



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS



CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Fabiana de Souza Moreira

**ANÁLISE FÍSICA E MECÂNICA DO USO DE FIBRA DE MILHO COMO
MATERIAL ALTERNATIVO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO REFORÇADO
COM FIBRAS VEGETAIS**

Buri - SP

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Fabiana de Souza Moreira

**ANÁLISE FÍSICA E MECÂNICA DO USO DE FIBRA DE MILHO COMO
MATERIAL ALTERNATIVO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO REFORÇADO
COM FIBRAS VEGETAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de São Carlos.

Orientação: Prof. Dr. Jonathan Gazzola.

Coorientação: Prof^a. Dr^a. Andreia Pereira Matos.

Financiamento: Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento.

Buri - SP

2022

Moreira, Fabiana de Souza

Análise física e mecânica do uso de fibra de milho como material alternativo na produção de concreto reforçado com fibras vegetais / Fabiana de Souza Moreira -- 2022. 34f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri
Orientador (a): Jonathan Gazzola
Banca Examinadora: Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho, Kelen Cristiane Cardoso
Bibliografia

1. Construção civil. 2. Fibra de milho. 3. Material alternativo. I. Moreira, Fabiana de Souza. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539



FOLHA DE APROVAÇÃO

FABIANA DE SOUZA MOREIRA

ANÁLISE FÍSICA E MECÂNICA DO USO DE FIBRA DE MILHO COMO MATERIAL ALTERNATIVO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS VEGETAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental na Universidade Federal de São Carlos. Buri, 16 de março de 2022.

Orientador(a)

Jonathan Gazzola

Prof. Dr. Jonathan Gazzola

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Examinador(a)

JCRP Filho

Prof. Dr. Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE (Cascavel)

Examinador(a)

Kelen Cristiane Cardoso

Prof^a. Dr^a. Kelen Cristiane Cardoso

ATHON Ensino Superior (Sorocaba)

*Dedico este trabalho a todos e todas que lutam para a educação pública ser de qualidade
e gratuita.*

AGRADECIMENTO

Aos meus pais, Aparecida de Fatima Souza Moreira e José Alves Moreira, bem como meus irmãos por sempre estarem do meu lado e acreditarem em mim e nos meus sonhos, meus tios e tias, sobretudo da minha tia Imaculada Rodrigues dos Santos por estar do meu lado nos empecilhos me motivando a nunca desistir de lutar pelo o que acredito.

Aos meus amigos da Republica Álcool-Iris que se tornaram minha segunda família nesses cinco anos, em especial minha amiga Stephanie Oliveira Neves que se tornou uma irmã e companheira para a vida me apoiando nos primórdios desta trajetória com muitas risadas e, estando ao meu lado nos dias difíceis.

Ao meu namorado, Robson Rodrigues Moreira, pelo carinho, amor, paciência e auxílio na realização desta pesquisa. Como também, por estar comigo acreditando em meus sonhos e apoiando minhas decisões, sempre com críticas construtivas para meu crescimento pessoal e profissional.

Ao Grupo de Pesquisa em Materiais Alternativos para Construção Civil (GPMACC) pelo apoio, companheirismo e incentivo para que essa pesquisa fosse realizada com êxito.

Aos meu orientador Dr. Jonathan Gazzola que me acompanha desde o início da graduação, pela instrução em diversos projetos, nas iniciações científicas, nos conselhos e pela amizade.

Aos técnicos, docentes, discentes e profissionais da Universidade Federal de São Carlos que contribuíram de algum modo para que esta pesquisa fosse realizada, sobretudo com os empecilhos pré-pandemia da COVID-19 e durante a mesma.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico por financiar e acreditar nos frutos desta pesquisa para a sociedade.

Gostaria de agradecer a todos e todas que acreditaram em mim e nas minhas ideias, sobretudo as irreais e investiram seu tempo, carinho e companheirismo na minha trajetória.

“Educação não transforma o mundo. Educação muda as pessoas. Pessoas transformam o mundo”

(Paulo Freire)

RESUMO

MOREIRA, Fabiana de Souza. **Análise física e mecânica do uso de fibra de milho como material alternativo na produção de concreto reforçado com fibras vegetais**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de São Carlos, *Campus* Lagoa do Sino, Buri, 2022.

A sustentabilidade tem se tornado um conceito crescente na sociedade contemporânea. Em virtude disso, a aplicação de materiais alternativos na construção civil vem aumentando consideravelmente, como o concreto reforçado com fibras vegetais. Somado a tal, o Brasil é um dos maiores produtores de grãos do mundo, o que implica diretamente na geração de resíduos agrícolas e industriais. Estima-se que o Brasil produziu na safra de 2021/2022 cerca de 264 milhões de toneladas de resíduos de milho, entre eles o colmo, que por meio dos tratamentos prévios propicia a remoção das impurezas das fibras e corrobora para ampliar melhoras nas características de resistência a fissuração, impacto e compressão do concreto reforçado com fibras vegetais. Logo, o presente projeto objetivou analisar a influência da fibra do colmo de milho na matriz cimentícia, por meio da determinação da massa específica e resistência a compressão axial. Para tal, as fibras de milho foram submetidas ao ensaio de destacamento (*Pull-Out*) para determinação do comprimento crítico. Além disso, as fibras de milho passaram por um tratamento térmico em fervura para remoção de impurezas e açúcares, bem como eventuais resíduos provenientes da colheita. Os corpos de prova foram moldados com diferentes porcentagens de fibras para melhor espectro de análise, sendo eles 0% (controle), 2%, 6% e 10% e com base na NBR 5738: 2003. Os ensaios realizados foram conduzidos com base nas respectivas normativas: NBR 5738 e NBR 5739. Em decorrência da pandemia da COVID-19, os ensaios dos compósitos de 10% não foram realizados. Dados mostraram que os corpos de 6% de fibra apresentaram resistência à compressão média de 36,5 MPa, enquanto que o controle 29,7 MPa. Somado a tal, para a massa específica as variações encontradas não foram significativas, com uma leve redução na mesma conforme a adição de fibra. Por fim, o concreto reforçado com fibras se mostra com grande potencial para aplicação na construção civil.

Palavras-chave: Construção civil. Fibra de milho. Material alternativo. Sustentabilidade.

RESUMO EM LÍNGUA ESTRANGEIRA

MOREIRA, Fabiana de Souza. **Physical and mechanical analysis of the use of corn fiber as an alternative material in the production of vegetable fiber reinforced concrete.** 2022. Undergraduate final project– Federal University of São Carlos, Lagoa do Sino *Campus*, Buri, 2022.

Sustainability has become a growing concept in contemporary society. Namely the application of alternative materials in civil construction has increased considerably, like concrete reinforced with vegetable fibers. Actually, Brazil is one of the largest grain producers in the world, which directly implies the generation of agricultural and industrial residue. It is estimated that in the 2021/2022 period of corn harvest, Brazil produced about 264 million tons of corn residues, like cornstalk that through previous treatments, provide the removal of impurities from the fibers and corroborate to increase improvements in the characteristics of resistance to cracking, impact and compression of concrete reinforced with vegetable fibers. Therefore, the present project objectived to analyze influence of the cornstalk fiber in concrete, through the specific mass and resistance to axial compression determination. For this, corn fibers has been submitted to the pull-out test to determine its critical length. Furthermore, corn fibers underwent a heat treatment in boiling to remove impurities and sugars, as well as, any residues from the harvest. The specimens has been molded with different percentages of fibers for a better spectrum of analysis, being them 0% (control), 2%, 6% and 10% and based on NBR 5738: 2003. The tests performed has been conducted based on the respective regulations: NBR 5738 and NBR 5739. Due to the COVID-19 pandemic, tests of 10% composites were not performed. However, the 6% fiber specimens showed an average compressive strength of 36.5 MPa while the control 29.7 MPa. For the specific mass, the variations determined were not significant, with a slight reduction in the same with the addition of fiber. It is concluded that, fiber reinforced concrete shows great potential for application in civil construction.

Keywords: Alternative material. Civil construction. Corn fiber. Sustainability.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 14 |
| 3. OBJETIVOS | 18 |
| 3.1 OBJETIVO GERAL | 18 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 18 |
| 4 METODOLOGIA | 19 |
| 4.1 ORIGEM E COLETA DAS AMOSTRAS | 19 |
| 4.2 PROCESSO DE PREPARAÇÃO DA FIBRA DE MILHO | 19 |
| 4.3 DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO CRÍTICO DA FIBRA..... | 20 |
| 4.4 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA..... | 21 |
| 4.5 ENSAIOS DE PROPRIEDADES FÍSICAS | 22 |
| 4.6 ENSAIOS DE PROPRIEDADES MECÂNICAS | 23 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 24 |
| 5.1 COMPRIMENTO CRÍTICO..... | 24 |
| 5.2 PROPRIEDADES FÍSICAS..... | 25 |
| 5.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS | 27 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 30 |
| 7 RECOMENDAÇÕES FUTURAS | 31 |
| 8 PESQUISA NA PANDEMIA DA COVID-19 | 31 |
| REFERÊNCIAS | 32 |

1 INTRODUÇÃO

O milho é uma das culturas agrícolas mais cultivadas no mundo. Seu consumo se dá principalmente pelos inúmeros usos da mesma, podendo ser em alimentação humana e animal. O Brasil é o terceiro maior produtor de milho em âmbito mundial, com uma estimativa superior a 115 milhões de toneladas de grãos na safra de 2021/2022 (CONAB, 2022).

Com a alta produção de grãos, a cultura do milho, desde seu plantio até sua colheita, contabiliza-se um enorme volume de geração de resíduos agrícolas e industriais que, ao serem reutilizados de forma errônea, causam impactos ambientais, intensificando a contaminação de recursos essenciais. Segundo Dantas (2013), os resíduos que compreendem a folhas, sabugo e colmo do milho que não possuem valor agregado como o grão, são gerados em torno de 2,3 ton/ton de grãos colhidos. Portanto, considerando a estimativa de colheita para a safra 2021/2022, a geração de tais resíduos alcançou cerca de 264 milhões de toneladas neste período.

Atualmente, vislumbra-se o concreto reforçado com fibras como uma alternativa sustentável, econômica e eficaz na substituição de materiais convencionais, uma vez que a construção civil é um dos setores que consomem altos índices de recursos naturais.

Atrelado ao crescente interesse na sustentabilidade, o uso direto de fibras vegetais para obtenção de construções de baixo custo tornou-se vigente na sociedade contemporânea. Pesquisadores estudaram a incorporação de fibras vegetais no concreto reforçado com fibras e os resultados mostraram uma melhora nas características de resistência mecânica à tração e à flexão, maior ductibilidade, resistência à fissuração, resistência ao impacto e flexibilidade, bem como, possibilitou a produção de componentes esbeltos (leves), bom isolamento acústico e viabilidade econômica (BERALDO, NAAS & FREIRE, 1991; AGOPYAN & SAVASTANO Jr, 2003).

Por sua vez, a incorporação de fibras vegetais na matriz cimentícia representa também uma menor durabilidade do compósito, devido ao caráter higroscópico do material vegetal, por meio da hemicelulose presente na mesma, acarretando no processo de mineralização da fibra, no qual consiste na retenção dos álcalis provenientes da incorporação da água no concreto no interior das células, ocasionando a redução da flexibilidade, além de proporcionar características frágeis e quebradiças para as fibras, resultando em uma menor tenacidade do concreto. Outrossim, a alta alcalinidade da água presente nos poros da matriz do cimento, bem como os álcalis supracitados, promovem a degradação da lignina, diminuindo com o tempo a relação fibra/matriz (SILVA, 2015).

Somado a tal, a presença de impurezas nas fibras vegetais pode interferir negativamente na resistência mecânica do concreto reforçado com fibras. A característica química da fibra em questão pode ser beneficiada se houver tratamentos nas fibras, como a fervura que pode remover resíduos como a terra, além de diminuir o açúcar residual, o qual poderia inibir o efeito de pega do cimento (TEIXEIRA, 2010).

A qualidade de uma fibra vegetal ao ser incorporada na matriz do concreto pode ser determinada através de ensaios de resistência mecânica e ensaios físicos. Tais ensaios visam garantir a segurança e a aplicabilidade do concreto em construções. Entre esses ensaios, destacam-se a compressão axial, na qual determina sua resistência à tensão de compressão, bem como, provém dados para determinação de seu módulo de elasticidade; o ensaio de resistência ao impacto comumente realizado para estudo da reação do corpo de prova diante de uma força brusca e repentina; e o ensaio de resistência à tração na flexão no qual é permitido avaliar problemas de fissuração e de falhas estruturais do concreto reforçado com fibras vegetais (FARIAS et. al 2008; SANTOS, 2005).

Diante do exposto, observa-se que a alta contingência de resíduos agrícolas, sobretudo do milho, pode acarretar entraves ao meio ambiente. Todavia, a indústria da construção civil está disposta a inserção de novos materiais alternativos. Logo, a presente pesquisa visou analisar a influência da fibra do colmo de milho na matriz cimentícia, em diferentes porcentagens, por meio dos ensaios de compressão axial e massa específica. Tais resultados podem indicar uma alternativa ambiental tanto no destino de resíduos, quanto na produção de concretos reforçados com fibras vegetais aplicados na construção civil, tornando esse setor, uma atividade mais sustentável.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Pertencente à família *Poaceae*, *Zea Mays* L, o milho se divide em sete gêneros conforme seu lugar de origem. Além disso, apresenta alta taxa de armazenamento de energia quando comparada com outras plantas, tal fato se deve a elevada capacidade na acumulação de fotoassimilados. Em consequência, é reconhecida pela velocidade de desenvolvimento e produção de biomassa (EMBRAPA, 2015).

Tal cultura apresenta algumas vantagens que são determinantes para o seu cultivo, dentre elas, a adaptabilidade a diferentes condições climáticas. Somado a tal, o milho é um dos principais grãos do mundo no qual atende diversos setores, alimentação humana, animal e destinada a indústrias como matéria prima para fabricação de derivados (EMBRAPA, 2020).

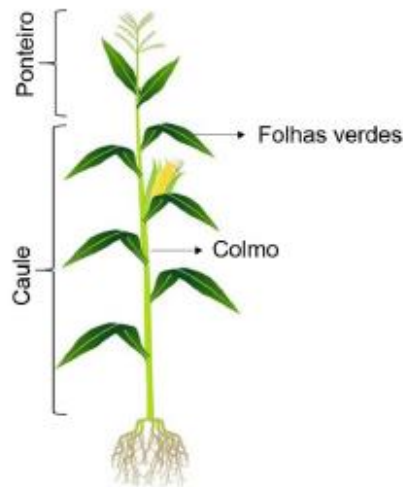
O Brasil é tido como um dos maiores produtores de milho do mundo, pois apresenta um clima tropical, o que ocasiona em condições favoráveis ao cultivo, tais como, radiação solar, fotoperíodo, umidade do solo e temperatura. A produção ocorre em dois momentos: Safra de verão e segunda safra (safrinha). A safra de verão ocorre em todos os estados brasileiros, enquanto que a segunda safra, ocorre no Centro-Oeste, Paraná, São Paulo e Minas Gerais (EMBRAPA, 2020).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), estima-se que na safra de 2021/2022 somente a produção de milho alcançou 115 milhões de toneladas em uma área de 21 milhões de hectares, o que representa um aumento de 32,7% em relação à safra anterior de 2020/2021. Contudo, considerando apenas a terceira safra que passou a ser implementada em regiões como Sergipe, Alagoas e Pernambuco a partir da safra 2018/2019, a projeção é de 2,1 milhões de toneladas em uma área de 635 milhões de hectares (CONAB, 2022).

Logo, com os dados supracitados o Brasil ocupa a terceira posição mundial no que tange a produção de milho, ficando atrás dos Estados Unidos e China. Após a colheita do milho que ocorre com umidade aproximada a 13% como sugere Cruz (2007), os resíduos agrícolas ficam expostos e comumente ali permanecem como prática conservacionista, no entanto, em um sistema não-conservacionista são revolvidos para otimizar a próxima cultura, devido a ciclagem de nutrientes. Contudo, com este revolvimento o solo torna-se mais susceptível a processos erosivos e conseqüentemente a perda de solo pelo escoamento superficial d'água, como também a compactação que inibi o crescimento de raízes profundas (REDIN *et al.*, 2011). Outrossim, devido à grande produção de milho e conseqüentemente de resíduos, para alguns produtores torna-se viável a queimada para eliminação o que intensifica de forma significativa a poluição ambiental (ALVES, 2014).

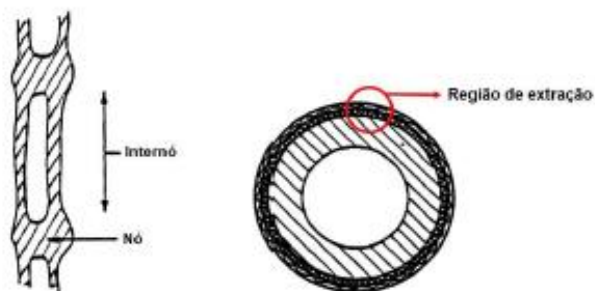
A adição destes resíduos na matriz cimentícia, sobretudo o colmo, pode contribuir de forma a atenuar as problemáticas supracitadas, como também fornece uma destinação alternativa para estes, além de garantir aumento da resistência a compressão, através das propriedades vegetais. O colmo a ser utilizado (Figura 01) garante a sustentação da planta de milho até a colheita, sendo cortado e descartado, além disso é envolto das fibras que ficam na sua extremidade com característica rígida, preenchido por uma massa orgânica úmida conforme apresenta a Figura 02 (MOTTA; AGOPYAN, 2007).

Figura 01: Composição da planta de milho.



Fonte: Adaptado de Celente e Hassuani 2016.

Figura 02: Região de extração da fibra do milho.



Fonte: Adaptado de Ajit *et al.*, 2006.

Em muitos países tem sido cada vez mais relevante o a utilização de fibras vegetais a fim de ter construções de baixo custo. Na comunidade científica, pesquisas realizadas apontam a possibilidade do uso de fibras vegetais, tais como algodão, juta, sisal, eucalipto, cana de açúcar, dentre outros, na matriz cimentícia (AGOPYAN e SAVASTANO Jr., 2003).

Ressalta-se que a construção civil é um dos setores que mais consomem recursos naturais e na sua maioria são recursos não renováveis, como o ferro e o calcário. Somado a tal, a demanda dos subsídios não se limita apenas a etapa de extração, o problema se perpetua durante todo o ciclo de vida dos produtos. Além disso, o crescimento da população mundial e consequentemente o aumento na demanda por materiais de construção intensifica os problemas ambientais, estima-se que para cada pessoa em um ano são necessários entre 4 e 7 t de material. Deste modo, é imprescindível a criação e utilização de inovações que minimizem os impactos decorrentes da construção civil (CBCS, 2014).

A fim de atenuar as implicações supracitadas, o concreto reforçado com fibras torna-se uma alternativa sustentável, econômica e eficaz na substituição de materiais convencionais, pois melhoram as características de resistência mecânica à tração e à flexão, maior ductibilidade, resistência à fissuração, impacto e flexibilidade. Portanto, torna-se fundamental a aplicabilidade de ensaios físicos mecânicos a fim de garantir a segurança e a viabilidade do composto produzido (BERALDO, NAAS & FREIRE, 1991; AGOPYAN & SAVASTANO Jr. 2003).

Contudo, ao ser adicionada na matriz cimentícia as fibras possuem fatores que são determinantes no desempenho do concreto formado, sendo um deles o comprimento crítico da mesma. O comprimento crítico é definido como o comprimento mínimo que uma fibra, componente da fase dispersa, necessita ter para que absorva toda a carga que a fase matricial de um compósito seja absorvida e não se rompa (CALLISTER, 2006). Portanto, tal fator irá influenciar na resistência do compósito, uma vez que serve de ponte para transferência de tensões no concreto (MONTEIRO E ALMEIDA, 2006).

Logo, para determinação deste comprimento ideal são realizados ensaios como o de *Pull-out*, no qual são testados diferentes comprimentos de fibras que por sua vez são acopladas no cimento e submetidos a diferentes tensões, por meio de equipamentos como o texturômetro (MONTEIRO E ALMEIDA, 2006). Além disso, as propriedades químicas das fibras podem interferir também no desempenho do concreto produzido, portanto, a aplicação de metodologias que minimizem tais empecilhos beneficiam o material gerado.

Em sua pesquisa, Silva (2015) analisou a interferência do tratamento térmico em fibras de eucalipto e notou que o mesmo entre 200 e 230°C alterou a composição química da fibra o que interferiu nas propriedades de porosidade aparente (PA) e densidade aparente (DA). Por sua vez, Ballesteros (2018) observou que o tratamento de hornificação nas polpas de eucalipto e pinus ocasionou alterações na estrutura interna da mesma, o que reduziu sua capacidade de absorver água. Além disso, o tratamento de carbonatação acelerada na matriz do cimento concluiu que teve uma melhora na durabilidade das fibras, bem como no desempenho mecânico.

Teixeira (2010) analisou a aplicabilidade de dois tratamentos em fibras de bagaço de cana-de-açúcar: Tratamento térmico (fervura) e tratamento químico com silicato de sódio (5%) e sulfato de alumínio (30%). Logo, notou que a fervura aplicada reduziu de forma considerável os açúcares residuais, bem como possíveis resíduos provenientes da cultura como o solo. O tratamento químico ocasionou a mineralização das fibras e não inibiu a absorção de água.

Logo, diferentes tratamentos se mostram eficazes e imprescindíveis para otimizar os resultados físico mecânicos e a durabilidade do compósito formado. Silva (2015) afirma que os compósitos com eucalipto tratados termicamente atendem as normas NBR 12.800: 1993 e NBR 15.498: 2007. Ballesteros (2018) concluiu que compósitos com 6% do teor de polpa de pinus ou eucalipto hornificado, bem como tratado e não tratado obtiveram melhor resultado no que diz respeito ao desempenho mecânico, além disso, esses compósitos quando curados com carbonatação acelerada apresentam uma melhora nas propriedades físicas. Teixeira (2010) aponta que os compósitos extrudados com fibra e 30% de bagaço de cana-de-açúcar, utilizado no lugar do cimento Portland, possui grande potencial para ser utilizado na produção de componentes da construção.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho objetiva analisar as características física e mecânica de fibra de milho para uso como matriz dispersa de concreto reforçado com fibras vegetais.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para desenvolver o trabalho de pesquisa, algumas etapas devem ser alcançadas para atingir o objetivo geral, os quais são relatados abaixo:

- Preparar as amostras de fibra de milho;
- Determinar o comprimento crítico das fibras;
- Confeccionar os corpos de prova de acordo com as porcentagens de fibra vegetal estabelecida;
- Determinar a massa específica do compósito dentro de suas porcentagens estabelecidas;
- Realizar ensaios de compressão axial nos corpos de prova;
- Comparar os dados de massa específica de compósito entre o corpo de prova de controle e os corpos de prova com fibra vegetal e analisar a relação entre si;
- Comparar os resultados de resistência mecânica entre o corpo de prova de controle e os corpos de prova com fibra de milho, de acordo com sua variação de teor de fibra vegetal, e analisar sua relação em termos de variação de suas características;

4 METODOLOGIA

4.1 ORIGEM E COLETA DAS AMOSTRAS

Para a realização do presente trabalho de pesquisa, as amostras do colmo de milho foram coletadas na safrinha de 2019/2020, cerca de 20 plantas de milho. Após a coleta manual as folhas e espigas das plantas de milho foram retiradas, sendo as espigas destinadas para silagem do Campus Universitário, sobrando apenas o caule da planta.

4.2 PROCESSO DE PREPARAÇÃO DA FIBRA DE MILHO

Para ser usada no presente projeto de pesquisa, a fibra de milho precisa passar por um processo de preparação. Após a coleta e limpeza das plantas de milho, foram cortados os colmos e expostos ao ar livre por 48 horas para secagem visando a remoção do máximo de umidade, bem como facilitar as etapas consequentes conforme ilustra a Figura 03.

Figura 03: Colmo de milho em secagem inicial.



Fonte: Autor, 2019.

Ademais, com a secagem inicial os colmos foram cortados e assim foi realizada a remoção da matéria interna da planta. Por sua vez, as fibras limpas e cortadas foram depositadas em bandejas metálicas e submetidas a secagem em estufa com circulação de ar a 60°C pelo período de 24 horas e colocadas em um dessecador de vidro hermeticamente fechado. Durante a realização da secagem em estufa, uma amostra de controle de 50 gramas do material foi colocada em recipiente cerâmico para determinar a umidade da amostra.

Após o primeiro período de secagem em estufa, a amostra de controle foi depositada em um dessecador hermeticamente fechado por 15 min, sendo pesada posteriormente para determinação da variação de umidade ($\Delta U\%$) conforme a Equação 01. Essa etapa no procedimento de secagem foi repetida até que se alcance um $\Delta U\%$ de no máximo 0,5%.

$$\Delta U\% = \frac{mf - m0}{m0} \times 100\% \quad (01)$$

Onde:

$\Delta U\%$ = Variação do teor de umidade entre períodos de secagem [adm];

mf = massa do corpo de controle após o período de secagem analisado [g];

m0 = massa do corpo de controle anterior ao período de secagem analisado [g].

Logo após, a secagem inicial as fibras foram submetidas a um processo de lavagem com intuito de retirar possíveis impurezas e atenuar o teor de açúcar proveniente da matéria orgânica. Deste modo, as fibras foram separadas em béqueres de 1000 mL e colocadas sob uma chapa metálica para fervura por aproximadamente 40 minutos (Figura 04) e posteriormente lavadas em água corrente. Por fim, as amostras foram secadas em estufa com circulação de ar a 60°C pelo período de 24 horas e dispostas no dissecador.

Figura 04: Fervura das fibras em chapa metálica antes e durante o processo.



Fonte: Autor, 2019.

4.3 DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO CRÍTICO DA FIBRA

Para determinar o comprimento crítico da fibra do colmo de milho, adaptou-se o ensaio de destacamento (*pull-out*), seguindo as recomendações feitas por Monteiro e Almeida (2006). Foram moldadas cápsulas de material compósito com um traço de cimento, areia e água na proporção de 1:1:0,40, com formato cilíndrico moldados por tubos de PVC, e comprimento de embutimento das fibras para serem levados a um ensaio de resistência ao destacamento. Foram testadas fibras com comprimentos de embutimento de: 0,5 cm (Grupo A); 1,5 cm (Grupo B); 2,5 cm (Grupo C); 3,5 cm (Grupo D) e 4,5 cm (Grupo E). Para cada grupo, foram confeccionados seis corpos de prova. Os corpos de ensaio permaneceram pelo tempo de cura inicial de 24h em bancada coberta com plástico PVC, posteriormente mais 24h com a remoção do plástico PVC. Para totalizar os 28 dias de cura, os compósitos foram colocados em câmara escura por 26 dias.

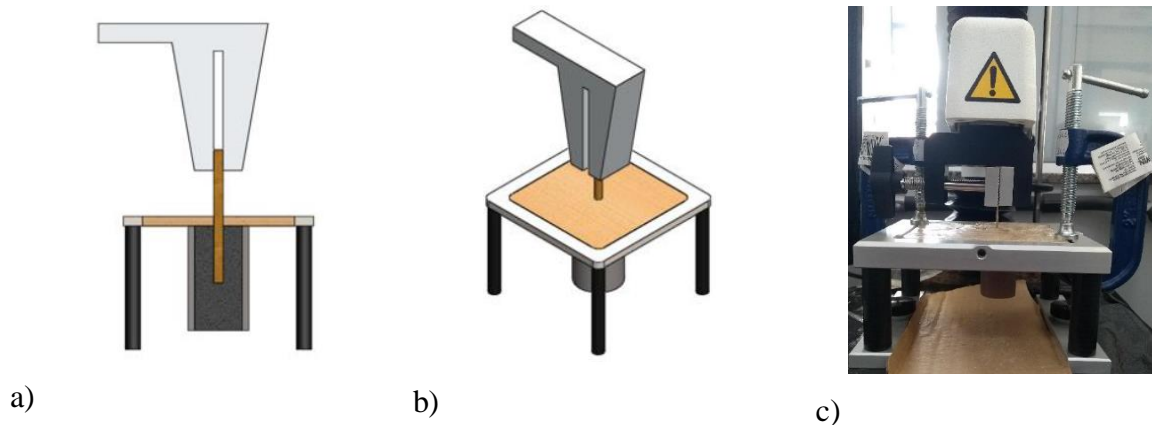
Figura 05: Corpos de prova confeccionados para determinação do comprimento crítico.



Fonte: Autor, 2019.

Após o período total de cura, os corpos de prova foram levados para a Laboratório de Reologia para início dos testes de determinação do comprimento crítico. Deste modo, para dar início preparou-se o texturômetro colocando a garra de tensão e realizando a calibração do mesmo com o auxílio do sistema de aquisição de dados. Logo, as fibras foram depositas individualmente no texturômetro e padronizando com a força máxima aplicada de 23 kgf, para não ocorrer danos à célula de carga, sendo assim, foram submetidas ao teste de tração, conforme ilustrado na Figura 06. Foram anotadas as verificações dos desprendimentos das fibras da cápsula por escorregamento ou por ruptura da fibra vegetal.

Figura 06: Realização dos testes no texturômetro. a) Vista de corte arranjo experimental. b) Vista geral do arranjo experimental. c) Realização do ensaio.



Fonte: Autor, 2019.

4.4 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram moldados no Laboratório de Solos, conforme a NBR 5738:2003, seguindo o traço de 1:1:1,16:0,40 (cimento: areia: brita: água). Para realização da mistura foram mensurados o cimento CP II F 32 da marca Votorantim e a areia seca e peneirada

com auxílio da balança e de um béquer de 2000 mL e depostos na argamassadeira para homogeneização com a colher de pedreiro. Logo, foi adicionado a brita peneirada já mensurada em litros e por fim a água corrente do *Campus* universitário. Aos corpos de prova de concreto reforçado com fibras, após a homogeneização da mistura do concreto, foram adicionadas de forma cuidadosa e bem espalhada, as fibras vegetais, de forma a evitar rupturas iniciais. Deste modo, com o concreto pronto foram adicionadas as fibras nas porcentagens de análise 2% e 6% do volume total do concreto. O trabalho de moldagem foi separado em duas etapas, sendo:

Etapa 1: Concreto Convencional - Corpos de prova de controle (0% de fibras vegetais) – Total de seis corpos de prova para ensaio de compressão axial.

Etapa 2: Concreto Reforçado com Fibras – Seis corpos de prova para cada porcentagem de análise para compressão axial – Total de 12 corpos de prova.

Após realizar a homogeneização de todos os materiais, foram inseridos moldador de PVC com altura de 20 cm e diâmetro de 10 cm, com caps de plástico para conformação dos corpos de prova, sendo utilizado um socador de metal para aplicação de golpes, de modo a reduzir espaços vazios conforme determinado pela NBR 5738:2003. Os corpos foram colocados sob bancada livre de vibrações e cobertos com filme PVC para a cura inicial de 24 horas em condições ambientais para que não ocorra uma perda de água brusca. Após esse período, o filme de PVC foi retirado por 24 horas para que ocorresse uma secagem ao ar livre. Posteriormente, os corpos foram retirados dos moldes e colocados em uma câmara hermética escura e fechada pelo período de 26 dias, totalizando assim 28 dias de cura.

4.5 ENSAIOS DE PROPRIEDADES FÍSICAS

No que tange as propriedades física do compósito, foi analisado a massa específica do concreto com e sem fibras vegetais, seguindo a NBR 5738: 2003. No ensaio de massa específica, foram tomadas medidas da altura e diâmetro com um escalímetro de plástico para determinação do volume do corpo de prova e, com auxílio de uma balança digital, as massas dos corpos de prova foram mensuradas. O cálculo da massa aparente é aplicado a Equação 02 e definido pela NBR 5738: 2003.

$$\gamma = \frac{m}{v} \quad (02)$$

Onde:

m = Massa do corpo de prova [Kg];

V= Volume do corpo de prova cilíndrico [m³];

γ = Massa específica [Kg/m³].

4.6 ENSAIOS DE PROPRIEDADES MECÂNICAS

Os corpos de prova moldados para serem submetidos ao ensaio de compressão axial, foram encaminhados ao Laboratório de Ensaio e Caracterização de Materiais no Campus Universitário da UFSCar em Sorocaba. Para realização do ensaio utilizou-se da Máquina Universal de Ensaio de Alta Capacidade (EMIC 30.000 L) com velocidade de compressão de 0,036 mm/s conforme a Figura 07. Além disso, durante o ensaio foi tomada como base as orientações previstas na NBR 5739: 2007.

Figura 07: Ensaio de compressão axial.



Fonte: Autor, 2019.

Para determinação da resistência à compressão dos compósitos, tomou-se como base a Equação 03. A resistência característica para o índice de inserção de fibras analisado foi dada pela sua média simples. O comportamento da curva de resistência mecânica à compressão em função da inserção de fibras vegetais na matriz compósita foi realizado através de gráficos gerados por meio do *Software* Microsoft Excel.

$$\sigma = \frac{4F}{\pi D^2} \quad (03)$$

Onde:

σ = Tensão de ruptura do compósito [MPa];

F: Força máxima alcançada [N];

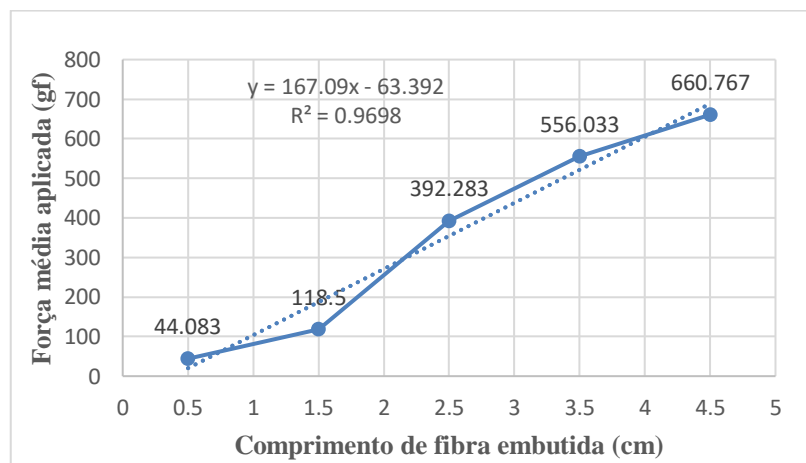
D: Diâmetro do corpo de prova cilíndrico [mm].

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 COMPRIMENTO CRÍTICO

O Gráfico 01 mostra a força necessária para o destacamento da fibra de milho da cápsula de compósito cimentício. Contudo, durante a realização do ensaio todas as fibras de comprimentos diferentes escorregaram, tal fato se deve pelo baixo índice de rugosidade que a fibra de milho apresenta, ao qual é lisa e interferiu negativamente no atrito da fibra com o cimento, conforme relatado por Agopyan e Savastano Jr. (2003). Logo, para determinar o comprimento crítico, foram considerados os valores de força aplicado nas fibras até que o escorregamento ocorresse, conforme o Gráfico 01.

Gráfico 01: Força média aplicada por comprimento de teste da fibra de milho.



Fonte: Autor, 2019.

Ao analisar os dados do Gráfico 01, nota-se que há uma discrepância significativa dos valores de 1,5 cm para 2,5 cm, tal fato se dá, pois, algumas fibras escorregaram do cimento antes de serem submetidas ao teste, logo tiveram força aplicada nula. Somado a tal, tem uma estabilidade na força aplicada nas fibras com comprimento entre 3,5 cm e 4,5 cm com dados de todas as repetições, logo, para o presente projeto de pesquisa, o comprimento crítico adotado foi de 4,5 cm com o fator de segurança de 1,4 conforme recomendado por Gazzola *et al.*, (2020). Assim sendo, o comprimento crítico adotado foi entre 5 cm e 7 cm na composição dos corpos de prova como ilustra a Figura 08.

Figura 08: Fibras do colmo de milho cortadas.



Fonte: Autor, 2019.

5.2 PROPRIEDADES FÍSICAS

O ensaio de massa específica foi realizado nos corpos de prova de 0%, 2% e 6%, no entanto, dois corpos de prova de 6% apresentaram problemas de conformação devido a um “embaulamento” de sua extremidade superior conforme ilustra a Figura 09 (lado esquerdo), provavelmente por causa das fibras vegetais, impossibilitando-o de ser aplicado nos ensaios. Somado a tal, novos corpos de prova foram moldados para a execução do ensaio, contudo, o ensaio não ocorreu em decorrência da pandemia da COVID-19, o qual teve laboratórios fechados. Os corpos de prova encontram-se protegidos em câmara hermeticamente fechada para utilização em pesquisa futura pelo grupo de pesquisa. A Tabela 01 dispõe dos dados obtidos, sendo o mesmo ilustrado por meio do Gráfico 02.

Figura 09: Comparação do compósito com e sem embaulamento.



Fonte: Autor, 2019.

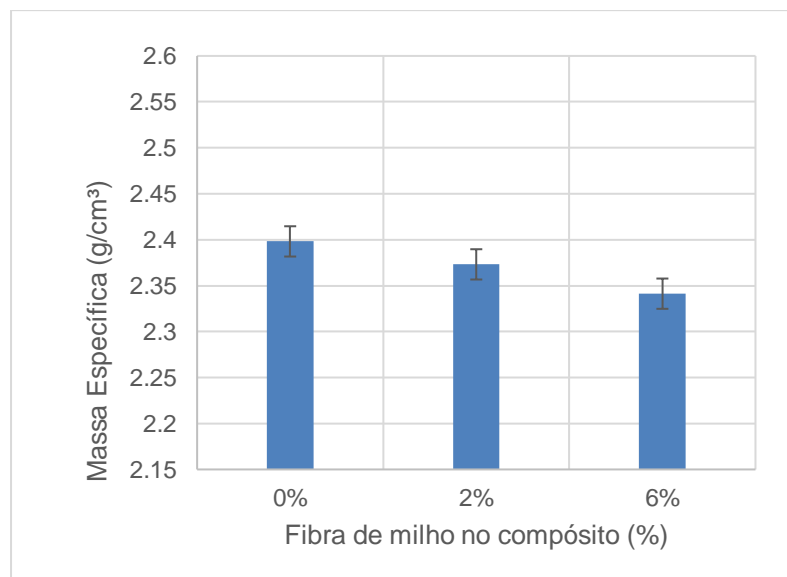
Tabela 01: Dados médios correspondentes a cada porcentagem de análise.

| | Raio (cm) | Altura (cm) | Massa (g) | Volume (cm ³) | Massa específica (g/cm ³) |
|----------------------|-----------|-------------|-----------|---------------------------|---------------------------------------|
| 0% | 4,87 | 20,27 | 3616,17 | 1508,01 | 2,4 |
| 2% | 4,88 | 20,47 | 3638,33 | 1533,43 | 2,37 |
| 6% | 4,9 | 20,53 | 3625 | 1548,54 | 2,34 |
| Desvio Padrão | 0,012 | 0,111 | 9,109 | 27,317 | 16,724 |

Fonte: Autor, 2019.

Analisando a Tabela 01, observa-se que não houve grandes variações nas dimensões do raio e altura, tal fato se dá pelo molde padrão na moldagem dos compósitos. Entretanto, analisando a média da massa e volume dos compósitos, observa-se uma variação considerável visto pelo desvio padrão destes, no qual o compósito de 2% teve maior peso comparado aos demais, no entanto, o volume maior foi o de 6%.

Gráfico 02: Variação da massa específica dos compósitos.



Fonte: Autor, 2019.

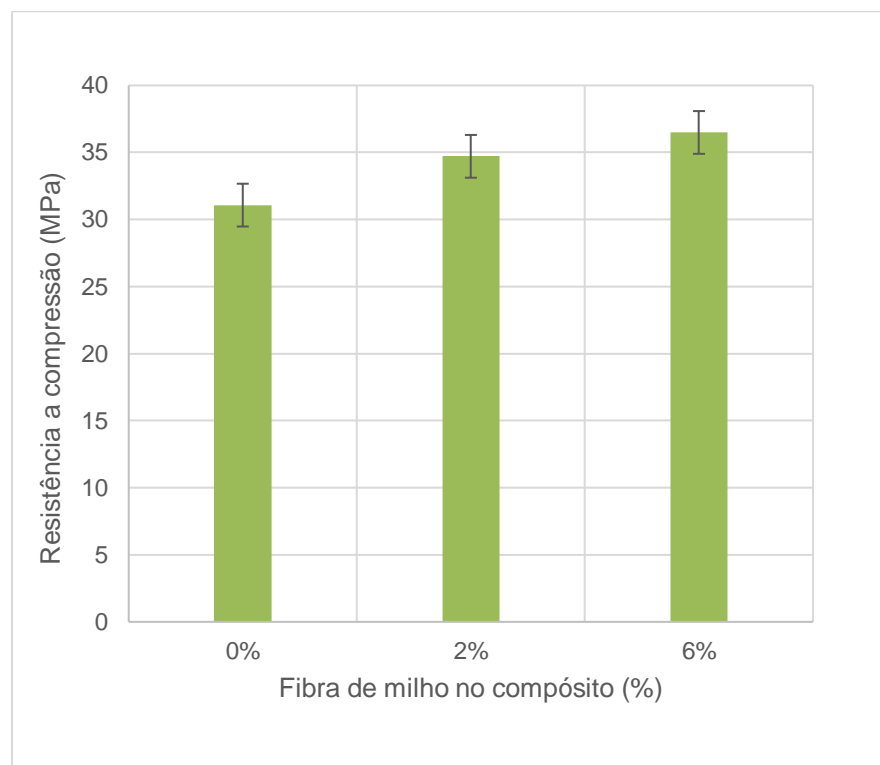
Logo, com os dados obtidos e ilustrado pelo Gráfico 02 houve uma pequena redução da massa específica conforme aumentou-se a porcentagem de fibra, no entanto, considerando o coeficiente de variação os valores obtiveram 1% entre si (Gráfico 2, 3 e 4), sendo assim tais variações não foram significativas, sendo que os valores obtidos estão bem próximos de 2,4 g/cm³. Além disso, essa pequena variação entre os corpos de prova pode ter sido influenciada por algum erro experimental ou durante a moldagem dos corpos de prova, bem como a perda de água durante o processo de cura.

Portanto, tomando como base a massa específica média dos corpos de prova de aproximadamente $2,4\text{g/cm}^3$ ou 2400 kg/m^3 , a NBR 8953:2015 classifica o compósito como sendo concretos normais, visto que está na faixa de 2000 a 2800 kg/m^3 como é estabelecido na mesma.

5.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

O ensaio de compressão axial foi realizado nos corpos de prova que foram utilizados para o ensaio de massa específica, logo, o problema de “embaulamento” relatado anteriormente para os compósitos de 6% impediu a realização do ensaio em dois corpos de prova.

Gráfico 03: Dados médios da resistência à compressão axial.



Fonte: Autor, 2019.

Analisando o Gráfico 03 nota-se que o maior valor médio obtido de compressão axial foi de 36,5 MPa, correspondente ao compósito com 6% de fibra. Além disso, o corpo de prova com 2% de fibra teve um valor médio de 34,15 MPa, quando comparado com a média dos corpos de controle (0%) que ficou em 29,7 MPa. Portanto, é possível prever que a adição de maiores volumes de fibras nos compósitos melhore sua resistência à compressão, visto que embora duas repetições não tenham ocorrido no grupo de 6%, o mesmo se manteve com maior valor médio de resistência.

Tabela 02: Dados obtidos em relação ao compósito de controle (0%)

| Corpos de 0% | | | | | | | | |
|---------------------|----------------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------------------|------------------------------|--|---------------------|
| Corpos | Diâmetro (mm) | Altura (mm) | Massa (g) | Força (N) | Volume (cm³) | Área (mm²) | Massa específica (g/cm³) | Tensão (MPa) |
| C1 | 97 | 203 | 3580 | 167747 | 1500,13 | 7386,07 | 2,39 | 22,70 |
| C2 | 98 | 203 | 3668 | 234685 | 1531,22 | 7539,14 | 2,40 | 31,11 |
| C3 | 97 | 202 | 3617 | 222612 | 1492,74 | 7386,07 | 2,42 | 30,12 |
| C4 | 97 | 202 | 3627 | 223048 | 1492,74 | 7386,07 | 2,43 | 30,18 |
| C5 | 97 | 204 | 3637 | 235203 | 1507,52 | 7386,07 | 2,41 | 31,83 |
| C6 | 98 | 202 | 3568 | 242380 | 1523,68 | 7539,14 | 2,34 | 32,13 |
| Média | 97,33 | 202,67 | 3616,17 | 220945,83 | 1508,01 | 7437,09 | 2,40 | 31,08 |
| Desv.Padrão | 0,47 | 0,75 | 33,83 | 24795,05 | 14,79 | 72,16 | 0,03 | 3,21 |
| CV* | - | - | - | - | - | - | 1% | 10% |

*Coeficiente de variação

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 03: Dados obtidos em relação ao compósito de 2%

| Corpos de 2% | | | | | | | | |
|---------------------|----------------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------------------|------------------------------|--|---------------------|
| Corpos | Diâmetro (mm) | Altura (mm) | Massa (g) | Força (N) | Volume (cm³) | Área (mm²) | Massa específica (g/cm³) | Tensão (MPa) |
| C1 | 97 | 202 | 3600 | 259815 | 1492,74 | 7389,81 | 2,41 | 35,16 |
| C2 | 98 | 203 | 3600 | 260426 | 1531,22 | 7542,96 | 2,35 | 34,53 |
| C3 | 98 | 205 | 3690 | 247566 | 1546,31 | 7542,96 | 2,39 | 32,82 |
| C4 | 98 | 210 | 3700 | 263725 | 1584,02 | 7542,96 | 2,34 | 34,96 |
| C5 | 97 | 204 | 3640 | 275000 | 1507,52 | 7389,81 | 2,41 | 37,21 |
| C6 | 98 | 204 | 3600 | 253467 | 1538,76 | 7542,96 | 2,34 | 33,60 |
| Média | 97,67 | 204,67 | 3638,33 | 214212,33 | 1533,43 | 7491,91 | 2,37 | 34,71 |
| Desv.Padrão | 0,47 | 2,56 | 42,59 | 8528,15 | 29,11 | 72,20 | 0,03 | 1,38 |
| CV* | - | - | - | - | - | - | 1% | 4% |

*Coeficiente de variação

Fonte: Autor, 2019.

Tabela 04: Dados obtidos em relação ao compósito de %

| Corpos de 6% | | | | | | | | |
|---------------------|----------------------|--------------------|------------------|------------------|--------------------------------|------------------------------|--|---------------------|
| Corpos | Diâmetro (mm) | Altura (mm) | Massa (g) | Força (N) | Volume (cm³) | Área (mm²) | Massa específica (g/cm³) | Tensão (MPa) |
| C1 | 98 | 205 | 3600 | 275071 | 1546,31 | 7542,96 | 2,33 | 36,47 |
| C2 | 97 | 201 | 3500 | 275548 | 1485,35 | 7389,81 | 2,36 | 37,29 |
| C4 | 99 | 208 | 3700 | 275302 | 1601,12 | 7697,69 | 2,31 | 35,76 |
| C5 | 98 | 207 | 3700 | 275009 | 1561,39 | 7542,96 | 2,37 | 36,46 |
| Média | 98,00 | 205,25 | 3625,00 | 275232,50 | 1548,54 | 7543,36 | 2,34 | 36,49 |
| Desv.Padrão | 0,71 | 2,68 | 82,92 | 212,37 | 41,62 | 108,85 | 0,02 | 0,54 |
| CV* | - | - | - | - | - | - | 1% | 1% |

*Coeficiente de variação

Fonte: Autor, 2019.

Além disso, nota-se que conforme a adição de fibra no compósito o coeficiente de variação reduziu, sendo que o compósito de 6% obteve 1%, sendo assim com menor variação nos resultados obtidos. Analisando separadamente os coeficientes de variação das porcentagens, ambos obtiveram bons valores visto que os dados em cada repetição estão próximos. Após a realização do ensaio de compressão axial, foram tomadas imagens dos corpos de prova pós ruptura, no qual é possível visualizar a distribuição das fibras no seu interior. Logo, as imagens permitem analisar o agarre da fibra no concreto em seguida a ruptura do corpo pela força aplicada.

Figura 10: Corpo de prova 2% de fibra não tratada. (a) Corpo de prova antes do ensaio. (b) Corpo de prova após o ensaio com ruptura.



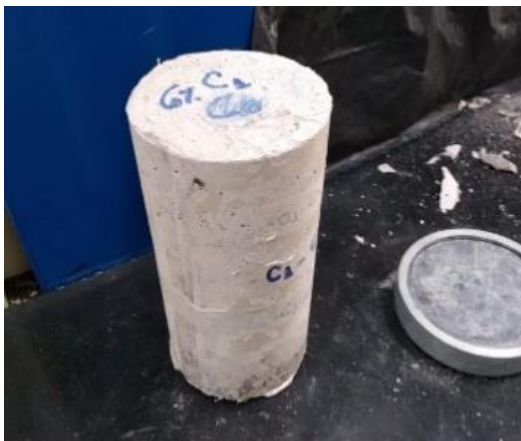
(a)



(b)

Fonte: Autor, 2020.

Figura 11: Corpo de prova 6% de fibra não tratada. (a) Corpo de prova antes do ensaio. (b) Corpo de prova após o ensaio com ruptura.



(a)



(b)

Fonte: Autor, 2020.

Figura 12: Concreto agarrado na fibra de milho.



Fonte: Autor, 2020.

Nota-se, que a estrutura interna no compósito de 2% e 6% se manteve firme com maiores impactos em suas extremidades, sendo que nos compósitos de 2% a reação frente ao ensaio de compressão foi mais significativa quando comparado ao de 6%. Contudo, em ambos é possível visualizar o agarre da fibra na matriz cimentícia que mesmo com parte do rompimento do compósito, se manteve entre as partes como enfatiza a Figura 12, demonstrando assim um material alternativo com boas propriedades.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no que foi exposto acima, pode-se concluir que o concreto reforçado apresentou resultados positivos e que permitem afirmar que o mesmo tem potencialidade em ser aplicado em construções. Além disso, com base nos coeficientes de variação a metodologia aplicada se mostrou positiva, visto que houve pouca variação entre os resultados em ambas as porcentagens.

Em termos de massa aparente os resultados demonstraram que o compósito apresentou pouca variação entre os índices analisados com o corpo de prova de controle, porém, com tendência de que a adição de fibra a densidade reduziu o peso do corpo. Portanto, com base nos resultados obtidos em conjuntura com a NBR 8953/2015, o concreto reforçado com fibra de

milho pode ser classificado como normais, uma vez que a massa específica se manteve no intervalo de 2000 a 2800 kg/m³.

Por sua vez, o ensaio de resistência a compressão axial apresentou valores bem expressivos. Logo, conforme a adição de fibra o concreto apresentou maior resistência a compressão, sendo que para 6% o valor médio foi de 36,5 MPa e para o corpo de controle este valor foi de 29,7 MPa.

7 RECOMENDAÇÕES FUTURAS

- Recomenda-se que novas pesquisas acerca da utilização de outras fibras vegetais, com diferentes variáveis sejam realizados, servindo de subsidio para novas pesquisas na utilização de fibra vegetal na construção civil;
- Recomenda-se que novas pesquisas utilizando a fibra de milho sejam realizadas, com mais repetições e maior abrangência de porcentagem para uma melhor análise do ponto ótimo de adição de fibra na matriz cimentícia;
- Recomenda-se que novas metodologias com tratamentos na fibra de milho seja realizada, buscando atenuar os entraves da matéria orgânica e conseqüentemente maior durabilidade do material alternativo.

8 PESQUISA NA PANDEMIA DA COVID-19

A pandemia da COVID-19 que teve seu inicio no começo de 2020 impossibilitou que os ensaios dos corpos de prova de 10% fossem realizados, em decorrência das medidas de isolamento com o fechamento dos laboratórios e do *Campus* universitário. No entanto, tais corpos de prova, como também os dois corpos de prova de 6% que foram refeitos já foram moldados e encontram-se em caixa escura hermeticamente fechada. Com a retomada da abertura dos laboratórios, os compósitos serão reavaliados e será proposto ao Grupo de Pesquisa em Materiais Alternativos (GPMACC) dar prosseguimento na pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, V; SAVASTANO JUNIOR, H. Compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais e suas aplicações. In: FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. (editores) Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo: Ibracon, 2007. 2v. 1721 p.

AGOPYAN, V; SAVASTANO JUNIOR, H. Fibras vegetais como materiais de construção. In: ISAIA, G. C. (editor) Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo: Ibracon, 2007. 2v. 1721 p.

ALVES, D. A. H. Avaliação do potencial energético de resíduos de produção agrícola provenientes do beneficiamento da mandioca e do milho. 2014. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 5739. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2007

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.800: Telha de fibrocimento, tipo pequenas ondas. Rio de Janeiro, 1993, 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.498: Placa de fibrocimento sem amianto - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2007

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8953: Concreto para fins estruturais — Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. 3ª Ed. Rio de Janeiro, 2015, 3p.

BALLESTEROS, J. E. M. Compósitos cimentícios com polpa celulósica tratada por hornificação e curado por carbonatação acelerada. 2018, 193 f. Tese (Doutorado) – curso Ciência da faculdade de zootecnia e Engenharia de Alimento da Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

BARBOZA, M. R.; BASTOS, P. S.. Traços de concreto para obras de pequeno porte. Bauru, 2008.

BERALDO, A. L.; NÄÄS, I. A.; FREIRE, W. J. Construções rurais: Materiais. Rio de Janeiro: **Livros Técnicos e Científicos Editora**, 1991, 65p.

CALISTER, W. D. Jr.. Compósitos. In: Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. CALISTER, W. D. Jr.. 5ª. Ed. LTC Editora. Rio de Janeiro, 2000, p. 358-382.

CBCS. CONSELHO NACIONAL DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. Aspectos da construção sustentável no Brasil e promoção de políticas públicas.: Versão 1. novembro, 2014.

CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). BOLETIM DA SAFRA DE GRÃOS, 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 20 de fev. de 2022.

CRUZ, J. C. Colheita e Pós-colheita. 3. ed. Brasília: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em:<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_sisal/arvore/CONT000fckl80cd02wx5eo0a2ndxynhaexhv.html>. 20 de fev. de 2022.

DANTAS, V. F. S. Potencial energético dos Resíduos da Cultura do Milho (*Zea mays* L.) e do Epicarpo do Pinhão Manso (*Jatropha curcas* L.). 2013. 46 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Florestais, Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

EMBRAPA. Ecofisiologia do milho, 2015. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column1&p_p_col_count=1&p_r_p_76293187_sistemaProducaoId=7905&p_r_p_-996514994_topicoId=8662>. 20 de fev. de 2022.

EMBRAPA. Espaço e Densidade, 2020. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_49_168200511159.html>. Acesso em 20 de fev. de 2022.

FARIAS, L. A.; LOPES, A. N. M.; STIVAL, M. L.; ANDRADE, M. A. S.; BITTENCOURT, R. M. Ensaio de Tração Direta em Corpos de Prova de Concreto, 2008. Disponível em: <http://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20081127104112-209.pdf>. Acesso em: 20 de fev. de 2022.

GAZZOLA, J.; SILVA, K. I. L.; DANNO, H. S.; MOREIRA, F. S. ANÁLISE DE QUALIDADE FÍSICA E MECÂNICA DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA DE PALHA DE SOJA. In: Congresso Brasileiro Digital de Geotecnia e Meio Ambiente (CBDGeoMA-2020). São Carlos, 2020

MONTEIRO, S. N. & ALMEIDA, J. R. M. Ensaio de *Pullout* em fibras lignocelulósicas – Uma metodologia de Análise. **Rev. Matéria**, v. 11, n. 3, pp. 189 – 196, 2006.

MOTTA, L. A. C.; AGOPYAN, V. Caracterização de Fibras Curtas Empregadas na Construção Civil. 2006. 16 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2007.

REDIN, M. et al. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. *Ciência Florestal*, [s.l.], v. 21, n. 2, p.381-392, 30 jun. 2011.

SANTOS, A. C. Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldadas. 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.

SILVA, D. W. Propriedades físico-mecânicas de fibrocimento reforçado com fibras de eucalipto tratadas termicamente. 2015. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de

Biomateriais, área de concentração em Compósitos e Nanocompósitos Lignocelulósicos, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2015.

TEIXEIRA, R. S. Utilização de resíduos sucro-alcooleiros na fabricação de fibrocimento pelo processo de extrusão. 2010. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.