

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia de Materiais e Construção

Daniel dos Santos Alves

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE FIBRAS VEGETAIS E
SINTÉTICAS UTILIZADAS EM MATERIAIS COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

Belo Horizonte

2023

Daniel dos Santos Alves

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE FIBRAS VEGETAIS E
SINTÉTICAS UTILIZADAS EM MATERIAIS COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

Monografia de especialização apresentada
à Escola de Engenharia da Universidade
Federal de Minas Gerais, como requisito
parcial à obtenção do título de Especialista
em Construção Civil.

Área: Gestão e Tecnologia da Construção
Civil

Orientador(a): Prof^ª. Marys Lene Braga Almeida

Belo Horizonte

2023

A474a

Alves, Daniel dos Santos.

Avaliação do comportamento mecânico de fibras vegetais e sintéticas utilizadas em materiais compósitos cimentícios [recurso eletrônico] / Daniel dos Santos Alves. – 2023.

1 recurso online (47 f.: il., color.) : pdf.

Orientadora: Marys Lene Braga Almeida.

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Bibliografia: f. 43-47.

1. Construção civil. 2. Materiais de construção. 3. Fibras. 4. Fibras sintéticas. 5. Sustentabilidade. 6. Concreto. I. Almeida, Marys Lene Braga. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 691



ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: DANIEL DOS SANTOS ALVES

MATRÍCULA: 2022665060

RESULTADO

Aos 12 dias do mês de dezembro de 2023 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

“AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE FIBRAS VEGETAIS E SINTÉTICAS UTILIZADAS EM MATERIAIS COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS”

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 85,0 CONCEITO: B

BANCA EXAMINADORA:

Nome

Assinatura

Prof.^a. Dr.^a. Marys Lene Braga Almeida

Marys Lene Braga

Almeida:53123140644

Assinado de forma digital por Marys Lene Braga Almeida:53123140644
Dados: 2023.12.12 10:11:49 -03'00'

Nome

Assinatura

Prof.^a. Dr.^a. Danielle Meireles de Oliveira

Danielle Meireles de

Oliveira:04897576695

Assinado de forma digital por Danielle Meireles de Oliveira:04897576695
Dados: 2023.12.12 10:17:22 -03'00'

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA EM CONSTRUÇÃO CIVIL: "GESTÃO E TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL"

Antônio Neves
de Carvalho
Júnior

Assinado de forma digital por Antônio Neves de Carvalho Júnior
Dados: 2023.12.14 00:30:01 -03'00'

Belo Horizonte, 12 de dezembro de 2023

Coordenador do Curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela minha vida, por me proporcionar saúde e coragem para enfrentar os impasses decorrente da elaboração deste trabalho. Depois agradeço aos meus amigos e familiares, em especial meus pais pelo apoio prestado durante este período. Aos meus colegas de turma por me ajudarem nos desafios e compartilharem conhecimento acerca da área durante todo o curso. À minha orientadora Marys Lene Braga Almeida por todo apoio, paciência e prestação dedicada durante a realização do trabalho. Por fim a Universidade Federal de Minas Gerais por me proporcionar a oportunidade de realizar este curso de especialização, assim como todo o corpo docente, coordenação e administração pelos serviços dedicados que foram essenciais nesta jornada.

RESUMO

Levando em conta os aspectos econômicos, sociais e ambientais, vários estudos têm sido realizados sobre as vantagens potenciais dos usos das fibras naturais e sintéticas no concreto. A utilização de fibras naturais e sintéticas pode produzir resultados favoráveis, uma vez que a sua presença demonstra vantagens substanciais em termos de propriedades mecânicas do material compósito. Nesse cenário, este trabalho tem por objetivo investigar a resistência do concreto reforçado com fibras naturais e sintéticas bem como vantagens proporcionadas pela adição das fibras ao compósito cimentício. Após a investigação pode-se concluir que a maioria dos pesquisadores relatou que o desempenho mecânico do concreto aumentou em até 41,3% com a adição das fibras. Entretanto, o teor exagerado de fibras gera diminuição no desempenho mecânico devido a falta de trabalhabilidade e o aumento de vazios no interior do concreto. A incorporação de fibras no concreto pode minimizar problemas ambientais e ainda promover soluções ecologicamente corretas e de longo prazo que são eficazes na indústria da construção civil.

Palavras-chave: concreto; fibras poliméricas; fibras vegetais; resistência à compressão; sustentabilidade.

ABSTRACT

Considering the economic, social and environmental aspects, several studies have been carried out on the potential advantages of using natural and synthetic fibers in concrete. The use of natural and synthetic fibers can produce favorable results, since their presence demonstrates substantial advantages in terms of mechanical properties of the composite material. In this scenario, this work aims to investigate the resistance of concrete reinforced with natural and synthetic fibers as well as the advantages provided by the addition of fibers to the cement composite. After the investigation, it can be concluded that most researchers reported that the mechanical performance of concrete increased by up to 41.3% with the addition of fibers. However, the exaggerated fiber content generates a decrease in mechanical performance due to the lack of workability and the increase of voids inside the concrete. The incorporation of fibers in concrete can minimize environmental problems and also promote environmentally friendly and long-term solutions that are effective in the construction industry.

Keywords: concrete; polymeric fibers; vegetable fibers; compressive strength; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Macrofibras poliméricas.....	6
Figura 2 – Fibra de sisal.....	8
Figura 3 – Diagrama de tensão por deformação elástica de matriz e fibras de alto e baixo módulo de elasticidade trabalhando em conjunto.....	10
Figura 4 – Imagem microscópica eletrônica de varredura da fibra de abacaxi: a) estado natural; b) após o tratamento alcalino.....	11
Figura 5 – “Ouriços” formado pelo acúmulo de fibras.....	13
Figura 6 – Estruturação dos estudos.....	15
Figura 7 – Imagem de fibras de polipropileno.....	17
Figura 8 – Fibras sintéticas: a) polietileno de alto módulo; b) polipropileno.....	18
Figura 9 – Fibras de açaí.....	20
Figura 10 – Resistência à compressão nas idades de 7 dias e 28 dias.....	21
Figura 11 – Fibras de sisal: a) conforme fornecida; b) após o corte.....	22
Figura 12 – Resistência à compressão axial das fibras de sisal.....	22
Figura 13 – Fibras vegetais: a) fibras de bambu; b) fibras de cana-de-açúcar.....	23
Figura 14 – Resistência à compressão das fibras de cana-de-açúcar e bambu...	24
Figura 15 – Gráfico das variações de resistência em relação ao concreto não reforçado.....	26
Figura 16 – Gráfico comparativo dos teores de fibras de polipropileno.....	27

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Propriedades de algumas fibras sintéticas.....	7
Tabela 2 – Composição química das fibras de açáí in natura e tratadas.....	8
Tabela 3 – Propriedades de algumas fibras naturais.....	10
Tabela 4 – Consumo de materiais para o traço de concreto de referência (sem fibra).....	16
Tabela 5 – Propriedades físicas e mecânicas das fibras de polipropileno fornecido pelo fabricante.....	17
Tabela 6 – Resultado do ensaio de resistência à compressão da macrofibra polimérica.....	18
Tabela 7 – Resultado do ensaio de resistência à compressão: concreto com fibras sintéticas.....	19
Tabela 8 – Consumo de materiais utilizados para a produção de 1m ³ dos concretos avaliados.....	20
Tabela 9 – Valores de resistência (MPa) do concreto reforçado com fibras vegetais.....	24
Tabela 10 – Valores das resistências (MPa) à compressão das fibras investigadas.....	25
Tabela 11 – Resistência aproximada da compressão axial do concreto reforçado com fibras de sisal.....	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivo Geral	10
1.2	Objetivos específicos	11
2	REVISÃO DA LITERATURA	12
2.1	Concreto convencional	12
2.1.1	Propriedades físicas e mecânicas do concreto convencional	12
2.1.2	Durabilidade do concreto	13
2.2	Fibras sintéticas e naturais	14
2.2.1	Fibras poliméricas	14
2.2.2	Fibras vegetais	16
2.2.3	Propriedades físicas e mecânicas das fibras	18
2.2.4	Tratamento das fibras	20
2.3	Concreto reforçado com fibras	21
3	METODOLOGIA	24
4	ESTUDO DE CASO	25
4.1	Estudos do comportamento do concreto com fibras sintéticas	25
4.2	Estudos do comportamento do compósito com fibras vegetais	28
4.3	Análise e discussão dos resultados	33
4.3.1	Influência da porcentagem de fibra na resistência do concreto	35
4.3.2	Tratamentos das fibras vegetais na resistência do concreto	38
4.4	Vantagens do concreto reforçado com fibras	38
4.5	Solução sustentável	39
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o material estrutural mais usado no mundo devido ao seu baixo custo de execução, a capacidade de ser moldado em diversos formatos, e por conta da necessidade de uma mão de obra menos qualificada. Diversos são suas vantagens como é o caso da alta resistência ao fogo, e bom desempenho na absorção dos esforços mecânicos como é o caso dos choques e vibrações. Entretanto, o concreto possui a característica de um material frágil, ou seja, não possui a capacidade de deformação antes de sua ruptura (Sanjeev; Sai Nitesh, 2020 *apud* Silva *et al.*, 2022).

Com o objetivo de reduzir grande parte dos problemas, o sistema de concreto armado, em que é incluído as barras de aço como reforço estrutural, gera a capacidade da estrutura em absorver maiores esforços. Contudo é necessário maiores aperfeiçoamentos das características do concreto com o intuito de oferecer um material mais eficiente (Hodhod; Abdeen, 2011 *apud* Silva *et al.* 2022).

Por conta disso, pesquisadores buscam alternativas para o melhoramento das propriedades do concreto. As pesquisas e estudos tiveram maior ascensão nos anos de 1960 quando surgiram no mercado diversos tipos de fibras (Medeiros, 2012 *apud* Leite e Castro, 2018). Atualmente o mercado de fibras próprias para reforço de concreto disponibiliza opções em aço, vidros, polímeros dentre outros materiais (Leite e Castro, 2018).

Quando adicionadas ao concreto, as fibras promovem uma série de vantagens incluindo o aumento da resistência a flexão, fadiga e impacto. Além disso, quando as armaduras de aço são substituídas pelas fibras, todo o processo de montagem referente às armaduras é eliminado, o que reduz o tempo de execução, uma vez que as fibras são incorporadas ao concreto junto ao processo de mistura dos materiais (NAKAMURA, 2023).

Neste contexto, este trabalho investiga a influência das fibras sintéticas e naturais quando incorporadas à matriz de concreto no que diz respeito ao melhoramento das propriedades mecânicas do elemento assim como as demais vantagens da utilização de fibras como reforço de concreto.

1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo investigar o potencial de utilização de fibras naturais e sintéticas incorporadas ao concreto por meio da análise de resultados experimentais de desempenho mecânico.

1.2 Objetivos específicos

- Investigar a incorporação de fibras sintéticas de polipropileno e polietileno no concreto levando em conta as análises de resistência à compressão;
- Analisar a incorporação de fibras naturais de sisal, açai, cana-de-açúcar e Bambu no concreto;
- Apresentar o estudo comparativo dos valores de resistências à compressão para o concreto reforçado com fibras de polipropileno, polietileno, sisal, açai, cana-de-açúcar e bambu;
- Realizar uma síntese das vantagens potenciais com o uso das fibras no concreto;
- Investigar as limitações relacionadas à incorporação das fibras avaliadas nos estudos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta conteúdo relacionado ao concreto convencional bem como as importantes informações sobre sua propriedade físicas e mecânicas além da sua durabilidade. Em seguida apresenta-se as fibras que são produzidas para aplicação no concreto, sendo elas sintéticas e naturais. Por fim relata uma base sobre os materiais de concreto reforçado com as fibras.

2.1 Concreto convencional

O concreto é um material de construção artificial que se assemelha à pedra. Ele é produzido pela mistura de cimento, agregado graúdo e água. Várias misturas são adicionadas ao concreto para atingir certas propriedades. Este tipo de material geralmente é reforçado com barras de aço antes de ser vazado nos moldes. O concreto foi documentado pela primeira vez em Roma, há cerca de 2.000 anos, sendo utilizado principalmente nos esgotos e nas estradas de Roma (JEZEK, 2015).

De acordo com Silva *et al.* (2019), o concreto é considerado o material mais utilizado da construção civil e um dos fatores que justificam isso é a flexibilidade de adequar aos projetos de diferentes formas e tamanhos. Estima-se que o consumo anual de concreto no mundo todo é cerca de 11 bilhões de toneladas métricas (Denardi, 2016 *apud* Silva *et al.*, 2019).

2.1.1 *Propriedades físicas e mecânicas do concreto convencional*

A matriz de concreto convencional, aquele disposto da mistura da pasta de cimento em conjunto com os agregados graúdos e miúdos, possui características bem específicas. Embora amplamente utilizado na construção civil, o concreto é considerado um material frágil uma vez que possui pouca capacidade de deformação antes da sua ruptura quando submetido a esforços, principalmente de tração. Por propriedade, o concreto possui menores resistência a esforços de tracionamento se comparado com os esforços de compressão (Figueiredo, 2011).

Devido essa característica de baixa resistência a tração, a implementação dos aços estruturais nas matrizes de concreto surgiu como um aprimoramento para a absorção desses esforços. Inclusive, no dimensionamento estrutural dos elementos de concreto, o esforço de tração realizado pelo concreto é totalmente desprezado e dimensionado apenas para os aços suportarem o carregamento (Castoldi, 2018).

A característica mais importante do concreto fresco é a trabalhabilidade que pode ser alterada de acordo com alguns fatores. Segundo Neviile (2013) a trabalhabilidade pode ser afetada basicamente por três classes de fatores: as características de consistência, as condições de manipulação do concreto, e as condições do projeto.

O estado endurecido do concreto possui propriedades importantes e necessárias para tornar este um material estruturalmente adotado. De acordo com Castoldi (2018), a resistência do concreto está diretamente ligada a máxima tensão suportada pelo concreto antes de causar o seu rompimento.

2.1.2 Durabilidade do concreto

O conceito de durabilidade, de acordo com a ISO 13823 (2008) é descrito como sendo a capacidade de componentes estruturais atenderem aos desempenhos de projeto, dado um período de tempo, quando submetido a intervenções ambientais e ao próprio processo de envelhecimento da estrutura. Em outras palavras, Possan e Demoliner (2013) ressaltam que a durabilidade é relacionada ao desempenho do material sujeito a interferências ambientais, e não uma característica própria deles.

De acordo com Leite, Girard e Hastenpflug (2018) um dos principais fatores que interfere na durabilidade do concreto é o ambiente no qual a estrutura está inserida, uma vez que o grau de agressividade dos agentes irá determinar as propriedades necessárias para a estrutura se manter íntegra. As normas NBR 6118 (2018) e NBR 12655 (2022) estabelecem critérios específicos para o tipo de concreto a ser empregado em cada localidade, visando resistir às agressões e prolongar sua vida útil.

Diretamente ligado a durabilidade do elemento, a vida útil é descrita pela NBR 15575-1 (2021) como sendo o período de tempo que as estruturas suportam as atividades para as quais foram planejados e construídos mantendo o grau de desempenho estabelecido pela norma, levando em consideração a execução periódica de manutenções devidamente especificados no manual de uso, operação e manutenção.

2.2 Fibras sintéticas e naturais

As fibras são materiais que, quando adicionadas à matriz, terão um papel fundamental nas características do compósito de concreto reforçado com fibras. Esses materiais possuem comprimentos consideravelmente maiores que as dimensões de suas seções transversais (Figueiredo, 2011).

De acordo com Castoldi (2018) as fibras mais utilizadas na construção civil são as macrofibras de polipropileno e as de aço. Ambas têm função de reforço secundário no concreto trabalhando para controlar o aparecimento de fissuras. As fibras de aço podem ser usadas como reforço primário, entretanto deve se atentar à degradação por corrosão que ela está sujeita.

O aumento dos estudos acerca do concreto reforçado com fibras gerou uma necessidade no desenvolvimento das tecnologias de produção das fibras. Isso impactou na difusão da aplicação deste material em diferentes situações, como é o caso das fibras de vidro comumente usadas para painéis pré-fabricados e as fibras de aço, que são mais usadas no concreto destinado a pavimentação (Castoldi, 2018).

De acordo com Naaman (2003) *apud* Cáceres (2016), há diversas combinações a respeito das características geométricas das fibras. Diferentes valores de fator de forma serão resultados dessas variações de seção transversal e comprimento das fibras. Algumas fibras podem também ser modificadas com a possibilidade de possuírem deformações ao longo do seu comprimento e adquirirem melhor aderência na matriz de concreto.

2.2.1 Fibras poliméricas

Disponíveis atualmente no mercado, existem diversos tipos de fibras produzidas de diferentes materiais, cada qual com suas características e propriedades que auxiliam o concreto a resistir às fissurações. As mais comuns são as macrofibras de polipropileno. Possui também no mercado as chamadas microfibras poliméricas, que são classificadas como as de monofilamento e as fibriladas. A Figura 1 mostra um exemplo de fibras poliméricas. No caso está representada a macrofibra de polipropileno demonstrando uma das formas em que são disponibilizadas no mercado (SILVEIRA, 2018).

Figura 1 – Macrofibras poliméricas



Fonte: Figueiredo (2011).

Cáceres (2016) cita o polipropileno, nylon, aramida, álcool de polivinil, poliéster e polietileno de alta densidade como alguns dos exemplos de polímeros que enquadram como matéria para a confecção de fibras.

De acordo com Figueiredo (2011), diferente das microfibras poliméricas, as macrofibras foram criadas para atuarem como reforço estrutural, da mesma forma que as fibras de aço atuam. Ainda segundo Figueiredo (2011), há a possibilidade do uso combinado de microfibras e macrofibras de polipropileno, a fim de garantir não apenas a redução das fissurações nas primeiras horas do concreto, mas também o reforço estrutural necessário no estado já endurecido.

Embora disponibilizadas recentemente no mercado, as macrofibras poliméricas possuem como as principais vantagens a melhor homogeneização e distribuição das fibras na mistura do concreto, maior facilidade do acabamento superficial, maior flexibilidade, e melhor durabilidade por apresentar maior resistência química.

Na Tabela 1 é possível verificar alguns valores de propriedades de algumas fibras sintéticas.

Tabela 1 – Propriedades de algumas fibras sintéticas

Tipo de Fibra	Diâmetro (mm)	Densidade (g/cm ³)	Resistência a Tração (GPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Alongamento (%)
Acrílica	20 – 350	1,16 – 1,18	0,2 – 1,0	14 – 19	10 - 50
Aramida (Kevlar)	10 – 12	1,44	2,3 – 3,5	63 – 120	2 – 4,5
Carbon (PAN)	8 – 9	1,6 – 1,7	2,5 – 4,0	230 – 380	0,5 – 1,5
Carbon (Pich)	9 – 18	1,6 – 1,21	0,5 – 3,1	30 – 480	0,5 – 2,4
Nylon	23 – 400	1,14	0,75 – 1,0	4,1 – 5,2	16 – 20
Poliéster	10 – 200	1,34 – 1,39	0,23 – 1,2	10 – 18	10 – 50
Poliétileno	25 – 1000	0,92 – 0,96	0,08 – 0,6	5	3 – 100
Polilefina	150 – 635	0,91	275	2,7	15
Polipropileno	20 – 400	0,9 – 0,95	0,46 – 0,76	3,5 – 10	15 – 25
PVA	14 – 650	1,3	0,8 – 1,5	39 – 36	4,7
Aço	100 - 1000	7,84	0,5 – 2,6	210	0,5 – 3,5

Fonte: Bentur e Mindens (1990) *apud* Mbiya (2019).

De acordo com Castoldi (2018), as fibras sintéticas são utilizadas como reforço secundário no controle da ductilidade do concreto, principalmente na etapa pós-fissuração. Ainda segundo Castoldi (2018), estas fibras também possuem objetivo de conter as fissurações originadas pela retração do concreto.

Embora tenham propriedades mecânicas inferiores se comparada com as de aço, as fibras poliméricas ganham espaço no mercado pela menor densidade do material e por não apresentarem patologias relacionada a corrosão, diferentemente das fibras de aço (Castoldi, 2018).

2.2.2 Fibras vegetais

Apesar de já serem utilizadas a milhares de anos, as fibras naturais começaram a ter maiores destaque durante a segunda guerra mundial. As fibras vegetais possuem características diferenciadas das já existentes, entretanto possuem vantagens de serem de baixo custo e biodegradáveis (Silva, 2009 *apud* Borges; Motta; Pinto, 2019).

Além disso, Castoldi (2018) também cita como vantagens das fibras naturais a disponibilidade em que a fibra é encontrada, o baixo custo e o bom comportamento mecânico.

Entretanto, as fibras naturais possuem algumas desvantagens quanto a sua utilização em matriz de concreto. As fibras vegetais possuem baixa aderência com a matriz de concreto e uma alta fragilidade, tendo que serem previamente tratadas para assim terem uma melhora no desempenho quanto às desvantagens citadas. Outras desvantagens que são citadas pelos pesquisadores é a redução da capacidade de

reforço estrutural com o passar do tempo, uma vez que os elementos da maioria das fibras naturais, lignina e a hemicelulose, reagem com o hidróxido de cálcio presente na matriz de concreto (Tolêdo Filho; et al., 2000 *apud* Mbiya, 2019).

Embora existam diversas opções de fibras naturais disponíveis, todas são formadas basicamente pelos mesmos elementos químicos, tendo apenas variações nas proporções da fibra (Bentur e Mindes, 2007 *apud* Castoldi, 2018).

Figura 2 – Fibra de sisal



Fonte: Borges; Motta; Pinto (2019).

Bledzki e Gassan (1999) afirmam que a composição química das fibras vegetais é constituída principalmente por celulose, hemicelulose e lignina. Esses três elementos são importantes componentes que gera as características físicas das fibras. Na Tabela 2 apresenta a composição desses elementos nas fibras *in natura* e fibras após processo de tratamento.

Tabela 2 – Composição química das fibras de açaí *in natura* e tratadas

Fibra de açaí	Umidade (%)	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Cinzas (%)
Fibras In Natura	8,88 ± 0,16a	41,37 ± 1,25a	11,54 ± 0,83a	40,25 ± 1,35a	1,96 ± 0,15a
Fibras Tratadas	9,57 ± 0,12b	45,13 ± 1,94b	6,60 ± 1,08b	32,61 ± 1,56b	1,62 ± 0,18a

Letras diferentes na mesma coluna indicam valores médios estatisticamente diferentes ($p < 0,05$).

Fonte: Adaptada de Tavares *et al.* (2020).

O estudo feito por Tavares *et al.* (2020), após um tratamento térmico, análises químicas apontaram a redução das taxas de hemicelulose, devido à degradação térmica causado pela sua heterogeneidade estrutural e a sua carência de cristalinidade e à lixiviação, e de lignina atribuído ao rearranjo da estrutura molecular. Por outro lado, houve um aumento nos teores de umidade e celulose, causado muito provavelmente pelo balanço de massa devido à redução de outros componentes.

Geralmente definida como curtas, as fibras de açaí podem ser extraídas da camada externa da semente, o que configura cerca de 80% do peso do fruto. Quando

extraídas, as fibras podem apresentar irregularidades o que dificulta uma melhor homogeneização da fibra com a matriz cimentícia. Entretanto existem tratamentos preliminares para que as suas propriedades físicas, morfológicas e estruturais sejam aperfeiçoadas o que auxilia na adesão no compósito (Silva, *et al.* 2023).

A escolha do tratamento preliminar das fibras deve estar relacionada com a sua composição química. Segundo Tavares *et al.* (2020), quando submetidas ao tratamento térmico, algumas fibras vegetais apresentaram melhora na cristalinidade da celulose, remoção das impurezas e ganho da resistência a tração. Entretanto algumas propriedades são prejudicadas como por exemplo a resistência à compressão, módulo de ruptura e módulo de elasticidade.

2.2.3 Propriedades físicas e mecânicas das fibras

Diretamente relacionado ao material em que é confeccionada, as fibras possuem diferentes módulos de elasticidade e resistência mecânica. Essas duas propriedades são consideradas as mais importantes quanto à capacidade de reforço promovida pelas fibras à matriz de concreto. As fibras chamadas de baixo módulo são aquelas que possuem módulo de elasticidade menor que a do concreto em sua fase endurecida. De outro modo, as fibras de alto módulo possuem valores maiores de módulo de elasticidade se comparada com a do concreto endurecido (Figueiredo, 2011).

Além do material, a o processo de fabricação das fibras afeta nas propriedades das fibras. De acordo com Van Vlack (1970); Callister (2002) *apud* Cáceres (2016) a extrusão é o processo mais usual na fabricação das fibras. O método consiste no material polimérico aquecido passar por vários orifícios até formar um fio que é estirado com o objetivo de aplicar deformações plásticas no material, o que resulta em um maior cristalinidade e orientação das cadeias.

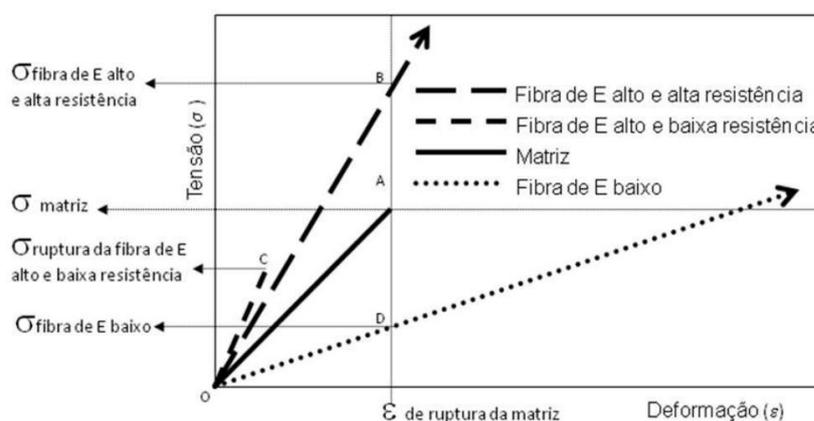
Alguns fatores como é o caso da composição química do polímero, estrutura molecular, tempo, temperatura e o histórico de tratamento do polímero irão influenciar nos comportamentos mecânicos das fibras. No caso da estrutura molecular, as interações intermoleculares e a energia de ligação são aspectos que possuem grande importância na resistência da fibra (Cáceres, 2016).

Na Figura 3, Figueiredo (2011) sintetiza o que se entende de uma comparação entre os comportamentos das fibras de baixo e alto módulo e a matriz de concreto. O

comportamento da matriz é representado pela linha O-A, enquanto as linhas O-C e O-A representa o desempenho das fibras de alto módulo, sendo a primeira com baixa resistência e a segunda com alta resistência.

As fibras de baixo módulo têm sua atuação representada pela linha O-D que demonstra que a, para uma suposta ruptura da matriz que causa fissurações, as fibras de baixo módulo atingem uma tensão de ruptura bem menor no mesmo instante. Isso significa que, para alcançar um comportamento de reforço, os teores de fibras de baixo módulo devem ser maiores se comparado com as fibras de alto módulo (Figueiredo, 2011).

Figura 3 – Diagrama de tensão por deformação elástica de matriz e fibras de alto e baixo módulo de elasticidade trabalhando em conjunto



Fonte: Figueiredo (2011).

A Tabela 3 apresenta características de algumas fibras naturais que são mais comumente encontradas. Segundo Silva *et al.* (2010) *apud* Castoldi (2018), os resultados experimentais podem ter grandes variações devido à instabilidade dimensional e as variações das condições dos ensaios.

Tabela 3 – Propriedades de algumas fibras naturais

Tipo de Fibra	Módulo de Elasticidade (GPa)	Resistência à tração (MPa)	Deformação na ruptura (%)	Absorção de água (%)
Sisal	13 - 26	280 - 750	3 - 5	60 - 70
Juta	26 - 32	250 - 350	1,5 - 1,9	-
Coco	19 - 26	120 - 200	10 - 25	130 - 180
Cana-de-açúcar	15 - 29	170 - 290	-	70 - 75
Bagaço	1,7	20	-	78,5

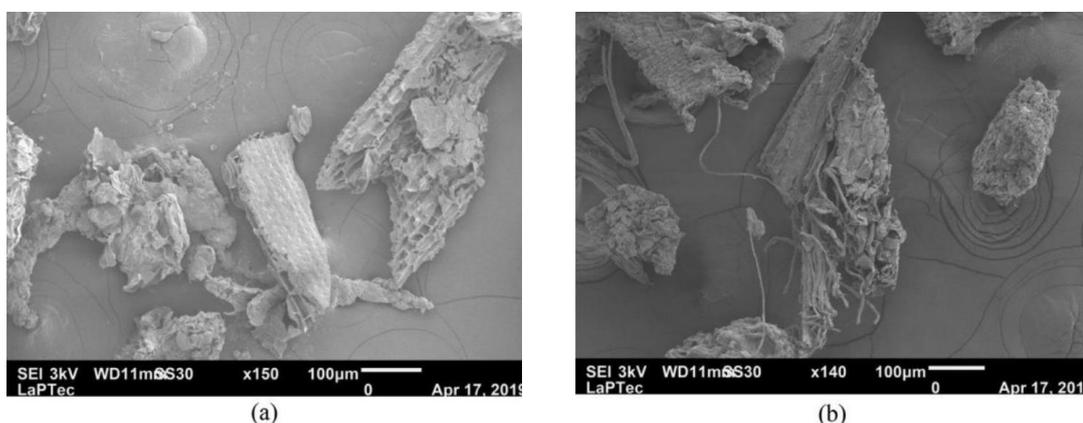
Fonte: Bentur e Mindes (2007) *apud* Castoldi (2018).

2.2.4 Tratamento das fibras

Segundo Silva *et al.* (2023), estudos feitos recentemente apontam que as fibras naturais têm sua durabilidade afetada pela capacidade de absorver umidade, causando deslocamento e perda de resistência, além de afetar sua forma natural. Para reduzir a absorção de umidade pode ser realizado um tratamento em solução alcalina. Como resultado desse tratamento, as fibras têm sua área superficial aumentada, gera um ganho de aprimoramento da aderência das fibras na matriz do compósito e evita o acúmulo de umidade uma vez que reduz os vazios e o teor de hemicelulose.

De acordo com Silva *et al.* 2020 *apud* Azevedo *et al.* (2021) o tratamento das fibras naturais causa certa preocupação uma vez que possuem custos elevados e gera resíduos prejudiciais que são liberados no meio ambiente. A Figura 4 demonstra um exemplo de tratamento com solução alcalina denominado marcerização da fibra de abacaxi. O tratamento favorece o aumento da área superficial da fibra, além de gerar o enrugamento que proporciona uma melhora na aderência entre fibra e matriz cimentícia.

Figura 4 – Imagem microscópica eletrônica de varredura da fibra de abacaxi: a) estado natural; b) após o tratamento alcalino



Fonte: Azevedo *et al.* (2021) *apud* Azevedo *et al.* (2022).

Os tratamentos aplicados às fibras vegetais buscam alterar suas características superficiais a fim de garantir melhores desempenhos quando aplicadas ao concreto. Um dos problemas mitigados pelo tratamento é a falta de aderência entre as fibras e a matriz de concreto. De acordo com Silva *et al.* (2023) existem quatro tipos de tratamento mais comuns para aplicar em fibras naturais com o objetivo de aprimorar a interação entre a fibra e a matriz: Tratamentos com álcali, silano, acetilação e tratamento de benzoilação.

No tratamento alcalino, o uso de soluções alcalinas nas fibras gera a quebra da hemicelulose e a lignina resultando na exposição das fibras de celulose. A área superficial da fibra aumenta o que melhora a interação da fibra com a matriz de concreto. O tratamento com silano é usado uma solução de composto organossilanos que aprimora as características mecânica da fibra e aumenta a resistência à água. O tratamento com acetilação introduz grupos acetil às fibras naturais resultando em fibras menos hidrofílicas. Já o tratamento de benzoilação também gera fibras menos hidrofílicas com a introdução de grupos benzoílas (Silva *et al.*, 2023).

Tavares *et al.* (2020) menciona o tratamento térmico em seu estudo acerca da fibra de açaí. Nele a fibra é submetida a entrar em contato com vapor ou água quente, sendo realizado sub atmosfera de ar ou nitrogênio. Esse tipo de tratamento é uma alternativa que dispensa produtos químicos. O tratamento térmico pode aperfeiçoar a cristalinidade da celulose e remover as impurezas.

2.3 Concreto reforçado com fibras

Segundo Salvador e Figueiredo (2013), a função principal das fibras, ao serem agregadas ao concreto, é absorver energias impostas ao elemento. Essas fibras trabalham como uma espécie de ponte de transferência de tensões, diminuindo a propagação e a expansão das fissuras. Outra característica do concreto promovido pelas fibras é um aumento da ductibilidade em relação às matrizes sem reforço, que tendem a perder sua eficiência após a ocorrência da primeira fissura.

De certa forma, o reforço proporcionado pelas fibras no concreto é uma alternativa que substitui as armações convencionais em aço e todo o processo de atividades e custos relativos a estes. Portanto, quando elimina essa etapa de execução, tanto os custos quanto os processos executivos tendem a serem mais simplificados (Cáceres, 2016).

Algumas características citadas por Naaman (2003) *apud* Cáceres (2016) que as fibras precisam ter para serem eficientes no trabalho em conjunto ao concreto seria apresentar resistências a tração e aderência maiores que o da matriz. Outra propriedade sugerida seria o módulo de elasticidade da fibra maior que o da matriz cimentícia. Neste último caso, as fibras poliméricas não satisfazem, sendo seu módulo de elasticidade menor que o concreto. Entretanto vários estudos comprovaram que há um ganho nas propriedades mecânicas do concreto mesmo com fibras de menor módulo de elasticidade (Cáceres, 2016).

De acordo com Leite e Castro (2020), quando adicionadas à matriz de concreto, as fibras alteram as propriedades dos materiais tanto no estado fresco quanto no endurecido. Enquanto fresco, o concreto reforçado com fibra possui a sua trabalhabilidade é afetada devido ao acréscimo das fibras.

É extremamente importante que a mistura dos materiais que formam a matriz de concreto seja homogênea a fim de garantir um bom resultado do elemento. Entretanto as fibras podem prejudicar as condições da mistura, afetando sua trabalhabilidade e, em alguns casos, podem formar um acúmulo de fibras entrelaçadas, exemplificado na Figura 5 (Figueiredo; Alferes Filho; Ceccato, 2017).

Figura 5 – “Ouriços” formado pelo acúmulo de fibras



Fonte: Figueiredo; Alferes Filho; Ceccato (2017).

Ainda segundo Figueiredo (2011) *apud* Leite e Castro (2020), as fibras atuam principalmente no estado endurecido quando fornecem resistência residual ao elemento. Com o surgimento de microfissura no interior do concreto, ocorre concentrações de tensão em suas extremidades. As fibras atuam como uma ponte de transferência, diminuindo as tensões da fissura. Figueiredo (2011) classifica este compósito como um material pseudo-dúctil.

Salvador e Figueiredo (2013) afirmam que alguns fatores da própria fibra irão influenciar nas características finais do compósito. Além do material da fibra, a sua geometria, a características da superfície na interação fibra-matriz, e a taxa de fibras agregada por volume de concreto terão grande importância nas propriedades do concreto reforçado.

Em taxas de fibra menores, geralmente abaixo de 1%, o concreto apresenta uma diminuição das fissuras por retração uma vez que distribui as tensões na matriz com mais eficaz. Teores de fibras ente 1% a 2%, o compósito desenvolve uma capacidade de absorver cargas mesmo com a manifestação de fissuras, além de

apresentar um ganho na resistência ao impacto, módulo de ruptura e tenacidade à fratura. Já o concreto reforçado com frações de fibras maiores que 2% são considerados de alta resistência quando as fibras passam a ter função de reforço estrutural (Castoldi, 2018).

De acordo com a ABNT NBR 16938 (2021), os critérios de qualificação do concreto reforçado com fibras consideram resultados satisfatórios nos ensaios de tração na flexão, compressão e duplo puncionamento, sendo este último opcional. Os ensaios devem ser realizados após o período de 28 dias, sendo no mínimo oito corpos de provas a serem ensaiados de acordo com o método estabelecido nas normas vigentes de cada ensaio.

3 METODOLOGIA

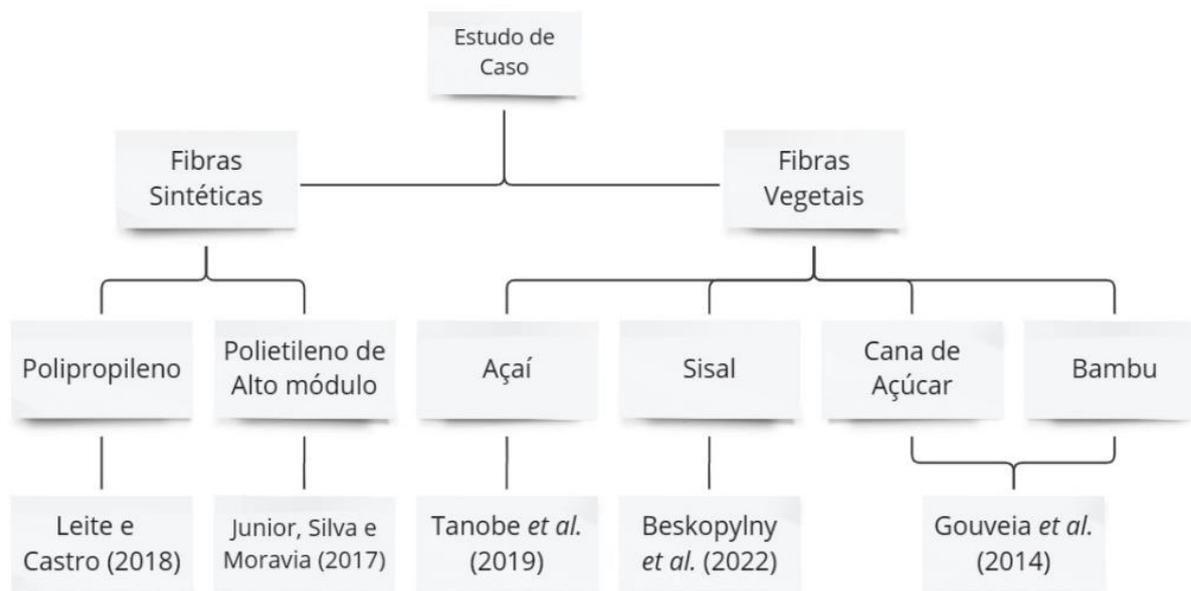
O presente trabalho tem por objetivo uma revisão sistemática da literatura acerca das fibras sintéticas e fibras vegetais incorporadas ao concreto.

O trabalho em questão foi baseado no aprofundamento de artigos, monografias, livros e normas que referiam o concreto reforçado com fibras, evidenciando as sintéticas de polipropileno e polietileno e as fibras vegetais de açaí, sisal, cana-de-açúcar e bambu.

Para elucidar e reforçar os argumentos expostos, o autor ilustra de forma coerente e coesa um estudo de caso com intuito de analisar os estudos realizados por autores acerca de ensaios de diversos tipos de fibras.

Conforme o organograma da Figura 6 é possível observar quais tipos de fibras foram analisadas no presente trabalho e seus respectivos autores. Ainda, foram realizados os dados obtidos pelos estudos e por fim, discorrido uma análise dos resultados.

Figura 6 – Estruturação dos estudos



Fonte: Autor.

4 ESTUDO DE CASO

O presente trabalho apresenta uma investigação qualitativa quanto às características de desempenho mecânico e durabilidade entre concretos reforçados com fibras sintéticas, sendo elas as de polipropileno (PP) e de polietileno de alto módulo (HMPE) e as fibras vegetais de açai, sisal, cana-de-açúcar e bambu.

Este estudo de caso se divide em uma primeira etapa a apresentação dos trabalhos realizados pelos autores de artigos referente aos ensaios de cada fibra, bem como os métodos e materiais usados no estudo e posteriormente as análises acerca dos resultados encontrado pelos autores relativos às propriedades dos compósitos.

4.1 Estudos do comportamento do concreto com fibras sintéticas

Os dados obtidos de ensaios com compósitos simples e com fibra poliméricas foram retirados do trabalho feito por Leite e Castro (2018) onde foi apresentado uma análise comportamental da resistência mecânica dos compósitos simples e compósitos com a adição de fibras poliméricas e metálicas.

Para a produção da matriz de concreto, Leite e Castro (2018) utilizaram cimento Portland CII Z 32, além de areia natural média e fina, brita 1 que possuem dimensão máxima de 19mm, sílica ativa e água fornecida pela rede de abastecimento local.

Foi adotado como padrão para a matriz de concreto o seguinte traço em massa 1:1,70:1,80:0,35. A dosagem em massa de areia média e fina foi de 60% e 40% respectivamente. Também incrementada ao compósito, a dosagem da sílica foi de 10%, substituindo parte do volume de cimento. Ainda foi acrescentado à matriz um aditivo superplastificante a base de policarboxilatos com o objetivo de alcançar uma consistência que resultasse em um abatimento de 120mm \pm 20mm. A Tabela 4 resume as dosagens de materiais utilizados no compósito em quilogramas por metro cúbico.

Tabela 4 - Consumo de materiais para o traço de concreto de referência (sem fibra)

Material	Consumo (kg/m ³)
Cimento	468,20
Brita	936,30
Areia média	530,60
Areia fina	353,70
Sílica ativa	38,70
Água	163,90
Aditivo superplastificante	3,00

Fonte: Leite e Castro (2018).

No complemento do compósito foi adotado a fibra de polipropileno para o estudo. A Figura 7 ilustra o tipo de fibra utilizado. As informações das propriedades fornecidas pelo fabricante da fibra apresentam-se na Tabela 5.

Figura 7 – Imagem de fibras de polipropileno



Fonte: Adaptado de Leite e Castro (2018).

Tabela 5 – Propriedades físicas e mecânicas das fibras de polipropileno fornecido pelo fabricante

Propriedade	Macrofibra polimérica
Comprimento (mm)	50
Fator de forma	75
Módulo de elasticidade (GPa)	7
Resistência à tração (MPa)	550

Fonte: Adaptado de Leite e Castro (2018).

Foram confeccionados corpos de prova em formatos cilíndricos com dimensões de 10cm x 20cm. Leite e Castro (2018) adotaram teores de 1% e 2% em volume de concreto para as fibras o que corresponde, para as fibras poliméricas, valores de 9,0 kg/m³ e 18,0 kg/m³ respectivamente. Foram realizados três ensaios para a análise das amostras. Entretanto, para adequação ao objetivo desse trabalho, será abordado apenas o ensaio à compressão.

As amostras passaram por um processo de cura contínua em uma câmara úmida por 28 dias. Após esse período, 5 amostras foram submetidas ao ensaio de carregamento vertical, seguindo as orientações normativas da NBR 5739 (2018), onde o resultado foi obtido considerando a média dos valores de resistência complementados com os resultados de desvio-padrão e o coeficiente de variação.

A Tabela 6 apresenta os resultados do ensaio realizado na idade de 28 dias para o concreto sem reforço e com a adição de 1% e 2% de macrofibra polimérica.

Tabela 6 – Resultado do ensaio de resistência à compressão da macrofibra polimérica

Tipo de Fibra	Teor (%)	Resistência Média (MPa)	Desvio-padrão	Coefficiente de Variação (%)
Sem fibra	-	70,2	2,6	3,6
Macrofibra polimérica	1,0	74,7	2,8	3,8
	2,0	65,2	2,4	3,7

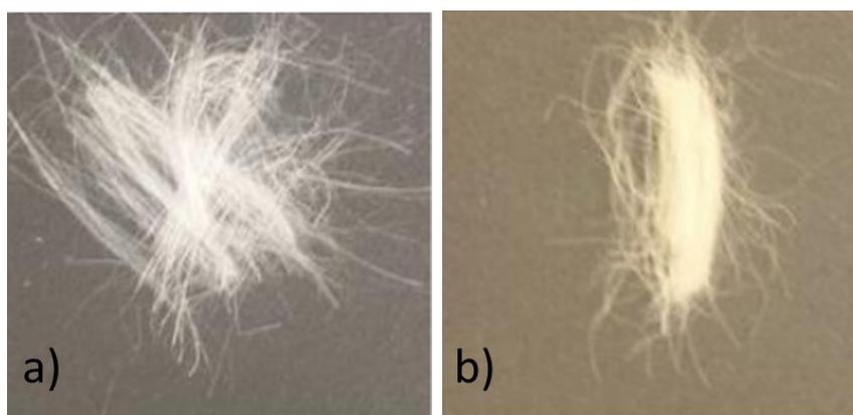
Fonte: Adaptado de Leite e Castro (2018).

Houve uma redução dos valores de resistência à compressão com o aumento do teor de macrofibras poliméricas. Ainda assim, em comparação ao concreto simples, o concreto com fibras poliméricas apresentou um leve aumento de resistência a compressão. Mehta e Monteiro (2014) *apud* Leite e Castro (2018) afirmam que os teores de fibra não contribuem, em grande parte, nos resultados de resistência à compressão, mas sim para a tenacidade do concreto.

O estudo realizado por Amaral Júnior; Silva; Moravia (2017) analisa o comportamento do concreto com adição das fibras de Polietileno de alto módulo (HMPE) à matriz. O estudo realizado compara os resultados obtidos para o concreto reforçado tanto com fibras de polietileno, quanto fibras em polipropileno.

Já no segundo estudo citado, Amaral Júnior; Silva e Moravia (2017) utilizam o cimento do tipo CP-V-ARI, areia média lavada e brita 1 para a confecção da matriz de concreto. As taxas de fibras utilizadas foram de 1% para ambas as fibras estudadas. A Figura 8 mostra as duas fibras utilizadas no estudo.

Figura 8 – Fibras sintéticas: a) polietileno de alto módulo; b) polipropileno



Fonte: Adaptado de Amaral Júnior, Silva e Moravia (2017).

Amaral Júnior; Silva; Moravia (2017) seguiram a metodologia disponível na Norma ABNT NBR 8522 (2021), sendo confeccionados 4 corpos de prova de 10cm de diâmetro cada e 20cm de altura. Foi respeitado um período de 7 dias para a cura úmida do concreto e posteriormente foi secado ao ar livre e capeados com argamassa de enxofre fundida.

Após o período de cura, os corpos de prova passaram pelo ensaio de compressão em prensa hidráulica seguindo o método disposto pela norma.

A Tabela 7 apresenta os resultados do ensaio para a idade de 7 dias dos concretos sem fibra e com a adição de 1% de fibras sintéticas.

Tabela 7 – Resultado do ensaio de resistência à compressão: concreto com fibras sintéticas

Tipo de Fibra	Teor (%)	Resistência Média (MPa)	Desvio-padrão	Coefficiente de Variação (%)
Sem fibra	-	25,10	0,48	1,91
PP	1,0	26,00	0,97	3,73
HMPE	1,0	23,30	0,57	2,44

Fonte: Adaptado de Amaral Júnior, Silva e Moravia (2017).

No estudo de Amaral Júnior, Silva e Moravia (2017) pôde-se verificar um leve aumento da resistência do concreto reforçado com fibras de Polipropileno em relação ao concreto sem reforço. Entretanto, o concreto reforçado com fibra de Polietileno de alto módulo obteve resultado contrário, apresentando um valor de resistência abaixo da referência não reforçada.

Na comparação entre os dois estudos percebe-se uma ocorrência em comum quando ocorre um aumento do desvio padrão em ambos os ensaios ao adicionar fibras sintéticas no concreto. Porém, os resultados diferentes de resistências médias são justificados pelo uso de diferentes materiais na confecção dos corpos de prova, além da divergência do tempo de cura do concreto.

4.2 Estudos do comportamento do compósito com fibras vegetais

Para os dados referentes ao concreto reforçado com fibras de açai, foi tido como base um trabalho feito por Tanobe *et al.* (2019) onde foi realizado um estudo acerca da resistência a compressão, resistência a compressão diametral e a resistência ao impacto de corpo duro em três variações de amostras: concreto sem reforço, concreto com reforço de fibras de açai e concreto com reforço de fibras de curauá.

Para o escopo do presente trabalho, será levada em consideração apenas os resultados obtidos por Tanobe *et al.* (2019) referente ao ensaio de compressão dos corpos de prova cilíndricos para a idade de 7 e 28 dias.

No experimento realizado por Tanobe *et al.* (2019) foi utilizado o cimento Portland do tipo CP II Z 32. Além dos agregados miúdos e graúdos foi acrescentado um aditivo plastificante polifuncional redutor de água, uma vez que, quando adicionado as fibras, poderia haver dificuldades na trabalhabilidade do concreto. Após

serem separadas das sementes, as fibras de açaí passaram por um processo de moagem e peneiramento, resultando em comprimentos diversos de até 5 mm. Em seguida, elas foram homogeneizadas para serem aplicadas nos concretos.

Figura 9 – Fibras de açaí



Fonte: Tanobe *et al.* (2019).

Para a dosagem do concreto, foi determinado um traço de 1:2,25:2,97:0,55 sendo cimento: agregado miúdo: agregado graúdo: relação água/cimento. A Tabela 8 resume os valores usados para a confecção de 1m³ de concreto.

De acordo com a caracterização dos agregados realizada por Tanobe *et al.* (2019), o agregado graúdo apresentou diâmetro máximo de 25mm. Não há especificação do tipo de material pelo qual o agregado graúdo é formado, entretanto, nessas características, a brita 1 e 2 se encaixam como uma suposta alternativa utilizada. Para o agregado miúdo, o diâmetro máximo apresentado foi de 4,8mm, o que é característico de areia médias e grossas.

Tabela 8 – Consumo de materiais utilizados para a produção de 1m³ dos concretos avaliados

Traço	Materiais Quantidades (kg/m ³)						Abatimento (mm)
	Cimento	Ag. Miúdo	Ag. Graúdo	Água	Fibra de Açaí	Aditivo	
Concreto com 0,8% de fibra de açaí <i>in natura</i>	257,0	578,25	763,29	141,35	8,88	0,8738	35

Fonte: Adaptado de Tanobe *et al.* (2019).

Os corpos de prova cilíndricos foram moldados conforme NBR 5738 (2015) e submetidos a cura em câmara úmida com temperatura controlada de 22°C ± 2°C e umidade relativa do ar de 95%. As idades medidas foram de 7 e 28 dias.

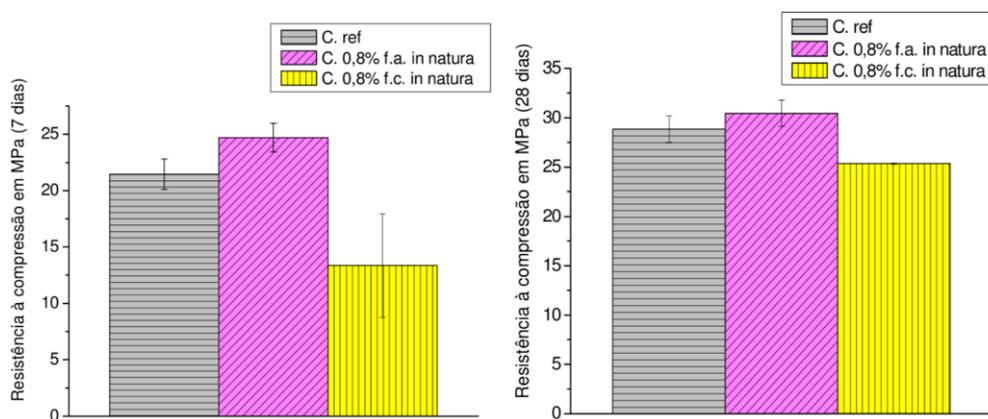
Tanobe *et al.* (2019) avaliaram os corpos de prova quanto à sua performance física e mecânica. Cada ensaio realizado foi seguido de acordo com as normatizações. Para a resistência à compressão foi seguido de acordo com a NBR

5739 (2018) e para a resistência a tração por compressão diametral a NBR 7222 (2011) normatiza os procedimentos.

Após os ensaios realizados, os resultados da resistência a compressão separados pelos períodos de 7 e 28 dias após a moldagem dos corpos de prova estão demonstrados na Figura 10.

O estudo apresenta resultados de resistência à compressão da amostra de referência, onde não possuem fibras adicionadas a sua matriz e as amostras com as fibras de açaí e de carauá. Visto o objetivo desse trabalho, será levado em consideração, para a devida análise, os resultados apenas da fibra de açaí de acordo com o gráfico da Figura 10.

Figura 10 – Resistência à compressão nas idades de 7 dias e 28 dias



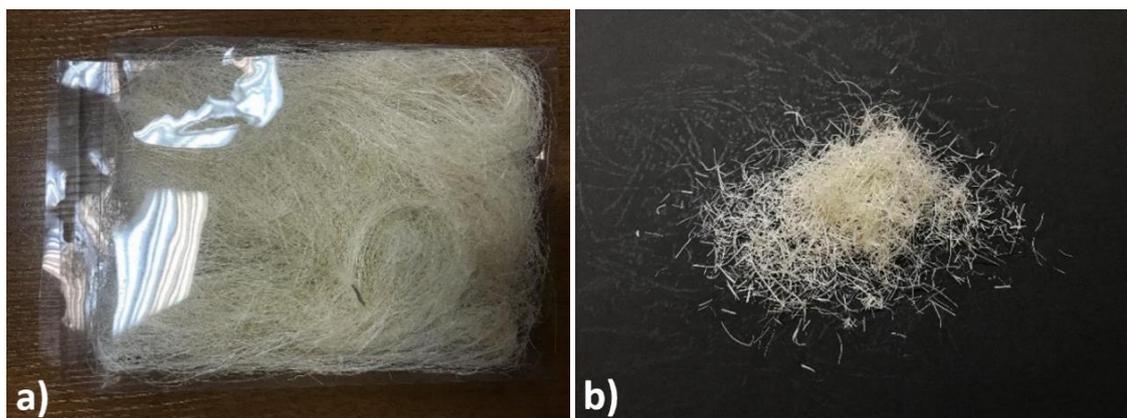
Fonte: Tanobe *et al.* (2019).

Conforme o gráfico, o valor médio da resistência à compressão do concreto reforçado com fibras de açaí aos 7 dias é aproximadamente 25 MPa, enquanto a amostra com 28 dias apresentou um valor médio da resistência de 30MPa aproximadamente.

O estudo realizado por Beskopylny *et al.* (2022) envolve ensaios de concreto reforçado com fibras de sisal em teores de 1,0% e 1,5%. A análise deste trabalho considera apenas os valores para o ensaio de compressão dos corpos de prova.

Beskopylny *et al.* (2022) realizaram o estudo com as fibras de sisal em que a proposta do trabalho consistia em ensaios com vários teores de fibras adicionadas à matriz de concreto. As fibras utilizadas já foram entregues prontas, sem a necessidade de tratamento, apenas passaram por um processo de corte em tamanhos de 30 ± 2 mm. A Figura 11 mostra as fibras de sisal fornecida pelo comércio e as fibras após o corte.

Figura 11 – Fibras de sisal: a) conforme fornecida; b) após o corte

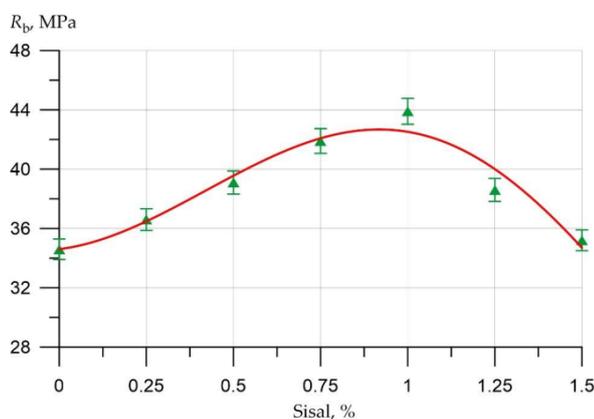


Fonte: Adaptado de Beskopylny *et al.* (2022).

As amostras foram confeccionadas por meio de auxílio de uma betoneira. Após a moldagem, os corpos de prova foram submetidos a tratamento térmico em câmara de aquecimento e tratamento de umidade. Após os tratamentos, as amostras continuaram a descansar por mais 14 dias em condições naturais.

O estudo feito por Beskopylny *et al.* (2022) possuem resultados de resistência que variam de acordo com o teor de fibras de sisal adicionadas ao concreto. A Figura 12 demonstra o gráfico com o comportamento das resistências à compressão axial de amostras prismáticos, a medida em que a taxa de fibra de sisal é elevada.

Figura 12 – Resistência à compressão axial das fibras de sisal



Fonte: Beskopylny *et al.* (2022).

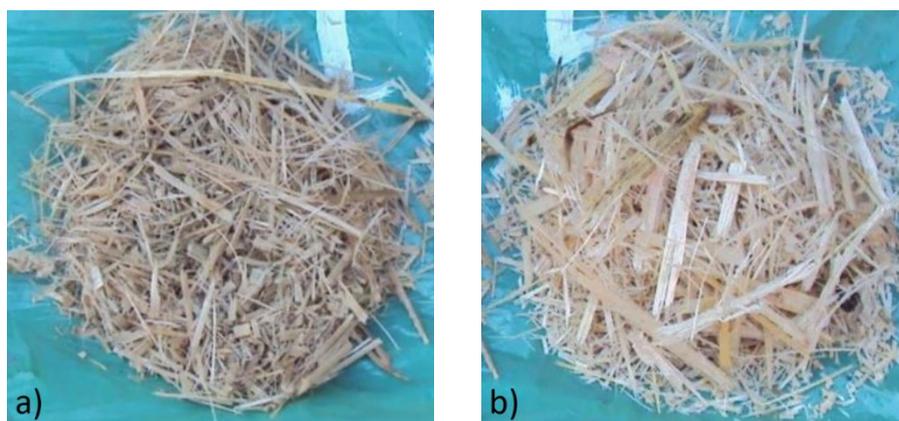
É possível perceber um comportamento, especificamente neste estudo, por abranger a mesma fibra em teores diferente, que a taxa de fibra possui um ponto máximo onde favorece o ganho de resistência à compressão. Após esse limite, a resistência começa a diminuir com o aumento do teor de fibra.

Outro estudo em análise é o de Gouveia *et al.* (2014) em que foi abordado as fibras de bambu e da cana-de-açúcar nos teores de 2,0% e 5,0% em cada fibra.

Gouveia *et al.* (2014) realizaram seus estudos confeccionando corpos de prova em formatos prismático e cilíndricos. Nesse estudo foi utilizado o cimento Portland CP-IV 32 RS conforme ABNT NBR 5736 (1991). A areia usada como agregado miúdo apresentou diâmetro máximo de 1,2mm e módulo de finura 1,86 enquanto, para o agregado graúdo, a brita de gnaiss apresentou diâmetro máximo de 25mm.

As fibras utilizadas passaram por tratamento com lavagem em água corrente e secagem térmica em temperaturas de $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas.

Figura 13 – Fibras vegetais: a) fibras de bambu; b) fibras de cana-de-açúcar



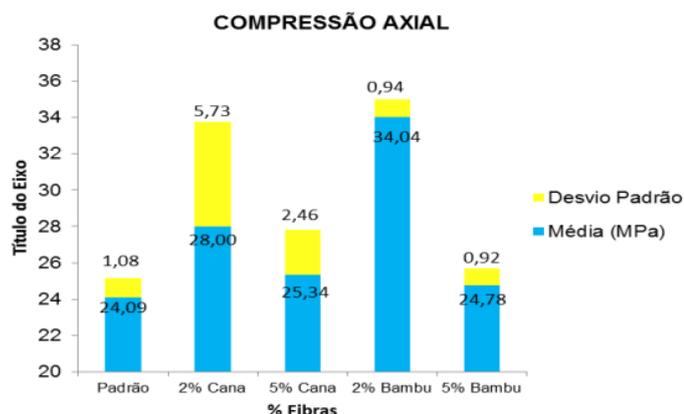
Fonte: Adaptado de Gouveia *et al.* (2014).

Além das fibras, foi adicionado à matriz de concreto um aditivo hiperplastificante, como forma de ajudar na trabalhabilidade do concreto quando adicionado as fibras.

A confecção dos corpos de prova foi auxiliada por uma betoneira de queda livre, sendo as fibras o último material a ser adicionado à mistura. Os corpos de prova cilíndricos foram confeccionados no diâmetro de 10cm e altura de 20cm.

Após os ensaios do estudo de Gouveia *et al.* (2014), os resultados foram apresentados na Figura 14. Percebe-se nos resultados em que todas as médias tiveram maiores que o concreto convencional. Entretanto com o aumento do teor de fibras, os valores de resistência tiveram uma redução.

Figura 14 – Resistência à compressão das fibras de cana-de-açúcar e bambu



Fonte: Gouveia *et al.* (2014).

A Tabela 9 demonstra os resultados a partir dos ensaios de cada estudo feito com as fibras vegetais mencionadas neste capítulo. A título de análise deste trabalho, serão considerados apenas os resultados das fibras de açaí do estudo realizado por Tanobe *et al.* (2019), assim como os teores de 1% e 1,5% das fibras de sisal do estudo de Beskopylny *et al.* (2022).

Tabela 9 – Valores de resistência (MPa) do concreto reforçado com fibras vegetais

Referência	S/ fibra	Açaí (0,8%)	Sisal (1%)	Sisal (1,5%)	Cana-de- açúcar (2,0%)	Cana-de- açúcar (5,0%)	Bambu (2,0%)	Bambu (5,0%)
Tanobe <i>et al.</i> (2019)	29,00	30,00	-	-	-	-	-	-
Beskopylny <i>et al.</i> (2022)	34,50	-	43,90	35,20	-	-	-	-
Gouveia <i>et al.</i> (2014)	24,09	-	-	-	28,00	25,34	34,04	24,78

Fonte: Adaptado de Tanobe *et al.* (2019); Beskopylny *et al.* (2022); Gouveia *et al.* (2014).

4.3 Análise e discussão dos resultados

Na Tabela 10 estão indicados os valores para cada estudo de acordo com o tipo de concreto. A título de análise deste trabalho, não serão considerados os resultados das fibras de Curauá do estudo de Tanobe *et al.* (2019), assim como as demais taxas de fibras de sisal dos ensaios de Beskopylny *et al.* (2022), exceto as de 1,0% e 1,5%.

Tabela 10 – Valores das resistências (MPa) à compressão das fibras investigadas

	Sem Fibra	PP (1,0%)	PP (2,0%)	HMPE (1,0%)	Açaí (0,8%)	Sisal (1,0%)	Sisal (1,5%)	Cana (2,0%)	Cana (5,0%)	Bambu (2,0%)	Bambu (5,0%)
Leite e Castro (2018)	70,20	74,70	65,20	-	-	-	-	-	-	-	-
Amaral Júnior; Silva; Moravia (2017)	25,10	26,00	-	23,30	-	-	-	-	-	-	-
Tanobe <i>et al.</i> (2019)*	29,00	-	-	-	30,00	-	-	-	-	-	-
Beskopylny <i>et al.</i> (2022)*	34,50	-	-	-	-	43,90	35,20	-	-	-	-
Gouveia <i>et al.</i> (2014)	24,09	-	-	-	-	-	-	28,00	25,34	34,04	24,78

*Valores Aproximados

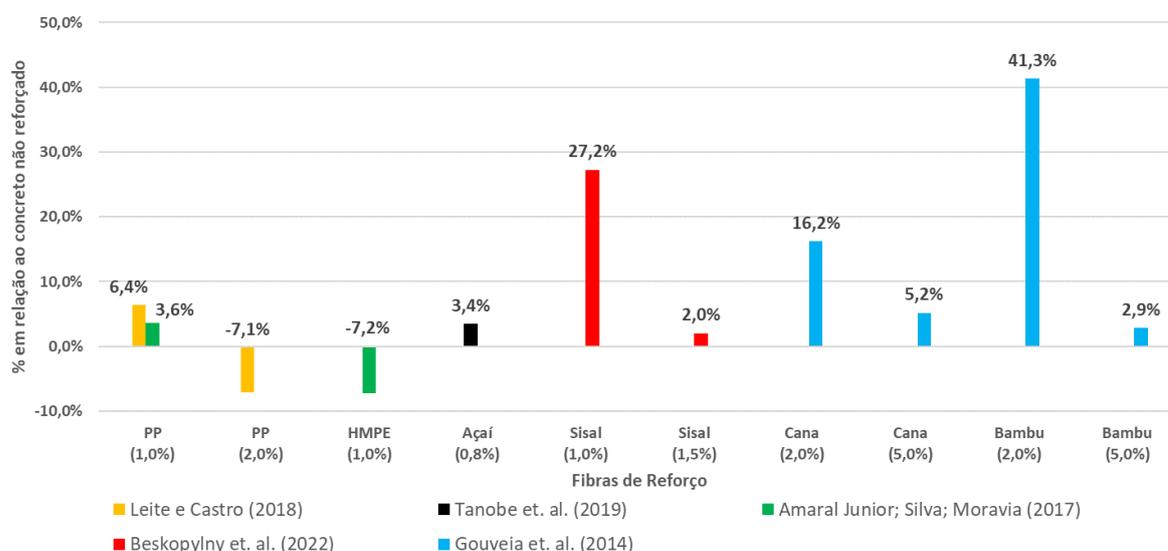
Fonte: Adaptado de Leite e Castro (2018); Tanobe *et al.* (2019); Amaral Júnior, Silva e Moravia (2017); Beskopylny *et al.* (2022); Gouveia *et al.* (2014).

A partir dos resultados apresentados na Tabela 10, é possível verificar que, para cada estudo, tiveram comparativo com os compósitos simples, ou seja, aqueles que não possuem reforço com fibras. Com base nos resultados de cada ensaio em compósitos não reforçados pode-se analisar o efeito das fibras no que diz respeito a resistência à compressão.

É possível observar um comportamento comum entre os estudos. O aumento dos teores para o mesmo tipo de fibra ocasiona uma diminuição da resistência do concreto. Isso pode ser explicado pelo motivo já citado do aumento de vazios gerado pelas inclusões das fibras ao concreto e conseqüentemente o acúmulo de tensões no interior do concreto, tornando a peça mais suscetível à falha.

No gráfico da Figura 15 verifica-se o mesmo comportamento para os demais estudos.

Figura 15 – Gráfico das variações de resistência em relação ao concreto não reforçado



Fonte: Adaptado de Leite e Castro (2018); Tanobe *et al.* (2019); Amaral Júnior, Silva e Moravia (2017); Beskopylny *et al.* (2022); Gouveia *et al.* (2014).

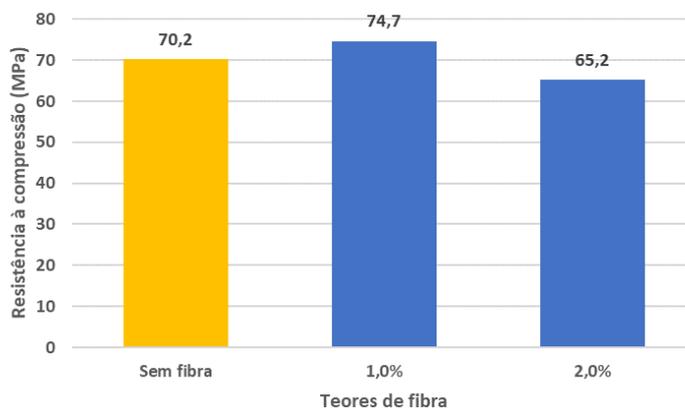
Percebe-se pelo gráfico que, embora apresentem comportamentos semelhantes, os valores variam para cada tipo de fibra. Um fator determinante que impacta nos dados de cada fibra é o tratamento das fibras antes de aplicá-las ao concreto. Em alguns casos, esse processo pode alterar a configuração das fibras e ajudar no ganho de resistência.

4.3.1 Influência da porcentagem de fibra na resistência do concreto

Com base nos resultados dos ensaios apresentados pelos trabalhos é possível analisar o comportamento das amostras mediante a aplicação das forças de compressão e comparar os resultados dos diferentes compósitos. É importante ressaltar que a análise visa estudar os resultados de trabalhos distintos onde cada caso utiliza materiais diferentes para suas análises.

No que diz respeito às fibras, Leite e Castro (2018) utilizam dois teores de fibra de polipropileno na composição do concreto para os seus estudos. Foi observado uma redução nos valores de resistência média a compressão na idade de 28 dias do concreto com o aumento do teor de fibra. No gráfico da Figura 16 é possível analisar a ocorrência de um aumento da resistência a compressão com o teor de fibra em 1%, entretanto, para a taxa de 2% de fibra o valor apresenta abaixo do concreto convencional.

Figura 16 – Gráfico comparativo dos teores de fibras de polipropileno



Fonte: Adaptado de Leite e Castro (2018).

Uma possível causa da redução de resistência após o aumento do teor de fibra pode ser explicada pelo que Silva (2006) menciona em sua dissertação. Os materiais sólidos constituídos da matriz de concreto possuem porosidades que contribuem para o acúmulo de vazios em seu interior. Nesses vazios concentram-se grandes tensões, principalmente quando o elemento está sob carga. Essas tensões concentradas nos vazios do concreto favorece o aparecimento de microfissuras que podem evoluir em fissuras prejudiciais ao desempenho do elemento. Portanto esse fato pode causar uma diminuição da resistência a compressão a medida em que aumenta o teor de fibras.

Outra possível causa é na trabalhabilidade do concreto ainda no estado fresco. O aumento do teor de fibras na matriz ocasiona um aumento nas chances de ocorrer problemas na sua homogeneidade. A trabalhabilidade é afetada, de acordo com Figueiredo (2005), ocasionando a redução da fluidez. Em casos mais extremos, pode afetar a qualidade do concreto no estado endurecido.

Além disso, o surgimento de ouriços, que são aglomerados de fibras gerados pela má dispersão das fibras no processo de mistura dos materiais, pode ocasionar pontos fracos na matriz de concreto onde cada ouriço se alojar, além de reduzir o teor de fibras no concreto homogêneo.

No estudo feito por Tanobe *et al.* (2019), as fibras de açai apresentaram um comportamento semelhante ao estudo de Leite e Castro (2018) no que diz respeito ao aumento de resistência em comparação com o concreto sem fibras. Enquanto os estudos das fibras de polipropileno com 1% de teor houve um aumento de 6%, a resistência a compressão do concreto reforçado com fibra de açai teve um aumento

de 5,54% em relação ao concreto convencional estudado, de acordo com Tanobe *et al.* (2019).

Por mais que os valores de resistência a compressão dos ensaios realizados pelos dois trabalhos se apresentem com uma variação alta, os resultados dos corpos de prova com fibras variam com uma taxa semelhante.

Amaral Júnior; Silva e Moravia (2017) avaliaram o comportamento do concreto reforçado com fibras de polipropileno e de Polietileno de alto módulo, também conhecido pela sigla HMPE (*high modulus polyethylene*), ambas em teor de 1% sobre o volume de concreto. Com a falta de ensaios com dosagens diferentes torna este tipo de análise inviável pela insuficiência de dados relacionados à resistência e o teor de fibra.

Beskopylny *et al.* (2022) focaram seus estudos na fibra de sisal, entretanto com dosagens diferentes para cada ensaio. Foi utilizado os teores de 0,25%, 0,50%, 0,75%, 1,00%, 1,25%, 1,50%. Neste caso, é possível analisar os resultados encontrados no que diz respeito à influencia das dosagens de fibras no concreto. A Tabela 11 dispõe dos resultados aproximados de acordo com o gráfico da Figura 12 disposta no capítulo 4.3 deste trabalho.

Tabela 11 – Resistência aproximada da compressão axial do concreto reforçado com fibras de sisal

Teor de Fibra (%)	Resistência (MPa)
0	34,50
0,25	36,80
0,50	39,20
0,75	42,50
1,00	43,90
1,25	37,50
1,50	35,20

Fonte: Adaptado de Beskopylny *et al.* (2022).

O comportamento dos resultados comprova que a resistência à compressão não é proporcional à dosagem das fibras, uma vez que a resistência mais alta medida foi com a taxa de 1,0% e, após esse teor, a resistência das amostras demonstraram valores menores. Isso exemplifica o que Silva (2006) citou como uma das causas da redução de resistência com o aumento da dosagem, sendo a elevada concentração de vazios e conseqüentemente o aparecimento de microfissuras no interior, prejudicando o desempenho da estrutura.

A mesma condição pode ser analisada no estudo realizado por Gouveia *et al.* (2014), onde encontraram valores divergentes para a resistências a compressão nos teores de 2% e 5% de fibras de cana-de-açúcar e bambu. Os resultados dos ensaios que envolveram as amostras com taxas de 5% apresentaram valores abaixo dos corpos de prova com 2% de fibras.

4.3.2 *Tratamentos das fibras vegetais na resistência do concreto*

Dentre os estudos mencionados no trabalho relativos às fibras naturais, que são pertinentes ao processo de tratamento, uma vez que são provindas de matéria orgânica, apenas Tanobe *et al.* (2019) não detalharam o tratamento das fibras de açaí. O procedimento adotado foi apenas a moagem da semente e peneiramento onde resultou em fibras com comprimentos de até 5mm.

Em contrapartida, Beskopylny *et al.* (2022) adotaram um tratamento térmico para as fibras de sisal que utilizaram em seus estudos. Durante o processo de endurecimento das amostras, uma câmara de vaporização foi responsável pela retenção térmica de 80°C.

Gouveia *et al.* (2014) também realizaram um tratamento térmico nas fibras de cana-de-açúcar e bambu. Entretanto o processo consistiu em uma lavagem das fibras com água corrente e em seguida a secagem a temperatura de $100 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 24 horas.

Analisando os resultados máximos de resistência das amostras, percebe-se que o estudo com as fibras de açaí possui o menor valor (30,00 MPa), seguido da amostra de bambu com teor de 2% (34,04 MPa) e por fim a de sisal com teor de 1% (43,90 MPa). O ensaio das amostras de açaí foi o estudo que resultou em uma resistência menor que os demais, sendo este o estudo que não envolveu a fibra em um tratamento antes da sua adição ao concreto.

4.4 Vantagens do concreto reforçado com fibras

O uso das fibras no concreto é um método construtivo que detém de algumas vantagens como é o caso do baixo custo em relação à mão de obra utilizada se comparada com a armação convencional em aço, uma vez que elimina o processo de corte e dobra, posicionamento e amarrações. O processo simplificado da mistura da

matriz de concreto, geralmente feita ainda na usina de concreto, reduz o tempo de execução da estrutura de concreto.

Figueiredo (2011) menciona uma propriedade relativa às fibras incorporadas ao concreto, citando como uma vantagem, a distribuição do material na matriz de concreto. Enquanto a armação convencional em aço o dimensionamento é conduzido à locais específicos da peça, as fibras são distribuídas em todo o volume da peça. Embora seja uma vantagem em estruturas contínuas, como é o caso de pavimentos e revestimentos de túneis, o reforço com as fibras já não se mostra interessante em peças estruturais onde as tensões se concentram em uma parte específica da peça, como é o caso das vigas.

Na indústria de pré fabricados, a utilização das fibras proporciona a eliminação das telas de aço além de apresentar maiores resistência aos impactos, o que reduz a possibilidade gerar defeitos ou perdas no manuseio das peças. Um exemplo dessas estruturas são os tubos para água e esgoto. O uso mais comum é das fibras de aço, entretanto as fibras sintéticas de polipropileno possuem a vantagem de ser mais resistentes em ambientes agressivos, uma vez que possui maior resistência química. (Figueiredo, 2011 *apud* Salvador, 2013).

Bina e Teixeira (2002) *apud* Cruz (2015) citam outras vantagens referente à utilização de concreto reforçado com fibras como é o caso da otimização do espaço no canteiro de obras uma vez que não há grandes materiais a serem estocados além das necessidades de ferramentas. No processo de concretagem há maior facilidade no manuseio de vibradores visto que não possui armaduras.

4.5 Solução sustentável

A utilização das fibras vegetais em produtos cimentícios e concreto para a construção civil é uma alternativa para a destinação dos resíduos orgânicos da produção de produtos agrícolas. De acordo com Azevedo *et al.* (2022) o aumento populacional gera um aumento proporcional no consumo de produtos agrícolas o que cresce a quantidade de resíduos orgânicos para descarte.

Existem políticas publicas em países que regulamenta o descarte de resíduos orgânicos provindo da produção agrícola e, em sua parte, casos em que o resíduo apresenta potencial de utilização em outros setores, como é o caso da geração de energia (Han *et al.*, 2021 *apud* Azevedo *et al.*, 2022).

No caso das fibras sintéticas, embora as fibras de polipropileno exijam mais energia no processo de fabricação e sejam provenientes de fontes não renováveis assim como não são biodegradáveis (Castoldi, 2018), o material Politereftalato de Etileno (PET) se destaca por ser uma alternativa sustentável na destinação desse resíduo para a reutilização em forma de fibras no reforço de concreto (Barboza et al. 2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho considerou os estudos realizados com as fibras sintéticas de polipropileno e polietileno de alto módulo, e as fibras vegetais de açaí, sisal, cana-de-açúcar e bambu para o desenvolvimento de uma análise onde aborda as influências das fibras no concreto e seus desempenhos no comportamento mecânico frente a resistência à compressão.

Ressalta-se que os resultados apresentados demonstram uma certa tendência nas propriedades mecânicas e físicas do concreto com adição de fibras, principalmente tratando-se das fibras vegetais, em que existe grandes variações de caracterizações entre ela.

Os resultados obtidos demonstravam, em sua maioria, um ganho de resistência à compressão do concreto com a adição das fibras se comparado com o concreto convencional. A média do aumento da resistência do concreto dentre os ensaios ficou em cerca de 12%. As fibras de bambu com teor de 2% foi o ensaio com melhor resultado de aumento do desempenho mecânico, apresentando cerca de 41,3% de variação.

Um comportamento comum analisado nos estudos que abordaram diferentes teores de fibras é na diminuição da resistência do concreto com o aumento do teor, ou seja, em um certo teor de fibras, o concreto alcança um valor máximo de resistência, tendo seu desempenho comprometido se exceder a porcentagem de fibras.

Dito isso, fica evidenciado que a taxa de fibra incorporada ao concreto não é proporcional ao seu desempenho, sendo necessário um estudo aprofundado das propriedades do material para o correto dimensionamento do teor de fibra a ser adicionado ao concreto para o atendimento ao projeto.

As fibras vegetais possuem parte do seu desempenho dependente do tratamento que a fibra recebe antes de ser aplicada ao concreto. Por serem provindas de material orgânico, essas fibras devem passar por tratamentos com o intuito de melhorar as propriedades de reforço. Além de proporcionar ganhos na resistência inicial do concreto, as fibras vegetais na construção civil constituem uma solução sustentável para o problema de descarte de material orgânico derivados da produção de produtos agrícolas. Nesse contexto, as fibras sintéticas de Politereftalato de Etileno (PET) apresenta como uma forma de reutilização do material, mostrando-se uma alternativa para o destino desse material descartados como resíduos.

Mediante as análises apresentadas neste trabalho, as fibras são materiais que auxiliam no reforço de estruturas em que o carregamento seja distribuído e os esforços resistido pelo concreto não se concentrem em uma determinada área. Um exemplo de aplicação das fibras como reforço do concreto é em pisos industriais, onde o carregamento é, muitas das vezes, variável e móvel.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL JÚNIOR, Josué Coelho do; SILVA, Luiza Caroline Ferreira; MORAVIA, Weber Guadagnin. **Análise experimental da adição de fibras poliméricas nas propriedades mecânicas do concreto**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 22, p. e11780, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16938**: Concreto reforçado com fibras – Controle da qualidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

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

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

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

AZEVEDO, A. R. G. *et al.* **Technological performance of açai natural fibre reinforced cement-based mortars**. J Build Eng 33: 101675. 2021.

BARBOZA, Christian Souza, *et al.* **Comportamento de argamassas cimentícias reforçadas com fibras de politereftalato de etileno (PET)**. IBEAS - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. 6 Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. Foz do Iguaçu, PR, 2023.

BESKOPYLNY, Alexey N. *et al.* **Enhanced Performance of Concrete Dispersedly Reinforced with Sisal Fibers**. Applied Sciences, v. 12, n. 18, p. 9102, 2022.

BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. **Composites reinforced with cellulose based fibres**. Progress in Polymer Science. v.24, pg. 221-274, 1999.

BORGES, Ana Paula Silva Nascente; MOTTA, Leila Aparecida de Castro; PINTO, Eliane Bernardes. **Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso em paredes estruturais**. Revista Matéria, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, 2019.

CÁCERES, Alan Renato Estrada. **Caracterização geométrica e mecânica de macrofibras poliméricas**. 80f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

CASTOLDI, Raylane de Souza. **Propriedades mecânicas e durabilidade de concretos reforçados com fibras de polipropileno e sisal**. 147f. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

CRUZ, Débora Regina. **Execução de piso industrial de concreto com a utilização de fibra sintética**. 54f. Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de; ALFERES FILHO, Ricardo dos Santos; CECCATO, Marcos Roberto. **Os desafios da avaliação da trabalhabilidade do concreto com fibras**. Concreto e Construções, São Paulo, ed. 87, p. 40–44, set 2017.

FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. **Concreto reforçado com fibras**. 256f. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

GOUVEIA, Leonardo Lúcio de Araújo *et al.* **Estudo comparativo das propriedades mecânicas do concreto padrão e concreto com adição de fibras vegetais**. Congresso Anual da ABM – Internacional. São Paulo, 2014.

JEZEK, Geno. **História do Concreto**. Disponível em: < <http://www.howconcreteworks.com/> > Acesso em: 30 de novembro 2023.

LEITE, A. M.; Castro, A. L. **Influência da adição de macrofibra polimérica no comportamento mecânico de concretos de alta resistência**. HAC2018: V Congresso Ibero-americano sobre Betão Auto-compactável e Betões Especiais, Valência, 2018.

LEITE, A. M.; Castro, A. L. **Influência da matriz cimentícia no comportamento de concretos reforçados com fibras**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, São Paulo, v. 13, n. 3, p. 543–562, jun. 2020.

LEITE, Helena Rodrigues; GIRARDI, Ricardo; HASTENPFLUG, Daniel. **Durabilidade do concreto: análise dos requisitos dos materiais constituintes**. Revista de Engenharia da Faculdade Salesiana, Rio de Janeiro, n. 8, p. 14-25, dez. 2018.

MBIYA, Tresor Nsumbu. **Análise de desempenho do concreto com adição de macrofibras sintéticas de polipropileno submetido a meio agressivo**. 72f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

NAKAMURA, Juliana. **Concreto reforçado com fibras dispensa o uso de armaduras**. Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/concreto-reforcado-com-fibras-dispensa-o-uso-de-armaduras/19432>>. Acessado em: 30 de novembro 2023.

NEVILLE, Adam M. **Tecnologia do concreto**. Bookman Editora, 2013.

POSSAN, Edna; DEMOLINER, Carlos Alberto. **Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral**. Revista Técnico-científica do CREA-PR, Paraná, ed. 1, ISSN 2358-5420, out. 2013.

SALVADOR, Renan Pícolo; FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. **Análise comparativa de comportamento mecânico de concreto reforçado com macrofibra polimérica e com fibra de aço**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 18, p. 1273-1285, 2013.

SILVA, *et al.* **A review on the performance of açai fiber in cementitious composites: Characteristics and application challenges**. Journal of Building Engineering, Rio de Janeiro, v. 74, n. 106481, abr. 2023.

SILVA, L. A. *et al.* **Modelagem preditiva de propriedades mecânicas em concretos reforçados com fibra de aço utilizando redes neurais artificiais**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 215-232, abr./jun. 2022.

SILVA, Rosiany da Paixão. **Argamassas com adição de fibras de polipropileno- estudo do comportamento reológico e mecânico**. 191f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

SILVA V. A. *et al.* **Análise do comportamento de estruturas de concreto com fibra de polipropileno sob flexão**. Revista Teccen. 2019 Jul/Dez; 12 (2): 23-29.

SILVEIRA, J. C. **Análise do comportamento físico e mecânico do concreto reforçado com fibras de polipropileno exposto a altas temperaturas**. Trabalho Final de Curso Graduação). Universidade Filadélfia de Londrina, Unifil, 2018.

SOBRAL, Sávio Hernani. **Propriedades do concreto fresco**. Associação Brasileira de Cimento Portland, ET-15, 32p. 2000.

TANOBE, Érico Shooji Oliveira de Andrade; *et al.* **Avaliação mecânica de concretos com adição de fibras de açaí e curauá.** Revista Técnico-científica do CREA-PR, Paraná. Ed. Especial, ISSN 2358-5420, set 2019.

TAVARES, Felipe Fernando da Costa. *et al.* **Thermal treatment of açaí (Euterpe oleracea) fiber for composite reinforcement.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, 30(1), e2020003, 2020.