTI, A. Usos da Casca de Coco: Estudo das Viabilidades de Implantação de Usina de Beneficiamento de Fibra de Coco em Sergipe. **Revista da Fapese**, v. 4, n. 2, p. 113–122, 2008.
8. CASTILHOS, L. Aproveitamento da fibra de coco. **Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas**. Instituto de Tecnologia do Paraná, 2011.
9. SILVA, E.; SILVA, P.; MARQUES, M.; JUNIOR, C.; GARCIA, F.; LUZARDO, F. Resistência à compressão de argamassas em função da adição de fibra de coco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 2005, p. 1268–1273, 2014.
10. SILVA, E.; MARQUES, M.; JUNIOR, C. F. Aplicação de fibra de coco em matrizes cimentícias. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p. 1555–1561, 2012.
11. BRAINER, M. Produção de coco: o nordeste é destaque nacional. **Caderno Setorial ETENE**, ano 3, nº 61, 2018.
12. SIQUEIRA, L. A.; ARAGÃO, W. M.; TUPINAMBÁ, E. A. Introdução do coqueiro no Brasil: Importância histórica e agronômica. **Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos 47**, v. 47, p. 24, 2002.
13. MARTINS, C. R.; JESUS, L. A. de. Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio internacional: Panorama 2014. **Comitê Local de Publicações da Embrapa Tabuleiros Costeiros**, v. 1, n. 1, p. 53, 2014.
14. SENHORAS, E. Estratégia de uma Agenda para a Cadeia Agroindustrial do Coco. Campinas, Ed. ESC, 2003.
15. SOUZA, E.; BRITO, R.; CAMPOS, N.; RAMOS, D. Aplicação da fibra de coco no processo de isolamento termo acústico. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 4, p. 233-245, 2015.
16. LERTWATTANARUK, P.; SUNTIJITTO, A. Properties of natural fiber cement materials containing coconut coir and oil palm fibers for residential building applications. **Construction and Building Materials**, v. 94, p. 664–669, 2015.
17. HEJAZI, S.; SHEIKHZADEH, M.; ABTAHI, S.; ZADHOUSH, A. A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers. **Construction and Building Materials**, v. 30, p. 100–116, 2012.
18. MONTEIRO, S.; TERRONES, L.; CARVALHO, E.; D'ALMEIDA, J. Efeito da interface fibra/matriz sobre a resistência de compósitos poliméricos reforçados com fibras de coco. **Revista Matéria**, v. 11, n. 4, p. 395–402, 2006.
19. RAMLI, M.; KWAN, W.; ABAS, N. Strength and durability of coconut-fiber-reinforced concrete in aggressive environments. **Construction and Building Materials**, v. 38, p. 554–566, 2013.
20. CLARAMUNT, J.; FERNÁNDEZ-CARRASCO, L.; VENTURA, H.; ARDANUY, M. Natural fiber nonwoven reinforced cement composites as sustainable materials for building envelopes. **Construction and Building Materials**, v. 115, p. 230–239, 2016.
21. SOARES, E.; CANGUSSÚ, C.; PARENTE, E.; GONÇALVES, P.; CABRAL, A. Determinação de propriedades mecânicas e físicas de argamassa forçada com fibras de coco e sisal. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, n. 1, p. 3965–

3971, 2012.

22. SAVASTANO, H.; PIMENTEL, L. Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 103–110, 2000.
23. BONATO, M.; BRAGANÇA, M.; PORTELLA, K.; VIEIRA, M.; BRONHOLO, J.; SANTOS, J.; CERQUEIRA, D. Argamassas fotocatalíticas e concretos com adição de fibras de coco e sisal para a redução de impactos ambientais de gases poluentes. **Cerâmica**, v. 60, p. 537–545, 2014.
24. ESCARIZ, R. **Desempenho à compressão de compósitos reforçados por fibras de coco**. Trabalho de conclusão de curso. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2008.
25. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7214**: Areia normal para ensaio de cimento. Rio de Janeiro, 2015.
26. BARBOSA, R.; SOUZA, G.; SILVA, V.; GONÇALVES, E. Extração de fibras de coco para aplicação em materiais de engenharia. **Educação e ciência para a cidadania global**, Vale do Paraíba, p. 1–6, 2018.
27. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.
28. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.
29. JOHNSTON, C. D. **Fiber-Reinforced Cements and Concretes**. 3 ed. Taylor & Francis, 2010.
30. TOLEDO FILHO, R.; SCRIVENER, K.; ENGLAND, G.; GHAVAMI, K. Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites. **Cement & Concrete Composites**, v. 22, p. 127-143, 2000.
31. CASTOLDI, R.; SOUZA, L.; SILVA, F. Comparative study on the mechanical behavior and durability of polypropylene and sisal fiber reinforced concretes. **Constructions and Building Materials**, v. 211, p. 617-628, 2019.