

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DA FIBRA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO CONCRETO CONVENCIONAL

João Pedro de Freitas Pereira

Bacharelado do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (joaopedrofreitaspereira@hotmail.com)

Pamela Gomes Mesquita

Bacharelada do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (pamelames@outlook.com)

Wuarlley Batista de Oliveira

Bacharelado do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA (wbo03@icloud.com)

Agnaldo Antonio Moreira Teodoro da Silva

*Mestre, Docente da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA
(professoragnaldoantonio@gmail.com)*

RESUMO

A busca por melhorias do concreto, amplamente utilizado no setor da construção civil, é uma necessidade constante para aumentar a durabilidade e eficiência das estruturas. Com os avanços tecnológicos, a exploração de novos métodos e materiais visa melhorar sua resistência e durabilidade, resultando em construções mais seguras e ecologicamente corretas. Neste contexto, a incorporação de fibras naturais no concreto convencional tem despertado interesse como alternativa promissora para minimizar os impactos ambientais e reduzir a dependência de matérias-primas convencionais. O presente estudo experimental é uma análise comparativa entre o concreto convencional e o concreto com adição de fibras do bagaço de cana-de-açúcar com objetivo de verificar se esse resíduo traz melhorias significativas nas propriedades físicas e mecânicas do concreto, e analisar se há aumento na resistência e sua durabilidade em situações práticas. Por meio do ensaio de compressão de corpos de prova, foram examinados aspectos como resistência ao rompimento e redução de fissuras. Os resultados indicaram umidade excessiva nas amostras que receberam adição de fibras, comprometendo a resistência e a capacidade de suportar a carga esperada. Porém, apesar dos resultados iniciais, foi observado o aumento da resistência à compressão em ambos os casos após o período de 28 dias, o que sugere que as fibras poderiam exercer um efeito na resistência de acordo com seu tempo de cura, e que o pré-tratamento das fibras é visto como possível solução para resultados positivos do uso desse resíduo no futuro.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos; concreto; construção civil; bagaço de cana-de-açúcar.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um material de construção compósito, robusto e durável, formado pela combinação de cimento, água e agregados. Por ser um elemento de fácil acesso e simples manuseio, tornou-se um dos materiais mais utilizados na construção civil. Segundo Garcez (2005) o desenvolvimento tecnológico elevou consideravelmente a resistência à compressão, durabilidade e trabalhabilidade do concreto, mas apesar do progresso, ainda apresenta comportamento frágil, necessitando de reforços especiais.

A necessidade de materiais para a construção estrutural enfrenta diversos desafios em relação aos recursos naturais e a geração de resíduos. Sendo assim, como salientado por Berenguer (2018) a utilização de resíduos sustentáveis tem despertado interesse como alternativa viável para minimizar impactos ambientais e reduzir a dependência de matérias-primas convencionais.

O Brasil é visto como o maior produtor de cana-de-açúcar do planeta, nesse cenário a fibra do bagaço de cana-de-açúcar surge como resíduo favorável, e pode ser potencialmente aproveitado na construção civil. A incorporação de fibras no concreto é bastante utilizada como alternativa de reduzir fissuras, o que pode resultar em aumento de resistência mecânica nos materiais compósitos.

Para otimizar a aplicação de fibras no concreto, é necessário compreender a contribuição de cada tipo de fibra para o desempenho geral do material. As fibras de reforço podem ser fabricadas a partir de uma ampla gama de materiais, incluindo polímeros, vidro, aço e até mesmo fibras naturais. A combinação adequada de fibras pode resultar em modelos de comportamento confiáveis e precisos, proporcionando benefícios como aumento da resistência ao impacto, redução da retração plástica, aumento de resistência à fadiga e melhorias na durabilidade geral do concreto.

Outro aspecto importante é a distribuição uniforme das fibras dentro da matriz de concreto. A distribuição homogênea ajuda a garantir que as propriedades reforçadoras sejam maximizadas em toda a estrutura, proporcionando um desempenho consistente e confiável em todas as áreas. Além disso, a aplicação de fibras pode trazer benefícios significativos em termos de sustentabilidade.

Este estudo visa contribuir para o avanço do conhecimento sobre o uso da fibra da cana-de-açúcar na composição do concreto convencional por meio de pesquisas e ensaios laboratoriais. Para isso foram preparados 18 corpos de prova, destes, 9 receberam adição de fibras secas de diferentes comprimentos. Os 9 corpos de prova restantes foram mantidos com traço padrão, sendo utilizado de referência para analisar as propriedades de resistência à compressão de cada amostra.

Espera-se que os resultados forneçam percepções sobre o potencial uso da fibra como reforço sustentável para o concreto, contribuindo para a busca de soluções mais eficientes ambientalmente na construção civil.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCRETO ARMADO

Na definição de França (2004), o concreto é um material composto por cimento, agregado fino, agregado denso, água e eventualmente aditivos químicos. Os aditivos são

incorporados a pasta com finalidade de melhorar ou modificar certas reações e propriedades do concreto em seus diferentes estágios, fresco e endurecido.

A pasta do concreto simples é feita de cimento e água para envolver o agregado, preencher os vazios e unir os grãos formando uma massa densa. A função do agregado com os outros materiais é fornecer condições de resistir as tensões e desgastes, após a mistura se obtém um concreto novo e uniforme, que endurece com o tempo de cura devido reações químicas entre o cimento e a água, aumentando sua resistência. Conforme citado por Helene (2007), mesmo sendo o material mais recente na construção de estruturas, é considerado uma das descobertas mais incríveis na história do desenvolvimento da humanidade.

O concreto armado surgiu da necessidade de se aliar resistência, compressão e durabilidade com as resistências mecânicas, com as vantagens de ser moldado com rapidez e agilidade. O concreto armado é a associação do concreto simples com um material com capacidade de resistir a tração, como o aço, porém deve haver solidariedade entre ambos os materiais para resistir aos esforços solicitantes. A utilização do aço no concreto só é possível devido alguns fatores, como a junção do aço e do concreto assegurado pela aderência entre esses materiais, os dois elementos possuem coeficientes de dilatação térmica praticamente iguais, e o concreto proteger o aço da armadura de oxidação, garantindo durabilidade da estrutura Coêlho (2008).

A combinação de propriedades de resistência do concreto com a capacidade alta de carga do aço, apresenta uma série de vantagens significativas, mas há também desafios a serem considerados. Uma das principais vantagens do concreto armado é sua versatilidade, isso torna possível criar diferentes formas e estruturas para atender a diferentes requisitos funcionais. De acordo com Reis (2010), o concreto armado é uma ferramenta versátil que pode criar estruturas complexas e inovadoras. Além disso, o concreto armado possui excelente resistência e é adequado para suportar cargas pesadas. Isso é imprescindível em edifícios grandes e amplas estruturas.

Outra grande vantagem é sua durabilidade. A resistência à corrosão do concreto e do aço confere às estruturas de concreto uma longa vida útil e uma necessidade reduzida de manutenção. Como mencionado por (Zhang *et al*, 2021), a percepção é de que o concreto armado é uma solução durável, oferecendo vantagens econômicas e benefícios estruturais significativos.

Porém, o concreto armado também apresenta algumas desvantagens, como o peso da estrutura, um maior tempo para execução da obra, maior custo e as reformas e adaptações são de difícil execução. Em ambientes corrosivos o material pode exigir aplicação de tecnologias de proteção adicionais para garantir a durabilidade a longo prazo. Apesar dessas deficiências, a importância do concreto na engenharia não pode ser negada, sua aplicação desde pequenas estruturas até construções de médio e grande porte desempenha um papel essencial no desenvolvimento urbano. Segundo (Silva *et al*, 2020), é evidente a viabilidade econômica e a eficácia do concreto armado na engenharia estrutural contemporânea.

Simplificando, o concreto armado desempenha um papel importante na indústria da construção, oferecendo uma combinação única de resistência, durabilidade e adaptabilidade. Apesar das dificuldades, tem mais vantagens que desvantagens, não é apenas uma escolha popular, mas também importante para a criação de novas estruturas, obras que apoiem o desenvolvimento e construção de novas cidades.

2.2 CONCRETO ARMADO COM FIBRAS

O concreto com fibras se caracteriza pela baixa capacidade de deformação antes do ponto de ruptura. Esse tipo de concreto faz parte de uma classe de compósitos constituída por uma matriz frágil com algum tipo de reforço, Callister Jr. (2013) classifica os compósitos em três grupos: os particulados, os fibrosos e os estruturais, conforme a morfologia dos elementos de reforço. Dentre esses compósitos, a forma fibrosa apresenta melhor desempenho em relação à resistência e à rigidez, impedindo que deformações resistentes atinjam seus estados limites.

Segundo (Barros *et al*, 2021), realizou estudos recentes enfatizando o ganho de tenacidade, aumento de resistência à ruptura, melhora no comportamento à tração, redução de deformação sob esforços e controle de fissuras como contribuições essenciais para a durabilidade das estruturas.

As fibras são apresentadas em diversas formas e tamanhos, podendo ser em fios ou mantas, de modo contínuo ou descontínuo, alinhadas ou distribuídas, como explica Silva (2003), e são classificadas como naturais, sintéticas ou metálicas. O primeiro grupo que engloba as fibras encontradas em meio natural inclui fibras de sisal, coco, piaçava, bagaço de cana-de-açúcar e palha de arroz, fibras de minerais de asbestos e fibras de animais, como lã, seda ou crinas de cavalo. A Tabela 1 mostra valores de resistência e módulo de elasticidade para vários tipos de fibras.

Tabela 1 - Valores de resistência mecânica e módulo de elasticidade para tipos de fibras e matrizes

Material	Diâmetro $\varnothing$	Densidade (g/cm ³)	Módulo Elasticidade (GPa)	Resistência à tração (GPa)	Deformação na ruptura (%)
Aço	5-500	7,84	190-210	0,5-2	0,5-3,5
Gvidro	set/15	2,6	70-80	2-4	2-3,5
Amianto	0,02-0,4	2,6	100-200	3-3,5	2-3
Polipropileno fibrilado	20-200	0,9	1-7,7	0,5-0,75	8
Kevlar	10	1,45	65-133	3,6	2,1-4,0
Carbono	9	1,9	230	2,6	1
Nylon	-	1,1	4	0,9	13-15
Celulose	-	1,2	10	0,3-0,5	-
Acrílico	18	1,18	14-19,5	0,4-1,0	3
Poliétileno	-	0,95	0,3	0,7x10-3	10
Fibra de madeira	-	1,5	71	0,9	-
Sisal	10-50	1-50	-	0,8	3

Fonte: Bentur; Mindess, 1990.

As fibras sintéticas são geralmente derivadas de polímeros orgânicos resultantes da indústria petroquímica e têxtil. De acordo com Garcez (2005), entre as mais utilizadas estão as fibras acrílicas, de poliamida (aramida), de nylon, poliéster, de polietileno, polipropileno e de carbono. Foram desenvolvidas com intuito de melhora nas características

e propriedades das fibras naturais, conforme sua utilização foi crescendo, novas tecnologias foram empregadas em sua produção.

Se tratando das fibras metálicas, existe uma ampla variedade de opções disponíveis para reforçar o concreto, incluindo aço carbono, suas ligas e alumínio. Destaca-se a fibra de aço, que é utilizada em elementos estruturais devido ao seu alto módulo de elasticidade. (Wang *et al*, 2022), salienta que a eficácia dessa fibra melhora a tenacidade, controle de fissuras e resistência à flexão e à fadiga. A utilização das fibras de aço no concreto proporciona melhora no comportamento dos componentes estruturais, reduzindo a formação de fissuras, o que aumenta a qualidade da estrutura e sua durabilidade.

Uma das principais vantagens do concreto reforçado com fibras é a sua maior resistência à tração. Segundo Reis (2010), a adição de fibras ao concreto desempenha um papel importante na melhoria da sua capacidade de suportar tensões e deformações dinâmicas.

Outra vantagem significativa é a alta resistência do material. Segundo (Oliveira *et al*, 2023), o concreto reforçado com fibras possui capacidade superior de absorver energia antes da ruptura, o que o torna mais resistente ao impacto e ao carregamento cíclico. Além disso, conforme documentado por alguns estudos, as fibras ajudam a controlar a retração do concreto durante a cura e a reduzir a ocorrência de fissuras por retração.

Seja qual for a área de aplicação das fibras, a inserção do material normalmente visa aprimorar as propriedades mecânicas, elevando a tenacidade. Segundo (Martineau *et al*, 2002), o emprego de fibras visa reduzir o processo de fissuração, já que atuam como ponte de transferência dos esforços. A incorporação de fibras no material ocasiona o reforço da peça de maneira global, porém é necessário salientar que, de modo geral, a utilização de fibras não substitui a eficiência e o uso das armaduras convencionais, além disso, o controle de qualidade deve contemplar critérios para qualificação das fibras e dos compósitos, conforme NBR 16938 (ABNT 2021).

No entanto, o uso de concreto reforçado com fibras também apresenta desvantagens. Muitos autores salientam que o custo inicial deste tipo é superior ao custo do concreto convencional, no caso das fibras metálicas ou sintéticas, além da eficácia das fibras dependerem da sua consistência e distribuição na hora do preparo. A compatibilidade das fibras com aditivos e outros materiais ao concreto pode ser problemática, o que pode afetar as propriedades finais (Banthia e Gupta, 2006).

Apesar das desvantagens mencionadas, o concreto reforçado com fibras continua a ser uma escolha popular e eficaz para diversas aplicações de construção devido às suas grandes vantagens em termos de resistência, durabilidade e desempenho sob condições difíceis. Além disso, a evolução contínua das tecnologias da produção de fibras e métodos de misturas tem permitido uma maior variedade e otimização das propriedades do concreto reforçado, atendendo às necessidades específicas de diferentes setores da construção. Em Essa versatilidade, torna-o uma escolha versátil para aplicações estruturais.

2.3 CONCRETO COM FIBRAS NATURAIS

As fibras naturais são classificadas como vegetais, animais ou minerais, dependendo de sua origem, dentre estas, a fibra vegetal tem sido destaque por ser uma matéria-prima renovável. Apesar do desempenho das fibras sintéticas muitas vezes se mostrarem superior às fibras naturais, existe a necessidade de proteção ao meio ambiente devido às agressões causadas por processos industriais, reduzir a dependência de

recursos não renováveis e promover o desenvolvimento. A Tabela 2 mostra a classificação das fibras naturais, com exemplos de cada classe, destacando ainda mais sua importância e diversidade no contexto da construção civil.

Tabela 2 - Classificação das fibras naturais

Vegetais	Folhas: Sisal, Curauá
	Talo: Juta, Rami, Linho Piaçava, Cânhamo
	Caule: Bambu, Bagaço de cana
	Fruto: Bambu, Bagaço de cana

Fonte: Picanço, 2005.

Segundo Levy Neto e Pardini (2006) mesmo apresentando propriedades diferentes entre as classes, podem ser enumeradas as vantagens e desvantagens do uso da fibra natural no concreto. Entre as vantagens têm-se baixa massa específica, maciez e abrasividade reduzida, material reciclável, baixo custo e baixo consumo de energia. Algumas desvantagens que são citadas pelos autores são influências referentes ao solo, alta sensibilidade aos efeitos ambientais, seções transversais geométricas não uniforme, variabilidade de propriedades mecânicas, entre outras.

Normalmente, as fibras naturais apresentam baixo módulo de elasticidade e alta resistência à tração (Silva *et al.*, 2021). Essas características conferem-lhes uma maior resistência ao impacto quando incorporadas em matrizes de base cimentícias, devido a capacidade de absorver energia, à habilidade de trabalhar em um estado pós-fissurado e elevação de potencial de isolamento acústico.

A capacidade de absorção de água e inchaço das fibras naturais pode resultar na redução da adesão da fibra ao concreto, o que causa preocupações quanto à durabilidade. Uma boa adesão do material é essencial para resistir a transmissão de forças atuantes e existem métodos que melhoram a resistência, como limpeza da superfície das fibras e uso substâncias que reagem diminuindo a capacidade da fibra de absorver água, aumentando sua rugosidade e melhorando o processo de transferência de tensão.

2.4 ESTUDOS COM BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

O bagaço de cana-de-açúcar é um produto fibroso sólido gerado na saída da última moenda, após a extração do caldo. É essencialmente constituído por celulose, um polímero da glicose; hemicelulose, composta por açúcares; e por lignina, material estrutural da planta, responsável pela rigidez, impermeabilidade e resistência a ataque aos tecidos vegetais.

Existem inúmeras possibilidades para o uso do bagaço da cana-de-açúcar, incluindo para cogeração de energia, álcool de segunda geração, uso das cinzas na construção civil, uso como substrato para mudas e uso na alimentação animal (Souza *et al.*, 2015). Muitas pesquisas têm se concentrado no aproveitamento desse resíduo, mas o uso principal do subproduto tem disso a cogeração de energia elétrica, que inclui todo o processo de conversão da cana de açúcar.

O bagaço fornece uma ampla gama de biocombustíveis sólidos, que têm sido utilizados principalmente em sistemas industriais de cogeração. A cogeração é feita através da queima de caldeiras, produzindo vapor, que é posteriormente convertido em eletricidade,

o que garante a autossuficiência das estações. Embora o bagaço possua um valor calórico relativamente baixo em comparação com outros combustíveis tradicionais, o bagaço da cana-de-açúcar apresenta um valioso potencial energético, especialmente em países onde o combustível não está significativamente disponível. (Santos *et al.*, 2022), destaca a importância do aproveitamento do resíduo como uma fonte de energia renovável e sustentável.

Na indústria da construção civil, na linha de pesquisa de materiais e componentes, diversos estudos indicam a utilização do bagaço da cana-de-açúcar, na forma de cinza, como o melhor uso no concreto. A viabilidade da cinza foi demonstrada como substituição parcial do cimento em argamassa, concreto ou substituição de agregados. (ABREU *et al.*, 2021).

Estudos demonstraram que a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA) pode ser classificada como pozolona, devido à melhoria significativa nas propriedades físicas e mecânicas do concreto endurecido. A CBCA possui propriedades semelhantes à cinza da casca de arroz, seu menor tamanho de partícula, alta porosidade e principalmente sua composição química com massa silicada lhe confere um enorme potencial para ser incorporado no cimento Portland.

Em um estudo feito pela equipe liderada por Almir Sales, engenheiro civil e professor da Universidade Federal de São Carlos, constatou que entre 30% e 50% da areia pode ser substituída por cinzas. Além de manter as propriedades físicas e mecânicas do concreto de alta qualidade, também traz benefícios. Dentro desta faixa de compensação, o ganho de resistência do concreto com cinzas pode ser 20% maior que o do concreto normal.

Em 2023, pesquisadores da University of East London (UEL) juntamente com arquitetos da empresa Grimshaw e a Tate and Lyle Sugar, fabricante de açúcar, se reuniram para criar um projeto inovador, um concreto com o bagaço de cana-de-açúcar, chamado Sugarcrete. O projeto visa desenvolver soluções de baixo carbono para engenharia, uma vez o setor é responsável por 34% da procura de energia e 37% das emissões de dióxido de carbono, de acordo o relatório da Pnuma. O material apresenta propriedades mecânicas, acústicas, de fogo e térmicas de alta qualidade, tendo sido testado de acordo com os padrões da indústria para resistência ao fogo, compressão, condutividade térmica e durabilidade.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O presente trabalho é um programa experimental comparativo entre o concreto convencional e o concreto com adição de fibras do bagaço da cana-de-açúcar, visando aprofundar a compreensão das propriedades, mecânicas destes materiais. Por meio do ensaio de compressão de corpos de prova, busca-se examinar aspectos, como resistência ao rompimento e redução de fissuras. Aprofundar a compreensão das propriedades mecânicas é essencial não apenas para garantir a segurança e a qualidade do concreto como explorar novas possibilidades de materiais sustentáveis e eficientes. A partir dos resultados é possível avaliar de forma mais precisa o desempenho desses materiais, estas são variáveis fundamentais na determinação da qualidade e durabilidade das estruturas de concreto.

3.1 MATERIAIS

Baseado na NBR 16935 (ABNT, 2021), foi determinada a relação de materiais de 1:1,3:1,6:0,7:0,55. O traço referência foi calculado para obtenção de resistência à compressão, aos 28 dias, igual a 25 MPa. Os materiais utilizados foram areia média, brita 1, brita 0, cimento CP V ARI RS (cimento Portland de alta resistência inicial) e água.

A areia é considerada um agregado miúdo resultante da degradação de rochas. Ela é uma peça importante na preparação do concreto, pois seu uso evita a perda de umidade que evita a aparição de rachaduras e trincas. Pode ser classificada como fina, média ou grossa e sua classificação granulométrica é visualizada na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação granulométrica da Areia pela NBR 7211 (ABNT, 2005)

Areia grossa:	2 a 1,2 mm
Areia média	1,2 a 0,42 mm
Areia fina:	0,42 a 0,075mm

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2005)

O experimento foi realizado com a areia média seca. De acordo com a NBR 7211 ABNT (2005), a composição granulométrica desse tipo de agregado miúdo com propriedades adequadas é variável entre 1,2 e 0,42 mm.

As britas são classificadas pela NBR 7211 (ABNT, 2005), como agregado graúdo, cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos com abertura de malha de 4,75 mm, conforme ensaio da NBR NM 248 (ABNT, 2003), utilizando peneiras definidas pela NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 2010). A Figura 1 mostra que para composição do traço foram utilizadas brita 1 e brita 0.

Figura 1 - Brita 1 e Brita 0



Fonte: Autores, 2024.

O cimento escolhido para os testes foi o CP V ARI RS (cimento Portland de alta resistência inicial), da marca Ciplan, composto por clínquer Portland e silicatos de cálcio, podendo conter adição de mais formas de sulfato de cálcio durante a operação, especificado pela NBR 5733 (ABNT, 1991). Foi escolhido por apresentar alta resistência inicial, proporcionando rápido desenvolvimento de cura, fundamental em aplicações onde o tempo é um fator crítico, como em obras de construção civil. Também oferece excelente

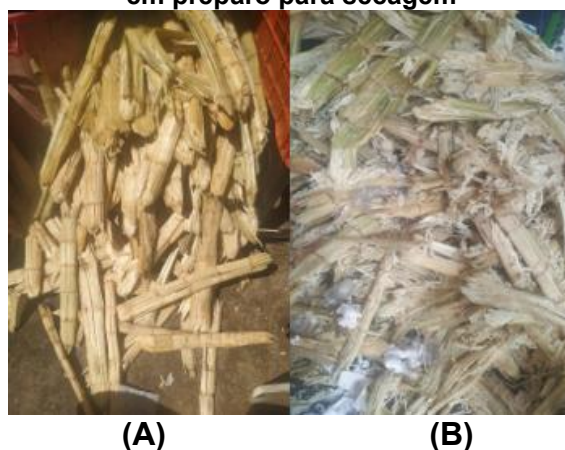
resistência final, garantindo longevidade e estabilidade da estrutura onde esse tipo de cimento é utilizado, reduzindo a necessidade de manutenção e reparos futuros.

A água é fundamental no traço do concreto, tão importante quanto o cimento. Ela causa as reações de endurecimento e é utilizada no processo de cura, chegando a representar 20% do volume do concreto. A estrutura interna da pasta é determinada pela qualidade do concreto, que está diretamente relacionada ao fator água/cimento, resistência, durabilidade e retração. Para produção de um concreto com durabilidade, nos padrões elevados de qualidade, é necessário utilizar a água mais limpa possível, sem cheiro, gosto, sais, ácidos, óleos ou materiais orgânicos, evitando queda da resistência ou alteração no tempo de pega.

3.2 CONCRETO COM BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Para composição das misturas contendo as fibras naturais, optou-se por manter a proporção dos constituintes em relação às amostras de referência, seguindo a relação 1:1,3:0,04:1,6:0,7:0,55. A obtenção do material se iniciou com a coleta do bagaço em uma feira local na cidade de Anápolis. Foi recolhida aproximadamente 500g do produto *in natura* para desenvolvimento do estudo. A Figura 2 mostra o estado inicial do bagaço antes da secagem, e em seguida a preparação do material para a etapa de secagem, importante para o manuseio e incorporação das fibras no concreto analisado. Este método garante a adequada preparação do material, primordial para assegurar a uniformidade e garantir um padrão consistente das amostras.

Figura 2 - (A) Bagaço *in natura*; (B) Bagaço em preparo para secagem



Fonte: Autores, 2024.

O procedimento de secagem foi feito levando o bagaço recolhido para estufa regulada para temperatura a 100°C. O material foi disposto em bandejas metálicas, conforme mostram as Figuras 3 e 4.

Figura 3 - Material em secagem na estufa



Fonte: Autores, 2024.

Figura 4 – Bagaço pronto para uso



Fonte: Autores, 2024.

Devido o bagaço da cana-de-açúcar apresentar alto teor de umidade, foi necessário um período de secagem prolongado de 7 dias em estufa. A secagem visa remover o líquido do interior das fibras, a fim de evitar qualquer interferência no traço do concreto. A secagem também teve como objetivo reduzir o peso e volume das fibras, garantindo a uniformidade do material final. Este procedimento foi crucial para garantir a integridade e consistência do concreto com adição de fibras durante os ensaios e a análise.

3.3 DOSAGEM

Para execução prática foram confeccionados 18 corpos de prova de concreto cilíndricos, para serem submetidos ao ensaio de compressão. O ensaio foi realizado em laboratório na Universidade Evangélica de Goiás.

A confecção do concreto foi executada com auxílio de uma betoneira, garantindo uma mistura mais uniforme. As fibras vegetais foram adicionadas como os últimos componentes à mistura. A Tabela 4 apresenta as características dos traços utilizados, sendo observada que a única alteração entre os traços foi a adição das fibras.

Tabela 4 - Traços produzidos

Traço	Fibras (%)	Areia (kg)	Brita 0 (kg)	Brita 1 (kg)	Cimento (kg)	Água (L)
Sem Fibras	-	8,65	4,63	10,81	6,62	4
Com Fibras	4,53	8,65	4,63	10,81	6,62	4

Fonte: Autores, 2024.

Os corpos de prova cilíndricos possuem dimensões de 100 mm x 200 mm, moldes foram preparados com uma fina camada de óleo para receber o concreto. Em conformidade com a norma NBR 5738 (ABNT, 2015), o concreto foi lançado nos moldes em três camadas, sendo aplicados 12 golpes entre cada uma delas, garantindo maior compactação e uniformidade. Após moldadas, cada amostra foi etiquetada para identificação, como ilustrado nas Figuras 5 e 6. Após os corpos de prova serem desenformados, foram levados para câmara úmida, seguindo o procedimento para o processo de cura.

Figura 5 - Amostras sem adição de fibra



Fonte: Autores, 2024.

Figura 6 - Amostras com adição de fibra



Fonte: Autores, 2024.

3.4 ENSAIOS

As propriedades das amostras foram avaliadas por meio do ensaio de resistência à compressão. Foram ensaiados 3 corpos de prova de cada traço com idade de 7, 14 e 28 dias. Nas figuras 7, 8 e 9, é possível observar a consistência e aparência das amostras em cada período.

As amostras foram colocadas entre duas placas de compressão, chamadas de pistões em um equipamento que aplica uma força controlada, diminuindo assim o seu volume até a amostra chegar à falha ou até atingir certo nível de deformação. O equipamento registra os dados da força para analisar o comportamento do material sob

compressão. No experimento, utilizou-se a máquina universal de testes com capacidade para 5 toneladas. As Figuras 10, 11 e 12 ilustram as amostras após o rompimento.

Figura 7 - Amostras após 7 dias



Fonte: Autores, 2024.

Figura 8 - Amostras após 14 dias



Fonte: Autores, 2024.

Figura 9 - Amostra após 28 dias



Fonte: Autores, 2024.

Figura 10 - Rompimento das amostras com e sem as fibras, respectivamente, após 7 dias



Fonte: Autores, 2024.

Figura 11 - Rompimento das amostras com e sem as fibras, respectivamente, após 14 dias



Fonte: Autores, 2024.

Figura 12 - Rompimento das amostras com e sem as fibras, respectivamente, após 28 dias



Fonte: Autores, 2024.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos resultados dos ensaios permite compreender o impacto da adição das fibras na capacidade resistente à compressão dos corpos de prova, dessa forma, as Tabelas 5 e 6 apresentam uma visão geral dos valores finais obtidos em relação à carga de ruptura e tensão das amostras, fornecendo uma compreensão detalhada do comportamento do concreto reforçado com fibras.

Analizando os dados das Tabelas 5 e 6, percebe-se que as amostras que receberam fibras de cana-de-açúcar aos 7 dias de idade não apresentaram resistência satisfatória devido ao fato da capacidade de absorção de umidade das fibras, o que reduz significativamente sua resistência. Isso pode ser atribuído a presença de água nas fibras, que interfere na hidratação do cimento e desenvolvimento da resistência. Além disso, a distribuição não uniforme dessas fibras pode resultar em pontos de concentração de tensões, levando a falhas prematuras das amostras.

Tabela 5 - Resultados obtidos de resistência à compressão para as amostras sem adição de fibra

Id. CP	Idade (Dias)	Carga Ruptura (kgf)	Seção (cm ²)	Tensão Ruptura (MPa)	Média	Desvio Padrão
01	7	14.060	78,54	17,6	18,0	0,36
02	7	14.150	78,54	18,1		
03	7	14.630	78,54	18,3		
04	14	15.710	78,54	19,6	21,3	1,51
05	14	17.650	78,54	22,0		
06	14	17.920	78,54	22,4		
07	28	18.710	78,54	23,4	23,0	0,87
08	28	18.850	78,54	23,6		
09	28	17.650	78,54	22,0		

Fonte: Autores, 2024.

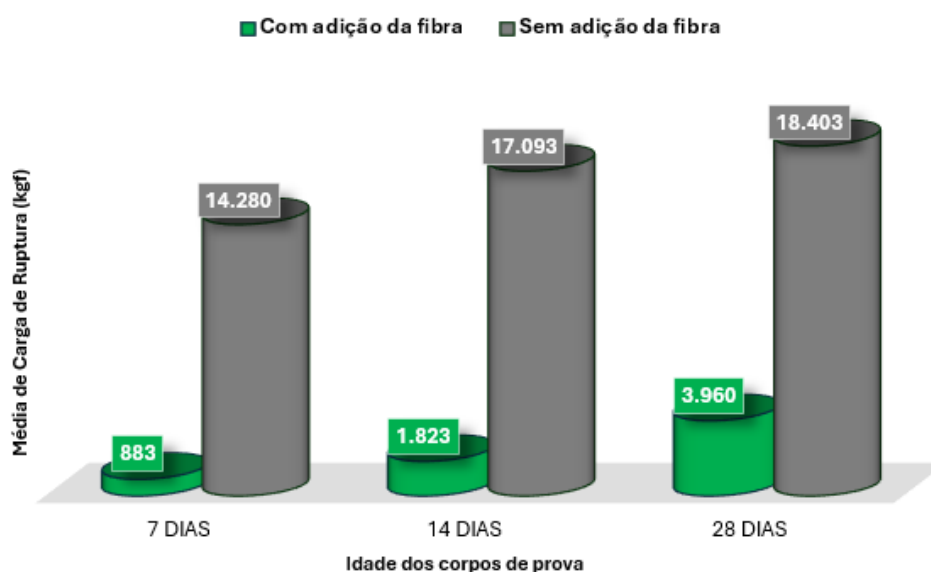
Tabela 6 - Resultados obtidos de resistência à compressão para as amostras com adição de fibra

Id. CP	Idade (Dias)	Carga Ruptura (Kgf)	Seção (cm ²)	Tensão Ruptura (MPa)	Média	Desvio Padrão
01	7	1.290	78,54	1,6	1,1	0,44
02	7	710	78,54	0,9		
03	7	650	78,54	0,8		
04	14	1.350	78,54	1,7	2,3	0,60
05	14	2.340	78,54	2,9		
06	14	1.780	78,54	2,2		
07	28	2.160	78,54	2,7	5,0	2,00
08	28	4.570	78,54	5,7		
09	28	5.150	78,54	6,5		

Fonte: Autores, 2024.

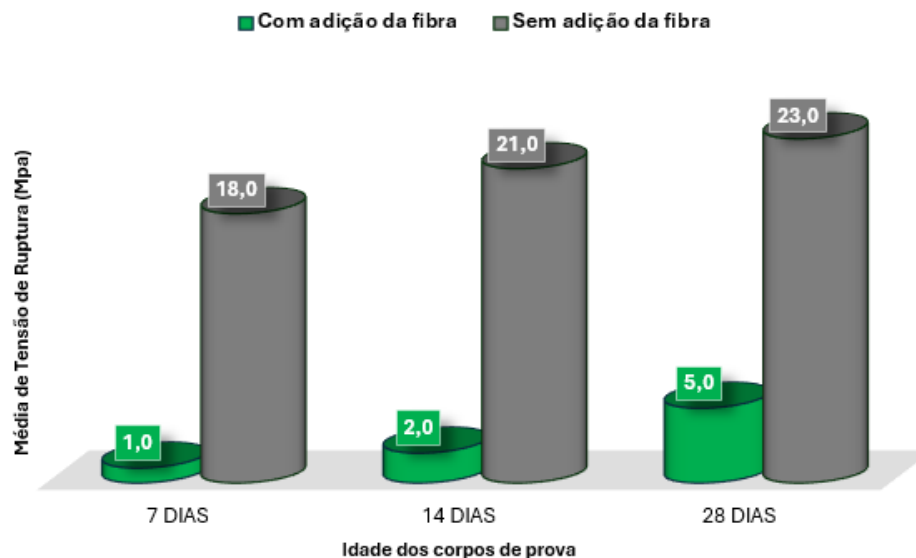
Na idade de 7 dias as cargas máximas suportadas pelas amostras que receberam a fibra foram de 1.290 kgf sem apresentar fissuras. Por outro lado, os corpos de prova que seguiram o traço referência suportaram uma carga significativamente maior, de 14.630 kgf antes da fissuração. Diante dos resultados decidiu-se remover as amostras contendo fibras da câmara úmida após 7 dias para secagem completa das amostras. O procedimento foi realizado para investigar se a secagem poderia causar aumento na resistência. Porém é importante ressaltar que apesar dos resultados iniciais desfavoráveis, tanto as amostras referência quanto as amostras com fibras apresentaram aumento de resistência após 28 dias, como ilustra nas Figuras 13 e 14. Esses resultados reforçam a importância de considerar não somente os resultados iniciais, mas também o desenvolvimento a longo prazo para avaliar o potencial da aplicação do resíduo no concreto.

Figura 13 - Média da carga de ruptura no ensaio de compressão



Fonte: Autores, 2024.

Figura 14 - Média de tensão de ruptura no ensaio de compressão



Fonte: Autores, 2024.

Os resultados sugerem que embora o excesso de umidade inicial tenha efeito negativo na resistência das amostras de fibra, o processo de cura a longo prazo permitiu um aumento de resistência nos corpos de prova. Isto mostra a importância de considerar não só os resultados imediatos dos ensaios, mas o comportamento do material ao longo do tempo. Esta abordagem proporciona uma compreensão mais completa do desempenho do concreto de bagaço de cana-de-açúcar sob diferentes condições de cura.

Além da baixa resistência observa-se que o bagaço prejudicou a coesão entre os materiais, que mesmo com a pequena carga, o índice de ruptura e descolamento principalmente nos locais de aplicação da carga, a baixa resistência e o alto índice fissuração demonstra a necessidade de tratamento das fibras com intuito de melhorar a coesão dos materiais.

5 CONCLUSÃO

Existe hoje um desafio cada vez mais urgente: lidar com a enorme quantidade de resíduos lançados no meio ambiente. Neste contexto, a indústria da construção desempenha um papel crucial, por ser um dos principais produtores de resíduos sólidos. Devido a esse cenário, há a necessidade desta indústria adotar práticas mais sustentáveis e responsáveis e buscar alternativas para reutilizar e reciclar materiais ao invés de simplesmente jogá-los fora.

Uma dessas opções promissoras é o bagaço da cana, um rico subproduto da indústria sucroalcooleira. Historicamente, estes resíduos têm sido desviados para utilizações secundárias, como alimentação animal ou compostagem. Porém, estudos recentes investigaram seu potencial como material de construção devido à sua disponibilidade e propriedades físico-químicas.

Na fase inicial de produção do material, descobriu-se que a cana absorve uma quantidade significativa de umidade, o que prejudicou seriamente o resultado final do concreto. Este fenômeno dificultou a obtenção de uma mistura homogênea e suficiente, o que afetou diretamente a qualidade do produto final.

A resistência do concreto contendo o bagaço da cana-de-açúcar foi significativamente menor em comparação ao concreto convencional, cerca 86,54% inferior, resultando em um alto índice de fissuração. Além de comprometer a durabilidade e a segurança estrutural, este resultado também levanta preocupações sobre a viabilidade técnica e econômica desta abordagem.

Supõem-se que a falta de pré-tratamento da cana-de-açúcar pode ter sido um dos principais fatores que contribuíram para os resultados insatisfatórios. O excesso de umidade absorvida pelo bagaço durante a mistura e cura do concreto comprometeu sua coesão com os demais componentes, comprometendo sua resistência.

Considerando essas descobertas, é necessário pesquisar e desenvolver métodos eficazes para tratar esses resíduos antes de incorporá-los ao concreto. Esta é a única forma de avaliar com precisão o seu verdadeiro potencial como material de construção sustentável.

Em resumo, embora a cana-de-açúcar ofereça um potencial interessante como recurso alternativo para construção, os resultados deste estudo indicam que ainda há desafios a serem enfrentados. No entanto, com investimentos em investigação e desenvolvimento, é possível que estes resíduos se tornem uma parte valiosa da transição para práticas de construção mais sustentáveis e ambientalmente responsáveis.

REFERÊNCIAS

ABREU, Ennes do Rio *et al.* **Avaliação das características do concreto produzido com a cinza do saco da cana-de-açúcar em substituição parcial do cimento Portland e sua viabilidade econômica.** 2021.

AGOPYAN, V., **Materiais reforçados com fibras para construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais.** São Paulo, 1991. 204p. Tese (livre-docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Agregados – Determinação da composição granulométrica.** Classificação, NBR NM 248. Julho, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Agregados para concreto - Especificação.** Classificação, NBR 7211. Março, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Cimento Portland de alta resistência inicial.** Classificação, NBR 5733. Julho, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Classificação, NBR 5739. Julho, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Classificação, NBR 5738. Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Concreto reforçado com fibras – Controle da qualidade**. Classificação, NBR 16938. Fevereiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico (ISSO 3310-1:2000, IDT)**. Classificação, NBR NM ISO 3310-1. Outubro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras – Procedimento**. Classificação, NBR 16935. Fevereiro, 2021.

BANTHIA, N.; GUPTA, R. **Influence of fiber characteristics on the mechanical Properties of high-strength concrete**. Journal of Materials in Civil Engineering, 18(1), 41-46, 2006.

BARROS, A. M.; ALMEIDA, L. A.; GONÇALVES, T. D.; SILVA, R. S. **Influência da adição de fibras de polipropileno no comportamento mecânico e durabilidade do concreto reforçado**. Revista de Engenharia Civil, V. 5, Ed. 1, 2021.

BERENGUER, R. A. **A influência das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar como substituição parcial do cimento na resistência à compressão de argamassa**. Revista ALCONPAT, v.8, n.1, p. 30-37, 2018.

CALLISTER, Jr.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Tradução de Sergio Murilo Stamile Soares, revisão técnica de José Roberto Moraes d'Almeida, 8º ed. Rio de Janeiro, 2013.

COELHO R. S. A. **Concreto armado na prática**. São Luís: UEMA Ed., 2008.

FRANÇA, Esdras Poty de. **Tecnologia Básica do Concreto**. In: Apostila Curso Engenharia de Produção Civil. Disciplina materiais de construção. CEFET. Belo Horizonte, 2004.

GARCEZ, E. O. **Análise teórico-experimental do comportamento de concretos reforçados com fibras de aço submetidos a cargas de impacto**. Dissertação (Mestrado em Estruturas) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, PPGEC, UFRGS. Porto Alegre, 2005.

HELENE, P. ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de materiais. São Paulo: Ibracon, 2007.

LEVY NETO, F.; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. 1ª edição. São Paulo, Blucher, 2006.

MARTINEAU, P.; AGOPYAN, V. **Conferência Magna I** – Compósitos: material inovador. In: Arquimacom'2002. São Paulo, 2002.

NEVILLE, A. **Fiber reinforced cement & concrete** – RILEM Symposium, 1975. P 459-, 1975.

OLIVEIRA, R. M.; SANTOS, F. P.; CARVALHO, D. M.; SILVA, M. A. **Influência da adição de fibras de polipropileno no comportamento mecânico e durabilidade do concreto reforçado**. Revista Engenharia Civil, Vol. 7, Ed. 2, 2023.

PICANÇO, M. S. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras de cuarauá**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

REIS, M. C. **Concreto armado: fundamentos e aplicações**. LTC Editora, 2010.

SANTOS, A. L.; SILVA, M. J.; OLIVEIRA, R. F.; LIMA, C. A. **Aproveitamento do bagaço de cana-de-açúcar como fonte de energia renovável: uma revisão sistemática da literatura**. Revista Energia Sustentável, Vol. 9, Ed. 1, 2022.

SILVA, J. R.; OLIVEIRA, F. A.; PEREIRA, F. S. **Análise comparativa do custo do concreto armado e pré-moldado**. Congresso Brasileiro de Engenharia Civil (COBEC), 2020.

SILVA, J. R.; OLIVEIRA, F. A.; PEREIRA, F. S. **Influência da adição de fibras naturais na resistência ao impacto e propriedades mecânicas do concreto reforçado**. Revista Engenharia Civil, Vol. 6, Ed. 3, 2021.

SILVA, R. V. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. Ciência e Engenharia de Materiais. USP. São Carlos, 2003.

SOUZA, A. C.; FUGITA, F. I.; SOUSA, A. H.; BOFO, D. C. S.; **Estudo das aplicações do bagaço da cana-de-açúcar dentro e fora das indústrias sucroalcooleiras**. Vol. 21, n. 01, 2015.

Sugarcrete: **Conheça o Concreto Inovador Feito a Partir do Bagaço de Cana-de-açúcar**. Disponível em: <<https://www.udop.com.br/noticia/2023/06/22/sugarcrete-conheca-o-concreto-inovador-feito-a-partir-do-bagaco-de-cana-de-acucar.html>>. Acesso em: 2024.

WANG, Y.; ZHANG, X.; WANG, L.; CHEN, H. **Effect of steel fiber content on mechanical Properties of lightweight aggregate concrete**. Materials Science fórum, Vol. 1038, 2022.

ZHANG, H. Q.; TANG, X. Q. **Durability of Reinforced Concrete Structures under Combined Freeze-Thaw and Chloride Attack**. Revista Materials, Volume 14, Edição 18, 2021.