



INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO CONCRETO CONVENCIONAL COM ADIÇÃO DA FIBRA DE BAMBU E DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PELO METACAULIM

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF CONVENTIONAL CONCRETE WITH THE ADDITION OF BAMBOO FIBER AND THE PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT BY METAKAOLIN

Vander Alkmin dos Santos Ribeiro¹; Luciano Floriano Barbosa²; Adhimar Flávio Oliveira¹; Bruno Nannetti Dias Paiva²; Valquíria Claret dos Santos¹; João Lucas Pereira da Silva da Silva²

Artigo recebido em: 27/07/2022 e aceito para publicação em: 14/12/2022.

DOI: <http://doi.org/10.14295/holos.v22i2.12481>

Resumo: O trabalho presente tem como um objetivo geral a investigação das propriedades físicas e mecânicas do concreto convencional com substituição metacaulim e adição de fibra de bambu. O uso do bambu pela humanidade é feito desde os primórdios sendo utilizado em diversas ocasiões, desde uso alimentício até o uso de peças estruturais para construções de moradias, e sua adição no concreto convencional torna-se um grande atrativo para pesquisadores e engenheiros. Apesar dos estudos do implemento de metacaulim no concreto serem hodiernos, em relação ao implemento de outros materiais minerais, seu uso como material pozolânico antecede o uso de cimento, atualmente com o desenvolvimento da humanidade, as construções vêm crescendo a cada dia e com características de maior porte, assim, o consumo de cimento cresce rigorosamente e a produção de uma tonelada de cimento é gerada em torno de 0,8 toneladas de CO₂ na atmosfera. Nos últimos anos os houve um grande esforço na área de caracterização e desenvolvimento para oferecer materiais mais resistentes e duráveis no campo da engenharia, várias razões têm motivado a procura por materiais, de origem pozolânica, para a substituição parcial do cimento Portland na produção de concreto e o metacaulim representa uma solução economicamente viável para a substituição parcial ou total do cimento na confecção de concreto. Os materiais utilizados para confecção do concreto foram caracterizados para elaboração dos traços pelo método ABCP-ACI. Os corpos de prova foram confeccionados e ensaiados com substituição parcial de cimento por metacaulim e adição de bambu e os resultados mostraram uma queda significativa nas resistências mecânicas do concreto.

Palavras-chave: Concreto. Fibra de Bambu. Metacaulim. Resistência a compressão. Módulo de Elasticidade.

Abstract: The present work has as a general objective the investigation of the physical and mechanical properties of conventional concrete with metakaline substitution and addition of bamboo fiber. The use of bamboo by mankind is made since the beginnings being used on several occasions, from food use to the use of structural parts for housing constructions, and its addition in conventional concrete becomes a great attraction for researchers and engineers. Although the studies of the implementation of metholimine in concrete are today, in relation to the implementation of other mineral materials, its use as pozolanic material precedes the use of cement, currently with the development of humanity, the constructions have been growing every

¹Universidade Federal de Itajubá-UNIFEI, Brasil. E-mails: (vanderalkmin@gmail.com, adhimarflavio@unifei.edu.br, valquiria@unifei.edu.br)

²Centro Universitário de Itajubá-FEPI, Brasil. E-mails: (lucianofb@fepi.br, bruno_ndp@hotmail.com, ucasknow@hotmail.com)

day and with larger characteristics, thus, the consumption of cement grows rigorously and the production of one ton of cement is generated around 0.8 tons of CO₂ in the atmosphere. In recent years there has been a great effort in the area of characterization and development to offer more resistant and durable materials in the field of engineering, several reasons have motivated the demand for materials of pozzolanic origin for the partial replacement of Portland cement in concrete production and metemolim represents an economically viable solution for partial or total replacement of cement in concrete making. The materials used to make the concrete were characterized to elaborate the traces by the ABCP-ACI method. The specimens are made and tested with partial replacement of cement by metemolim and addition of bamboo and the results showed a significant decrease in the mechanical resistance of the concrete.

Keywords: Concrete. Bamboo Fiber. Metakaline. Compressive strength. Modulus of Elasticity.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de materiais de alta qualidade para a construção civil está aumentando a cada dia. Como consequência, engenheiros procuram diferentes tipos de materiais que podem ser usados na construção civil (ALVES; PEREIRA *et al.*, 2021). Atualmente há uma busca constante por materiais que possam ser usados na construção civil proveniente 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 (JAVADIAN; SMITH *et al.*, 2020). Segundo Javadian, Wielopolski, *et al.* (2016), é um recurso natural de crescimento rápido, acessível e disponível em muitos países em desenvolvimento, sendo potencialmente superior à madeira e ao aço para construção em sua relação peso/resistência.

A incorporação das fibras à mistura do concreto permite vantagens que se destacam, principalmente, por atribuir à material resistência à tração, melhoria da tenacidade, resistência à fadiga e por obter melhores resultados quanto à ductilidade.

Atualmente, pesquisas a respeito desse tema são muito desenvolvidas com o intuito de contribuir com a melhoria das características do concreto, bem como com a transformação do sistema convencional da construção (NOGUEIRA, 2021).

O bambu, um tipo de recurso natural renovável de rápido crescimento e alto rendimento, atraiu gradualmente a atenção dos engenheiros civis por ser um elemento de construção promissor na engenharia civil. Os compósitos à base de fibras de bambu têm grande potencial para serem utilizados na construção de estruturas. O bambu vem sendo utilizado pelo homem há séculos e em várias aplicações, inclusive na construção civil (CHEN *et al.*, 2022).

Atualmente, seu potencial é pouco explorado pela sociedade, mas estudos apontam grande viabilidade econômica e técnica. Dentre as diversas opções de materiais fibrosos, a fibra de bambu é uma das mais viáveis para realizar as adições convencionais.

Isto porque o bambu é leve e pode apresentar características notáveis para o concreto, sendo eles uma grande resistência mecânica, principalmente aos esforços de tração, baixo custo e a facilidade de aquisição na natureza. Outro ponto positivo é o fato de o bambu ser um material natural e renovável, ou seja, não degrada o meio ambiente, o que contribui diretamente com a sustentabilidade, um dos propósitos da engenharia atual. Na construção civil, o uso das fibras de bambu ainda é pequeno, porém, considerando os resultados obtidos ao longo dos anos e o progresso da tecnologia de processamento, tratamento e produção, a sua utilização atinge um potencial imenso (NOGUEIRA, 2021). No entanto, o uso de fibras em matrizes cimentícias promove menor densidade aparente e maior absorção de água através da criação de rede capilar e maior número de vazios ao nível da microestrutura.

Além disso, as fibras atuam como agentes de incorporação de ar no processo de mistura de compósitos (DAMIANY *et al.*, 2020).

O cimento é um material extremamente utilizado na fabricação de concreto, argamassa e pastas. Sua fabricação é altamente poluente e vem estimulando sua substituição parcial por materiais com propriedades pozolânicas. O metacaulim é material pozolânico constituído de silicato de alumínio ativando termalmente com alta atividade comparável ou excedendo as atividades da sílica ativa e não é um subproduto de processos industriais. Durante o processo de hidratação do cimento, a água reage com o cimento Portland e forma o silicato de cálcio hidratado (CSH). O subproduto dessa reação é o hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 que tem um fraco vínculo com o concreto, e, por isso, enfraquece o efeito do silicato de cálcio hidratado (CSH) (JOHN, 2013).

A substituição do metacaulim pelo cimento, um material pozolânico constituído de sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3) sendo capaz de reagir com o Ca(OH)_2 , hidróxido de cálcio, do cimento Portland, gerado do mesmo em sua hidratação. O metacaulim acelera o processo de hidratação do cimento Portland dando ao mesmo um adicional de silicato de cálcio hidratado (CSH), tornando o concreto mais forte e durável (JOHN, 2013). Apesar dos estudos do implemento de metacaulim no concreto serem hodiernos, seu uso como material pozolânico antecede o uso de cimento onde se utilizava como fonte determinante para a sua produção e calcinação de argila (SOUZA, 2003). O material pozolânico, metacaulim, tem a função de eliminar os vazios e melhorar a aderência entre as fibras de bambu e o

concreto, além de potencializar outras propriedades do concreto produzido, como, por exemplo aumentar a resistência do concreto. Os pesquisadores disseram seus resultados experimentais que o uso de metacaulim no concreto aumenta significativamente a resistência inicial (BALGOURINEJAD *et al.*, 2022). Demirel *et al.* (2019) explicaram que o uso da porcentagem de Metacaulim no concreto aumenta a resistência à compressão. À medida que a proporção de Metacaulim/Cimento aumenta, a resistência do concreto diminuiu. Em termos de resistência à compressão, foi determinado que a relação Metacaulim/Cimento é de cerca de 18%.

Ribeiro *et al.* (2021) confeccionou concreto com substituição de 2% e 5% de fibras de bambu pelo agregado miúdo em sua composição. Os concretos foram ensaiados quanto à resistência a compressão, módulo de elasticidade e resistência a tração por compressão diametral nas idades de 14 e 28 dias. Os resultados mostram que os valores da resistência à compressão axial não obteve uma alteração significativa com o aumento da concentração da fibra de bambu.

Paula e Nogueira (2021) investigaram três traços para o concreto sendo o primeiro a confecção do concreto convencional; o segundo a confecção do concreto com adição de 1% de fibra de bambu; e o terceiro a confecção do concreto com adição de 2% de fibra de bambu. Os corpos de prova foram submetidos a testes de compressão uniaxial e resistência à tração por compressão diametral nos dias 7, 14 e 28 dias da cura do concreto. Os resultados mostraram um aumento nos valores da resistência à tração do concreto com a substituição da fibra de bambu em relação ao concreto convencional, em todos os dias em que os testes foram realizados, entretanto, houve pouca diferença nos valores da resistência a compressão com 1% e 2% de fibra de bambu.

Kumarasamy *et al.* (2020) investigou os resultados nas variações na concentração de fibra de bambu no concreto com 0%, 0,5%; 1%, 1,5%; 2% e 2,5% por 7 dias, 14 dias e 28 dias. Quando comparado o concreto convencional com o concreto reforçado com fibra de bambu, a resistência à compressão do concreto reforçado com fibra de bambu a 0,5%, 1%, 1,5%, e 2% aumentou, mas reduziu para 2,5% em comparação com outras proporções de fibras.

Ferreira *et al.* (2019) investigou os resultados da resistência à compressão uniaxial aos 28 dias dos corpos-de-prova produzidos com a substituição parcial da areia pela fibra de bambu. As fibras de bambu e agregados foram caracterizados e avaliados de acordo com o material e definido pelo traço (1: 1,68: 2,68: 0,482), com percentuais de substituição parcial da areia pela fibra de bambu nas concentrações de 3%, 4% e 5%.

Portanto, através dos testes que foram realizados, a possibilidade de substituição verificou-se que o ligante de cimento Portland com fibras naturais de bambu, que se mostrou viável e bastante vantajoso não só no aspecto ambiental e econômico, mas também no material da resistência a compressão.

O presente trabalho tem como objetivo de investigar as propriedades mecânicas com a adição de fibra de bambu e da substituição parcial do cimento pelo metacaulim.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais

O cimento utilizado foi o CP-II-E-32 da fabricante CSN, embalado em saco de 50 kg e colocado no laboratório antecipadamente para regularização com a temperatura ambiente.

O bambu utilizado foi da espécie *Bambusa Tuldoides*, mais conhecido como taquara, encontrado na cidade de Conceição dos Ouros-Minas Gerais.

Para a moldagem dos corpos de prova foi utilizado o agregado miúdo proveniente da areia natural classificada como areia média e para o agregado graúdo utilizou-se a brita 1 com dimensão máxima característica de 19 mm, por ser uma granulometria utilizada nos canteiros de obras.

O metacaulim utilizado foi o metacaulim HP ultra fornecido gratuitamente pela empresa Metacaulim do Brasil. Material superfino cuja finalidade é melhorar as propriedades do concreto. Sua composição química conforme suas especificações está entre os valores limites da (ABNT, 2010).

2.2 Caracterização dos Materiais

A determinação da massa específica do agregado miúdo foi realizada segundo os procedimentos da norma NBR 16916: 2021 (ABNT, 2021), da massa unitária compactada do agregado graúdo foi realizada de acordo com os procedimentos descritos na norma NBR 16972: 2021 (ABNT, 2021), massa específica do cimento Portland e do metacaulim foram realizados segundo os procedimentos da norma NBR 16605: 2021 (ABNT, 2017) e do agregado graúdo segundo os procedimentos da NBR 16917: 2021 (ABNT, 2021). Para a determinação da composição granulométrica dos agregados (graúdo e miúdo) foi utilizado

a norma NM 248: 2003 (ABNT, 2003) e para a determinação da massa específica do bambu para a espécie *Bambusa Tuldoides*, os valores de massa específica em todas as alturas são crescentes das camadas internas para as externas dos colmos do bambu, obtendo variações de 0,43 a 0,76 g/cm³. Nisso, será adotado assim, uma massa específica de 0,76 g/cm³, pois este é o maior valor de variação.

Realizada a etapa de caracterização dos materiais quanto as características necessárias para o cálculo do traço, procedeu-se ao cálculo pelo método ABCP-ACI. Este método de dosagem experimental é baseado no método desenvolvido pela American Concrete Institute (ACI) e adaptado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), às condições brasileiras.

Após a caracterização dos agregados e do resíduo, primeiramente estipulou-se a resistência característica do concreto em $f_{ck} = 25$ MPa, e utilizou-se o desvio padrão de 4,0, obtendo-se assim, uma resistência de dosagem de $f_{cj} = 32$ MPa.

Utilizando-se a curva de Abrams, estabeleceu-se a relação água/cimento em 0,50; chegando assim ao consumo de materiais necessários para a produção de 1m³ de concreto sendo que a apresentação do traço ficou da seguinte forma: 1; 1,55; 2,38; 0,50, sendo respectivamente as proporções de cimento; areia; brita e fator água/cimento.

Sendo assim foi confeccionado 4 concretos com composições diferentes: O primeiro foi o concreto de referência, composto pelos elementos tradicionais do concreto que são cimento, brita, areia e água. O segundo concreto foi substituído uma porcentagem de 15% de cimento por metacaulim no concreto de referência.

O terceiro concreto foi adicionado 2% de bambu em relação ao volume de concreto e foi substituído uma porcentagem de 15% de cimento por metacaulim no concreto referência. O quarto concreto foi adicionado 5% de bambu em relação ao volume de concreto e foi substituído uma porcentagem de 15% de cimento por metacaulim no concreto referência.

Na produção do concreto foi utilizada uma betoneira de eixo inclinado com capacidade de 55 litros e a colocação dos materiais na betoneira seguiu a seguinte ordem: agregado graúdo, água, cimento, areia e fibra de bambu.

Durante a execução do concreto de referência, a água foi colocada aos poucos na betoneira e foram feitos alguns testes de slump até o momento em que atingiu o valor de (13 ± 10) cm, que se encontra no intervalo desejado. Esse valor foi obtido sem utilizar 1,85 litros da quantidade total de água calculada no traço.

Para a execução dos três concretos com composições diferentes (15%M, 2%B e

15%M, 5%B e 15%M) foi utilizado um aditivo plastificante com dosagem em torno de 600 ml para cada 100 kg de cimento para melhorar a trabalhabilidade da mistura. O aditivo foi colocado no balde junto com água e durante a confecção dos traços, o material pozolânico foi misturado previamente em um recipiente com o cimento até atingir uma mistura equilibrada e as fibras de bambu foram colocadas na betoneira juntamente com a areia.

De acordo com a norma NBR 5738: 2016 (ABNT, 2016), os corpos de prova foram moldados em moldes cilíndricos de diâmetro igual a 15 cm e altura de 30 cm. Após vinte e quatro horas foram desenformados e armazenados em câmara úmida para processo de cura por 14 e 28 dias.

Em seguida, os corpos de prova cilíndricos, foram capeados na base e no topo com mistura de enxofre.

Após a execução de cada mistura de concreto realizou-se o ensaio para a determinação da consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone (Slump test), conforme a NBR NM 67 (1998). Os valores da tolerância foram identificados segundo a (ABNT NBR 7212, 2021).

Para o ensaio de resistência a compressão foram moldados 5 corpos de prova para cada traço, utilizando os procedimentos da NBR 5739: 2018 (ABNT, 2018) que prescreve uma metodologia, na qual devem ser ensaiados à compressão os corpos de prova cilíndricos de concreto, moldados conforme a NBR 5738: 2016 (ABNT, 2016). O ensaio de resistência à compressão do concreto foi realizado para as idades de controle de 14 e 28 dias.

A determinação da massa específica dos concretos foi realizada segundo os procedimentos descritos na NBR 9778: 1987 (ABNT, 1987) e a da massa específica do cimento Portland e do metacaulim foram realizadas com 3 amostras cada de acordo a NM 23: 2000 da Asociación Mercosur de Normalización sendo que seus resultados são a média dos valores da massa específica, determinada pelas tolerâncias vigentes na norma.

Para o ensaio do modulo de elasticidade foram moldados 5 corpos de prova para cada traço, utilizando os procedimentos da NBR 6118: 2014 (ABNT, 2014) e NBR 8522: 2021(ABNT, 2021). O ensaio do módulo de elasticidade do concreto foi realizado para as idades de controle de 14 e 28 dias.

Para o ensaio da tração por compressão diametral foram moldados 5 corpos de prova para o traço, utilizando a aparelhagem definida pela NBR 5739 (ABNT, 2018) e pela NBR 7215: 2019 (ABNT, 2019). A moldagem dos corpos de prova é determinada pela NBR 5738:2016 (ABNT, 2016).

Segundo a NBR 7222 2011 (ABNT, 2011), neste ensaio são retirados resultados de resistência à tração de forma indireta, onde o ensaio consiste basicamente em colocar um corpo de prova na posição horizontal apoiada por duas chapas de madeira sobre o prato da máquina de compressão.

Deve-se aplicar a carga sem choques e de forma continuamente, com crescimento constante da tensão de tração, a uma velocidade de 0,05 MPa/s até a ruptura do corpo de prova. O ensaio da tração por compressão diametral foi realizado para as idades de controle de 14 e 28 dias.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os resultados do ensaio de massa específica do metacaulim e do cimento. A massa específica do metacaulim é a média das amostras 1 a 3, logo, a massa específica do metacaulim é de $(2,54 \pm 0,01)$ g/cm³ e a massa específica do cimento Portland é a média das amostras 1 a 3, logo, a massa específica do cimento é de $(3,12 \pm 0,02)$ g/cm³. A Tabela 2 mostra a dosagem do concreto com 1m³ de concreto.

Tabela 1- Resultados ensaio de massa específica do metacaulim e do cimento

Amostra	μ_m (g/cm ³)	μ_c (g/cm ³)
1	2,57	3,08
2	2,52	3,13
3	2,53	3,14

Fonte: Próprio Autor (2022).

Legenda: μ_m =massa específica metacaulim, μ_c = massa específica cimento

Tabela 2- Dosagem do concreto com 1m³ de concreto

		Cimento	Brita	Areia	Água	Metacaulim	Bambu
Referência	Quantidade (kg)	27,18	64,84	42,27	13,63	-	-
	Traço 1m ³ concreto (kg/m ³)	426	1013,88	660,30	213	-	-
15% M	Quantidade (kg)	23,90	64,84	42,27	13,63	3,28	-
	Traço 1m ³ concreto (kg/m ³)	426	1154,46	754,02	242,82	55,38	-
2% B e 15%M	Quantidade (kg)	23,90	64,84	42,27	13,63	3,28	0,955
	Traço 1m ³ concreto (kg/m ³)	426	1154,46	754,02	242,82	55,38	12,78
5% B e 15% M	Quantidade (kg)	23,90	64,84	42,27	13,63	3,28	2,387
	Traço 1m ³ concreto (kg/m ³)	426	1154,46	754,02	242,82	55,38	38,34

Fonte: Próprio Autor (2022).

A Tabela 3 e 4 mostram os valores da composição granulométrica do agregado miúdo e da fibra de bambu. Para o diâmetro máximo (DM), o valor encontrado para a areia e da fibra de bambu foram de 4,75 mm, sendo classificados como agregado miúdo, pois seu diâmetro está situado entre 0,075 mm e 4,8 mm. Os valores do módulo de finura (MF), para os agregados foram de 3,65 e 3,56; respectivamente para a areia e a fibra de bambu. O agregado miúdo é classificado como areia grossa, pois o módulo de finura está no intervalo de $3,30 \leq MF < 3,90$.

Observando a granulometria da amostra de areia em relação a fibra de bambu, pode-se observar que a fibra de bambu apresenta uma distribuição granulométrica similar ao da areia.

Tabela 3- Granulometria da areia

Peneira	Massa retida (g)	% Retido	% Retido Acumulado
4,75	3,54	0,71	0,71
2,38	23,35	4,65	5,36
1,19	76,45	15,23	20,59
0,59	195,97	39,04	59,63
0,297	122,12	24,33	83,96
0,149	59,95	11,94	95,90
0,074	14,82	2,95	98,85
Fundo	6,44	1,28	100,13
Massa Total (g)	502,64		
Diâmetro Máximo (mm)		4,75	
Módulo de Finura		3,65	
Massa específica (g/cm ³)		2,37	

Fonte: Próprio Autor (2022).

Tabela 4- Granulometria da Fibra de Bambu

Peneira	Massa Retida (g)	% retido	% retido acumulado
4,75	6,25	1,40	1,40
2,38	19,24	4,31	5,71
1,19	60,68	13,59	19,29
0,59	159,47	35,71	55,00
0,297	115,04	25,76	80,76
0,149	63,89	14,30	95,06
0,074	16,61	3,72	98,78
fundo	5,93	1,33	100,11
Massa Total (g)	441,18		
Diâmetro Máximo (mm)		4,75	
Módulo de Finura		3,56	
Massa específica (g/cm ³)		0,75	

Fonte: Próprio Autor (2022).

A Tabela 5 mostra os valores da composição granulométrica da Brita 1. Na Tabela 5 observou-se que o diâmetro das partículas está incluído na faixa de brita 1 com diâmetro máximo de 19,00 mm, pois está relacionado a grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura de malha quadrada, em mm, à qual corresponde uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5%. Os resultados demonstram que há uma maior quantidade, em porcentagem, ou seja, de massa retida de grãos de brita na peneira com abertura de 9,52 mm.

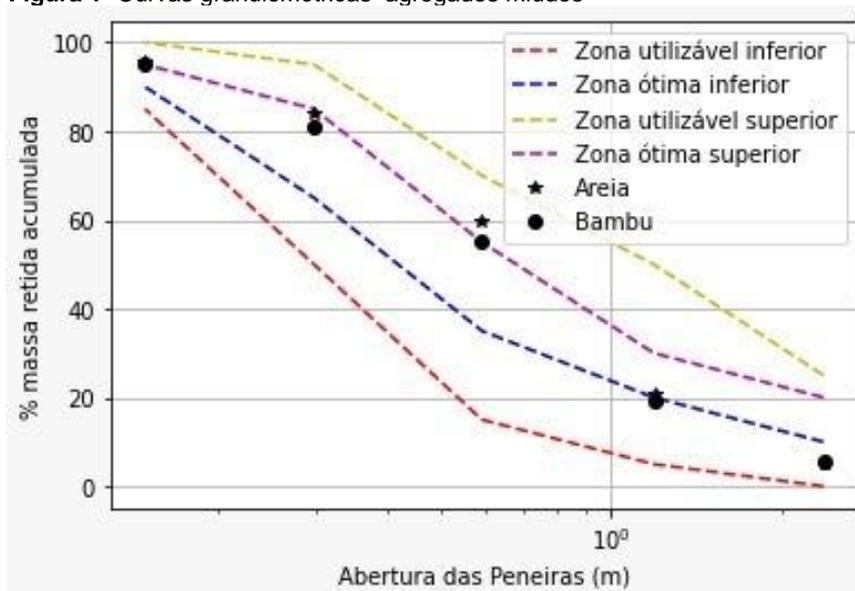
Tabela 5- Granulometria da Brita

Série normal	Série interm.	Massa Retida (kg)	% Retido	% Retido Acumulado
-	31,5	0,000	0,00	0,00
-	25,4	0,000	0,00	0,00
19	-	0,000	0,00	0,00
-	12,5	1,72	32,46	32,46
9,52	-	2,27	42,71	75,17
4,75	-	1,29	24,37	99,54
fundo	-	0,02	0,47	100,01
Massa Total (g)		5,30		
Diâmetro Máximo (mm)			19,00	
Módulo de Finura			2,07	
Massa específica (g/cm ³)			2,37	

Fonte: Próprio Autor (2022).

A Figura 1 mostra as curvas granulométricas da areia e da fibra de bambu. As curvas da distribuição granulométrica mostram que a areia é pertencente a faixa da zona utilizável superior, pois o módulo de finura está fora dos valores da faixa. Comparando os valores da areia com a fibra de bambu observa-se que satisfaz a condição de substituição parcial dela quanto ao critério do diâmetro dos grãos. Segundo a NBR 7211 (2009), versão corrigida 2019, através da faixa de valores do agregado miúdo, observou-se que o valor do módulo de finura da areia e da fibra de bambu é classificada como areia grossa, pois o MF > 3,2. Observando na Figura 1, a granulometria da amostra de areia em relação ao resíduo de pneu, pode-se observar que o resíduo de pneu apresenta uma distribuição granulométrica similar ao da areia.

Figura 1- Curvas granulométricas–agregados miúdos



Fonte: Próprio Autor (2022).

A Figura 2 mostra os valores encontrados para a resistência à compressão axial aos 14 e 28 dias para o concreto. Através dos resultados, observou-se que a resistência à compressão do concreto diminuiu de $(32,55 \pm 0,20)$ MPa na amostra referência para $(13,34 \pm 0,62)$ da amostra com 5% com fibra de bambu e 15% de metacaulim a 14 dias de cura do concreto.

A Figura 2 também mostra que a resistência a compressão do concreto também diminuiu de $(34,21 \pm 0,68)$ MPa na amostra referência para $(18,39 \pm 0,70)$ MPa para a amostra com 5% com fibra de bambu e 15% de metacaulim a 28 dias de cura do concreto.

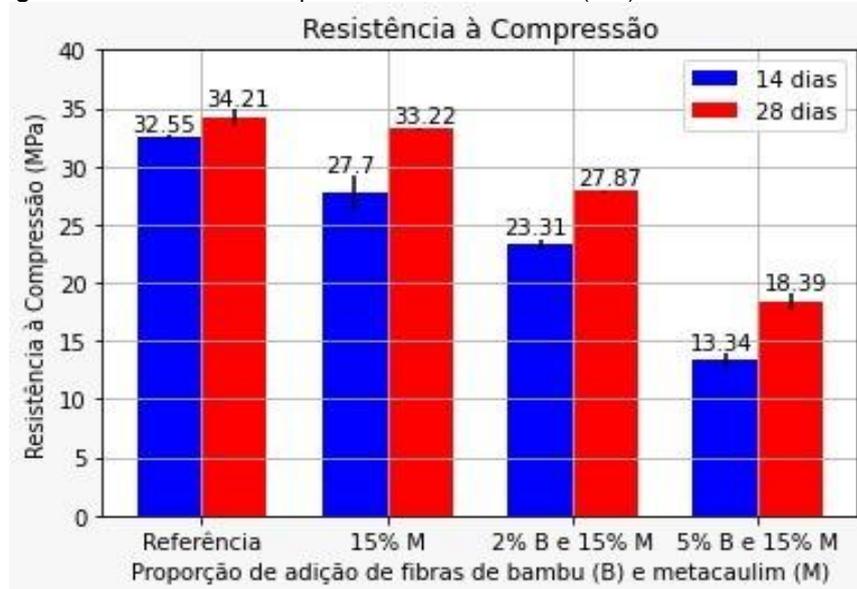
Esses resultados também foram observados por Carraro (2018) que verificou que a adição de fibras de bambu provocou um decréscimo na resistência à compressão do concreto de 19,85% em comparação ao concreto sem adição de fibras aos 28 dias. Essa redução deve-se a alta porosidade da fibra de bambu, formando espaços vazios dentro da matriz, que quando comprimida encontra nas fibras locais frágeis à fissuração (JAVADIAN, *et al.*, 2016).

É importante observar na Figura 2 que o menor valor de resistência aos 14 e 28 dias ocorreu na amostra com 5% com fibra de bambu e 15% de metacaulim e o maior valor ocorreu no concreto referência.

A Figura 3 mostra os valores encontrados para o módulo de elasticidade a 28 dias para o concreto. A Figura 4 mostra que o valor do módulo de elasticidade diminuiu de $(31,95 \pm 0,10)$ GPa da amostra Referência para $(22,06 \pm 0,15)$ GPa da amostra com 5% de fibra de bambu e 15% de metacaulim para a idade de 14 dias de cura. A Figura 3 também

mostra que o módulo de elasticidade do concreto também diminui de $(33,71 \pm 0,68)$ MPa na amostra referência para $(24,00 \pm 0,01)$ MPa para a amostra com 5% com fibra de bambu e 15% de metacaulim a 28 dias de cura do concreto.

Figura 2- Resistência à compressão axial do concreto (Fck) a 14 e 28 dias

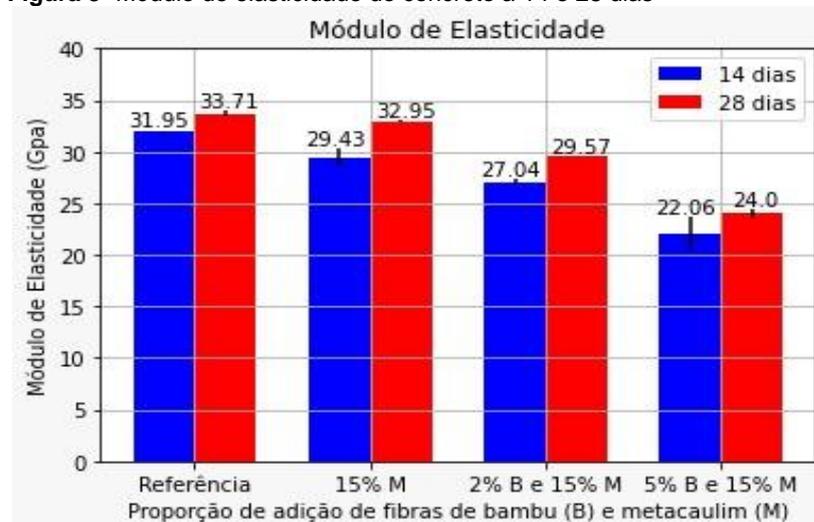


Fonte: Próprio Autor (2022).

Visto que o módulo de elasticidade está diretamente ligado a resistência à compressão axial do concreto, presumiu-se que ele também decairia à medida que a quantidade de fibra fosse acrescida (RIBEIRO et al., 2021).

É importante observar na Figura 3 que os valores estão bem equiparados e o maior valor ocorreu na amostra referência e que o menor valor de resistência ocorreu na amostra com 5% com fibra de bambu e 15% de metacaulim aos 14 e 28 dias.

Figura 3- Módulo de elasticidade do concreto a 14 e 28 dias

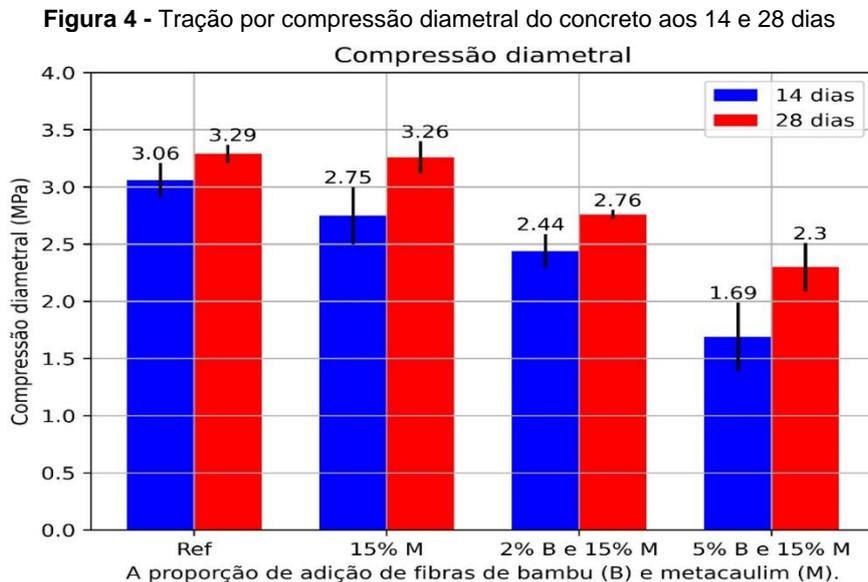


Fonte: Próprio Autor (2022).

A Figura 4 mostra os valores para do ensaio a tração por compressão diametral do concreto aos 14 e 28 dias para o concreto endurecido. Os valores de tração por compressão diametral diminuíram de $(3,06\pm0,15)$ MPa da amostra referência para $(1,69\pm0,30)$ MPa da amostra com 5% de fibra de bambu e 15% de metacaulim. Também se observou que os valores do ensaio de tração direta diminuíram de $(3,29\pm0,08)$ MPa da amostra referência para $(2,30\pm0,21)$ MPa da amostra com 5% de fibra de bambu e 15% de metacaulim.

Ehrenbring e Tutkian (2016) afirmam ainda que as fibras naturais são excelentes materiais, os quais resistem aos esforços de tração, entretanto devem ser preparados para suportarem aos ataques de reagentes químicos como álcalis presentes nas matrizes cimentícias. Para o concreto deixar de ter seu caráter frágil, as fibras precisam ser adicionadas num teor apropriado, como diz Figueredo (2011) sendo que o excesso de fibras não tratadas pode ter sido um fator responsável pela redução da resistência a compressão do concreto.

É importante observar na Figura 4 que o maior valor ocorreu na amostra referência e que o menor valor de resistência ocorreu na amostra com 5% com fibra de bambu e 15% de metacaulim aos 14 e 28 dias.



Fonte: Próprio Autor (2022).

4 CONCLUSÃO

Através dos resultados apresentados observa-se que a resistência à compressão do concreto diminuiu na amostra referência para a amostra com 5% com fibra

de bambu e 15% de metacaulim a 14 dias de cura do concreto. Também mostra que a resistência a compressão do concreto também diminui na amostra referência para a amostra com 5% com fibra de bambu e 15% de metacaulim a 28 dias de cura do concreto.

O valor do módulo de elasticidade diminuiu da amostra referência para a amostra com 5% de fibra de bambu e 15% de metacaulim para a idade de 14 dias de cura.

Também mostra que o módulo de elasticidade do concreto também diminui na amostra referência para a amostra com 5% com fibra de bambu e 15% de metacaulim a 28 dias de cura do concreto.

Os valores de tração direta diminuíram da amostra referência para a amostra com 5% de fibra de bambu e 15% de metacaulim. Também se observou que os valores do ensaio de tração direta diminuíram da amostra referência para a amostra com 5% de fibra de bambu e 15% de metacaulim.

Pela análise geral dos resultados obtidos no trabalho mostra que a inserção do metacaulim com a fibra de bambu em misturas de concreto não proporciona vantagens técnicas em relação aos concretos convencionais como, por exemplo o aumento da resistência a compressão e módulo de elasticidade, diminuição da porosidade, tornando o concreto menos permeável.

4 AGRADECIMENTOS

A empresa Metacaulim do Brasil do fornecimento gratuitamente do metacaulim para fins de pesquisas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15894-1** - Metacaulim para uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**. Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16916**. Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16917**. Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Concrete. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972**. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7212**. Execução de Concreto dosado em central - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. .

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**. Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**. Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**. Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. ABNT. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Test. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ALVES, L. de S., PEREIRA, F. T. M., PEREIRA, C. H. de A. F. Estudo da interferência de adição de fibras kraft em argamassas. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 26259–26272, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n3-362>

BALGOURINEJAD, N., HAGHIGHIFAR, M., MADANDOUST, R., *et al.* Experimental study on mechanical properties, microstructural of lightweight concrete incorporating polypropylene fibers and metakaolin at high temperatures. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 18, p. 5238–5256, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.04.005>

CHEN, Z., MA, R., DU, Y., *et al.* State-of-the-art review on research and application of original bamboo-based composite components in structural engineering. **Structures**, v. 35, p. 1010–1029, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.11.059>

DEMIREL, B., GULTEKIN, E., ALYAMAC, K. E. **Performance of structural lightweight concrete containing metakaolin after elevated temperature performance of structural lightweight concrete containing metakaolin after elevated temperature.**

July, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12205-019-1192-x>

FERREIRA, G. M., FERNANDES, F. A. da S., CAVALCANTE, H. P. Characterization of the Mechanical Properties of Concrete with Addition of Bamboo Fiber - Porto Nacional/TO. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 6, n. 11, p. 209–216, 2019.

<https://doi.org/10.22161/ijaers.611.32>

PORTELA, J. P.; GANDIA, R. M.; ARAÚJO, B. L. O.; PEREIRA, R. A.; GOMES, F. C. Physical, mechanical and thermal behavior of concrete block stabilized with glass fiber reinforced polymer waste. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. 1–33, 2020.

<https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.9838>

JAVADIAN, A., SMITH, I. F. C., HEBEL, D. E. Application of sustainable bamboo-based composite reinforcement in structural-concrete beams: design and evaluation. **Materials**, v. 13, n. 3, 2020.

<https://doi.org/10.3390/ma13030696>

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

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.084>

KUMARASAMY, K., SHYAMALA, G., GEBREYOWHANSE, H. Strength properties of bamboo fiber reinforced concrete. **Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 981, n. 3, p. 32063, 2020.

<https://doi.org/10.1088/1757-899X/981/3/032063>

PAULA, A., NOGUEIRA, L. **Analysis of concrete strength with addition of bamboo fiber.** v. 3, p. 80–90, 2021.

RIBEIRO, V. A. DOS S.; WERDINE, D.; BARBOSA, L. F.; OLIVEIRA, A. F. ; BARBOSA, A. M. ; SILVA, L. R. R.;RIBEIRO, L. H. Investigação das propriedades físicas e mecânicas do concreto convencional com substituição parcial da areia pelas fibras de bambu.

Research, Society and Development, v. 10, n. 12, p. 1–11, 2021.

<https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.21092>