



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA

INSTITUTO DE TECNOLOGIA – ITEC

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL – FEC

CAIO AUGUSTO NASCIMENTO SOUTO

**UTILIZAÇÃO DE FIBRA DE COCO COMO REFORÇO NO CONCRETO: UMA
PRÁTICA SUSTENTÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL.**

Belém – PA

2024

CAIO AUGUSTO NASCIMENTO SOUTO

**UTILIZAÇÃO DE FIBRA DE COCO COMO REFORÇO NO CONCRETO: UMA
PRÁTICA SUSTENTÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Dr^a. Taiza Naiana da Silva Ferreira.

Belém – PA

2024

CAIO AUGUSTO NASCIMENTO SOUTO

**UTILIZAÇÃO DE FIBRA DE COCO COMO REFORÇO NO CONCRETO: UMA
PRÁTICA SUSTENTÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Civil do Instituto de
Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Banca examinadora:

X

Prof. Dr^a. Taiza Naiana da Silva Ferreira
Orientadora

X

Prof. Dr^a. Luciana Carvalho Queiroz
Examinadora

X

Prof. Dr. Rodrigo Rodrigues da Cunha
Examinador

BELÉM – PA

01/11/2024

RESUMO

A fim de diminuir o impacto causado ao meio ambiente, a construção civil possui como responsabilidade encontrar recursos sustentáveis para substituir materiais que são ambientalmente danosos. Assim, uma maneira encontrada é introduzir fibra de coco como reforço no concreto em virtude das vantagens trazidas por ela. Tendo em conta isso, o seguinte trabalho buscou investigar se a utilização de fibra de coco como reforço no concreto é viável tecnicamente. A pesquisa se concentra na revisão bibliográfica de trabalhos sobre concreto com fibra de coco, buscando informações, principalmente, a respeito das características mecânicas e a durabilidade dele. Como metodologia, foi-se utilizada a bibliográfica, coletando diversos artigos para leitura e selecionando os mais relevantes e impactantes no ramo acadêmico. Os resultados obtidos demonstram que a incorporação de fibra de coco ao concreto, em uma porcentagem no intervalo de 0% a 2%, melhora as propriedades mecânicas, bem como proporciona uma maior durabilidade a ele. Adicionalmente, o uso de fibra de coco diminui a geração de resíduos sólidos por parte do ramo da construção civil, além de reduzir a liberação de carbono para a atmosfera. Dessa forma, conclui-se que a utilização de fibra de coco no concreto é uma prática promissora que pode ser amplamente implementada, favorecendo a sustentabilidade na construção civil em um momento de crescente preocupação com o meio ambiente.

Palavras-chaves: Fibra de coco; Concreto; Sustentabilidade; Comportamento.

ABSTRACT

In order to reduce negative impacts on the environment, civil construction has a responsibility to find eco-friendly resources to replace harmful materials. So, one way found is to introduce coconut fiber as reinforcement in concrete due to advantages it brings. Considering that, the following study sought to explore whether the use of coconut fiber as reinforcement in concrete is technically viable. The research focuses on reviewing work about coconut fiber reinforced concrete, seeking informations mainly about its mechanical properties and durability. The methodology used was a bibliographic review, collecting serveral articles for readind and selecting the most relevant and impactful in the academic field. The results obtained show that the incorporation of coconut fiber, in a percentage between 0% and 2%, into concrete improves the mechanical properties, as well as providing greater durability. Additionally, the use of coconut fiber reduces the generation of solid waste by civil construction and decreases the release of carbon into the atmosphere. Therefore, it can be concluded that coconut fiber reinforced concrete is a promising pratice that can be widely implemented, favoring sustainability in civil engineering at a time of growing concern for the enviroment.

Keywords: Coconut fiber; Concrete; Sustainability; Behavior.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema dos danos ambientais causados.	13
Figura 2: Fibra de coco	16
Figura 3: Imagem microscópica fibra de coco.	16
Figura 4: Fibra de juta	18
Figura 5: Fibra de banana.	22

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resistência à compressão CRFC para cada concentração de fibra de coco	25
Gráfico 2: Resistência à compressão para cada mistura.....	25
Gráfico 3: Relação entre o conteúdo de fibra de coco e força compressiva.....	26
Gráfico 4: Gráfico Resistência à Tração x Comprimento da fibra de coco.....	27
Gráfico 5: Força de tensão X %Fibra de coco	29
Gráfico 6: Efeito da fibra de coco na resistência à flexão	31
Gráfico 7: Desenvolvimento da resistência à flexão do concreto com fibra de coco.....	33
Gráfico 8: Absorção de água do concreto com diferentes % de FC.....	35
Gráfico 9: Carbonatação CRFC para diferentes concentrações.	36
Gráfico 10: Variação do fator de deterioração de força em solução de $MgSO_4$ para cada % de FC.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características químicas, físicas e mecânicas da fibra de coco.	15
Tabela 2: Comparação entre o módulo de elasticidade da fibra de coco e o da juta.....	18
Tabela 3: Comparação entre a resistência à tração da fibra de coco e a da de juta	19
Tabela 4: Composição química do sisal	20
Tabela 5: Comparação entre o módulo de elasticidade da fibra de coco e o da fibra de sisal .	20
Tabela 6: Comparação entre a resistência à tração da fibra de sisal e a da fibra de coco	20
Tabela 7: Comparação entre o módulo de elast. da fibra de banana e o da de coco	22
Tabela 8: Comparação entre a resistência à tração da fibra de banana e a da de coco.....	23

Tabela 9: Resistência à compressão do CRFC até a concentração de 5% de fibra.	25
Tabela 10: Resistência à tração para cada % de fibra de coco	29
Tabela 11: Valores Resistência à tração para cada conteúdo de fibra de coco	30
Tabela 12: Efeito na resistência à flexão do concreto com a inclusão de fibra de coco.....	31
Tabela 13: Absorção de água para cada % de FC.	34
Tabela 14: Perda de massa do concreto na presença de sulfatos (FC 1,5cm de comprimento).	37
Tabela 15: Concentração de cloreto (%) em CRFC	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SNIC	Sindicato Nacional da Indústria de Cimento
ANEPAC	Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
CRFC	Concreto Reforçado com Fibra de Coco
CREA-SC	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Santa Catarina
GPa	Gigapascal
MPa	Megapascal

Sumário

1.INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	12
2.1-Objetivo geral	12
2.2-Objetivos específicos	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1-Sustentabilidade.....	12
3.2-Impactos ambientais da construção civil.....	13
3.3-Fibra de coco	14
3.4-Vantagens da fibra de coco em relação a outras fibras	17
3.5-Desvantagens da fibra de coco em relação a outras fibras	17
3.5.1-Comparação com a fibra de juta	17
3.5.2-Comparação com a fibra de sisal.....	19
3.5.3-Comparação com a fibra de banana.....	21
4-METODOLOGIA	23
5-RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5.1-Resistência à compressão	24
5.2-Resistência à tração	27
5.3-Resistência à flexão.....	30
5.4-Absorção de água.....	33
5.5-Resistência a ataques químicos.....	35
5.5.1-Carbonatação.....	35
5.5.2-Ataque de sulfatos	36
7-CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
8-REFERÊNCIAS	42

1.INTRODUÇÃO

O setor da construção civil, a cada ano que passa, vem se expandindo e, com isso, tem-se o aumento de impactos ao meio ambiente, visto que tal setor é responsável por um grande consumo de recursos naturais, geração de resíduos e emissão de gases. De encontro a isso, observa-se um esforço no mundo inteiro de tornar as atividades econômicas mais sustentáveis, tendo em vista a possibilitar o desenvolvimento da presente geração sem comprometer o das futuras gerações.

Com o mercado cada vez mais exigente e com o aumento da concorrência, produzir de modo sustentável se tornou um diferencial competitivo. A sustentabilidade na construção civil trata não só da redução de desperdício de materiais, mas de ações que permitam reduzir custos e insumos, que reaproveitem e promovam o uso inteligente de recursos naturais em obras de engenharia e que promovam o desenvolvimento econômico, regional e social (ROQUE & PIERRI, 2018). Além disso, uma construção mais sustentável busca não emitir muita poluição gasosa à atmosfera nem poluição líquida aos rios.

Em relação à produção de concreto, observa-se vários impactos ambientais advindos dela. Citando os principais, tem-se a alta emissão de CO₂, vindo, principalmente, do cimento, um dos principais componentes do concreto, o elevado consumo de recursos naturais, como areia e água, e a geração de resíduos. Assim, é mister que outros caminhos menos poluentes sejam encontrados, tanto para que os recursos disponíveis na natureza não fiquem no limiar do esgotamento, quanto para que a imagem da construção civil perante a sociedade não seja marcada negativamente.

Dessa forma, este trabalho se propõe a investigar a utilização de fibra de coco no concreto como uma alternativa para a sustentabilidade na construção civil. A fibra de coco, proveniente da casca do coco, é um material promissor para a aplicação como reforço no concreto e não danoso ao meio ambiente, o que torna importante a abordagem de tal recurso.

2. OBJETIVOS

2.1-Objetivo geral

Esse trabalho tem como objetivo principal trazer um estado da arte sobre a utilização da fibra de coco na construção civil.

2.2-Objetivos específicos

1. Reproduzir o que foi encontrado sobre a durabilidade e o desempenho mecânico do concreto com fibra de coco nos trabalhos referentes a esse tema;
2. Extrair das pesquisas as proporções ideais de fibra de coco a serem adicionadas ao concreto.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1-Sustentabilidade

As bases do conceito de sustentabilidade surgem em 1972, na conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, conhecida como a Conferência de Estocolmo. O termo significa o conjunto dos processos e ações que se destinam a manter a vitalidade e a integridade da Terra, a preservação de seus ecossistemas com todos os elementos físicos, químicos e ecológicos que possibilitam a existência e a reprodução da vida, o atendimento das necessidades da presente e das futuras gerações, e a continuidade, a expansão e a realização das potencialidades da civilização humana em suas várias expressões. (BOFF, 2017)

O tema “sustentabilidade” foi incorporado ao meio político, empresarial e aos meios de comunicação de massa. Entretanto, isso não quer dizer que tenha sido célere a compreensão acerca dos fatores que mais contribuem para a insustentabilidade global. Não houve mudança significativa no entendimento da prosperidade e desenvolvimento de uma nação, sendo estes ainda vinculados ao desempenho econômico medido pelo crescimento do produto bruto. Tal cenário leva a uma exortação para consumir, cada vez em maior escala, produtos naturais. (BOFF, 2017)

Nesse contexto, o setor da construção civil se encaixa perfeitamente como um dos ramos que mais retardam o progresso da sustentabilidade, visto que consome muitos recursos naturais além de produzir uma grande quantidade de resíduos. Com isso, será importante para aquele setor, estimular as soluções tecnológicas inovadoras com dupla finalidade: primeiro, a diminuição da utilização de matéria-prima não renovável e o reaproveitamento de resíduos (SILVA et al, 2015). Assim, diante da crescente notoriedade no tocante à sustentabilidade, faz-se necessário que mudanças ocorram o mais rapidamente.

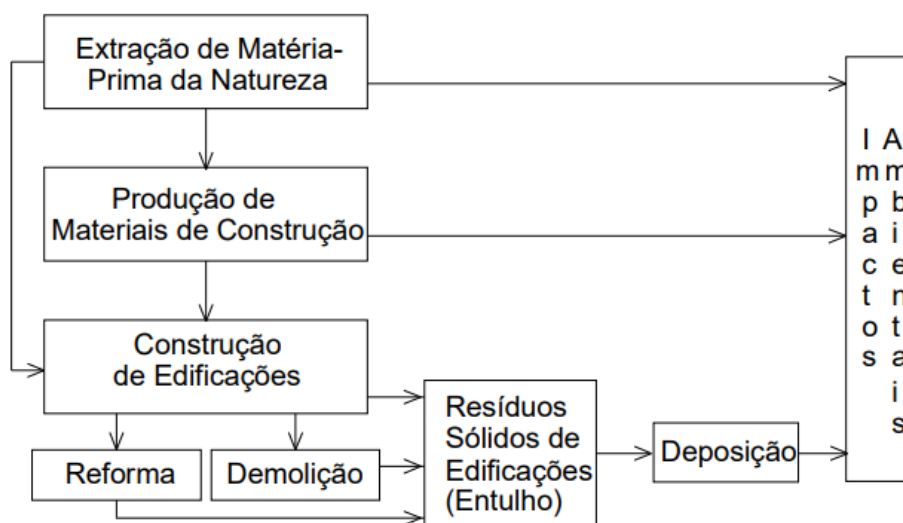
3.2-Impactos ambientais da construção civil

A indústria da construção civil ocupa posição de destaque na economia do Brasil, incorporando investimento e empregabilidade no país. No entanto, na mesma medida em que ajuda no crescimento econômico, tal ramo ocasiona graves impactos à natureza. Um dos elementos que mais ajudam esse campo a ter essa marca negativa é, segundo afirmou o Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Santa Catarina – CREA–SC (2021), o concreto, que requer uma grande quantidade de matéria-prima e origina um elevado número de resíduos não renováveis.

Primeiramente, cabe destacar que o concreto é feito a partir da junção de água, agregados graúdos, agregados miúdos e de uma porção de cimento que, porventura, pode incluir aditivos. Segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento – SNIC (2022), a produção de cimento, no ano de 2022, foi de 63,5 milhões de toneladas. Além disso, de acordo com a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção – ANEPAC (2021), anualmente, as empresas de agregados produzem cerca de 600 milhões de toneladas de agregados para construção. Tais dados evidenciam a grande quantia de insumos que a construção civil utiliza para a produção do concreto, que, certamente, vem à custa da degradação ambiental, seja por extração de recursos, seja por poluição atmosférica.

Em segundo lugar, ressalta-se o enorme montante de resíduos não renováveis gerados pela indústria civil, dos quais uma parcela advém de derivados do concreto. De acordo com dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2022), cerca de 35% dos resíduos sólidos produzidos por ano vem da área da construção civil. Devido a esse fato alarmante, técnicas de construção mais ambientalmente responsáveis e eficientes são necessárias para que tal problemática não se agrave mais ao longo do tempo. A figura 1 a seguir esquematiza as formas que a construção civil impacta negativamente o meio ambiente.

Figura 1: Esquema dos danos ambientais causados.



Fonte: ROTH & GARCIAS (2009).

3.3-Fibra de coco

A fibra de coco é um material em grande disponibilidade dado a alta produção de coqueiros no Brasil, que atualmente, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2021), supera o número de dois bilhões de frutos anualmente. Essa fibra vegetal pode ser obtida tanto do coco seco como verde, sendo extraída da casca do dele após a utilização principal do fruto. Pelo fato de ser versátil, leve e renovável, a utilização dessa fibra tem sido amplamente difundida, estando presente na indústria automobilística, nas instalações acústicas, na fabricação de colchões etc.

O uso da fibra de coco na construção civil tem ganhado destaque devido a uma série de características físicas, químicas e mecânicas que a tornam um material promissor. Dentre as possibilidades de uso dela no ramo, destaca-se as seguintes: uso na pavimentação, nos revestimentos e em elementos estruturais de concreto. No caso do último exemplo, as fibras podem ser adicionadas em diferentes proporções, dependendo dos requisitos de resistência e durabilidade da estrutura, oferecendo uma solução flexível e econômica para melhorar o desempenho do concreto.

Algumas das principais características desse compósito são apresentadas a seguir (SENHORAS, 2003):

•**Durabilidade:** as fibras de coco são constituídas por lignocelulósicos, que influenciam positivamente na durabilidade do material atribuída ao teor de lignina, quando comparado a outras fibras naturais.

•**Rigidez e impermeabilidade:** o elevado índice de rigidez e impermeabilidade apresentado pelo compósito é uma característica presente pela associação da celulose com lignina.

•**Resistência contra-ataques biológicos:** a presença de lignina em conjunto com a celulose atua como agente contra-ataque biológico, apresentando resistência a fungos e roedores.

Tabela 1: Características químicas, físicas e mecânicas da fibra de coco.

Características da Fibra de Coco		
Composições Química e Física	Celulose (%)	35,0 – 45,0
	Lignina (%)	45,0 – 46,0
	Comprimento (mm)	0,3 – 1,0
	Largura (%)	0,10 – 0,45
Propriedades Mecânicas	Resistência a Tração (MPa)	106,0 – 70,0
	Modelo de Elasticidade (GPa)	3,0 – 6,0
	Alongamento de Ruptura (%)	15,0 – 47,0

Fonte: Giraldelli et al, 2020.

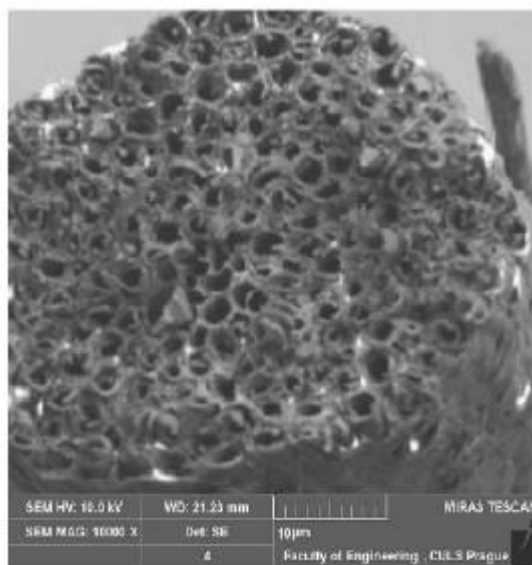
Além disso, é importante salientar o impacto ambiental reduzido da fibra de coco. Diferentemente de materiais de reforço convencionais, como fibras de vidro ou aço, as fibras de coco são biodegradáveis e renováveis, o que contribui para a redução do consumo de recursos naturais, minimização de desperdício e a diminuição da geração de resíduos. Assim, diante das características únicas da fibra de coco, aliadas aos seus benefícios ambientais e econômicos, percebe-se que sua incorporação na construção civil, em especial na composição do concreto, pode contribuir para a promoção de práticas mais sustentáveis nesse ramo.

Figura 2: Fibra de coco



Fonte: EMBRAPA (2012)

Figura 3: Imagem microscópica fibra de coco.



Fonte: JAMSSHAID et al (2022)

3.4-Vantagens da fibra de coco em relação a outras fibras

Quanto às vantagens da fibra de coco em relação a outras fibras naturais, destaca-se o fato de aquela ter uma boa resistência à água e uma alta flexibilidade (MARTINELLI et al, 2023). Essa alta flexibilidade permite que o concreto não se desloque ao fissurar, o que aumenta a resistência à fratura (MARTINELLI et al, 2023), e faz com que a fibra de coco alcance 4 a 6 vezes mais deformação que outras fibras naturais (ZAMORA-CASTRO et al, 2021). Mishra & Basu (2020) notam que a fibra de coco possui uma grande propriedade de alongamento de ruptura, o que causa um notável trabalho de ruptura.

Outrossim, cabe destacar que a fibra de coco é uma das melhores fibras no que diz respeito à dureza (VERMA, 2015). Ali et al (2022) também destaca que a fibra de coco possui uma alta dureza se comparada com outras fibras naturais. Ademais, sua degradação, devido ao alto conteúdo de lignina, acontece mais lentamente se comparada com a de outras fibras naturais (BUI et al, 2018). Por fim, a fibra de coco absorve uma menor quantidade de água quando defrontada com outras fibras naturais devido ao seu menor teor de celulose (OKPALA et al, 2021).

3.5-Desvantagens da fibra de coco em relação a outras fibras

Quando confrontada com outras fibras naturais, a fibra de coco possui algumas desvantagens. A seguir, serão mostradas as desvantagens da fibra de coco com relação às fibras de juta, sisal e banana.

3.5.1-Comparação com a fibra de juta

A juta, cultivada na Amazônia, é uma planta dicotiledônia e uma fibra têxtil vegetal e faz parte de uma das principais atividades econômicas das populações ribeirinhas daquela região (MIRANDA, 2023). Tal planta alcança uma altura de 3 a 4 metros, e o seu talo tem uma grossura de aproximadamente 20mm, crescendo em climas úmidos e tropicais (SOUZA et al, 2018). A fibra de juta apresenta rendimento de 2 toneladas de fibra por hectare, sendo uma das fibras mais acessíveis (FIORE, 2017). Como componente principal da juta, tem-se a celulose, que é encontrada na forma de hastes finas alinhadas ao longo do comprimento de fibra (RIBEIRO, 2018).

Figura 4: Fibra de juta



Fonte: COSTA et al, 2013.

Em comparação com a fibra de juta, a fibra de coco possui a desvantagem de possuir um menor módulo de elasticidade (MARQUES, 2015). O que explica isso é que essa propriedade está ligada ao teor de celulose, o que faz com que fibras que tenham mais celulose possuam um maior modelo de elasticidade (ELFALEH et al, 2023). A fibra de juta, por exemplo, possui uma porcentagem de celulose que varia de 61-71%, diferentemente da fibra de coco, que não chega a 45% de celulose em sua composição (ELFALEH et al, 2023). Segue abaixo uma tabela do módulo de elasticidade encontrado para essas duas fibras por alguns autores:

Tabela 2: Comparação entre o módulo de elasticidade da fibra de coco e o da juta

Módulo de Elasticidade (E)		
Autor	Fibra de Juta	Fibra de Coco
MARQUES (2015)	26,5 GPa	4-13 GPa
ELFALEH et al (2023)	10-55 GPa	1,27-6 GPa
PEÇAS et al (2018)	20-55 GPa	6 GPa
BAZLI & BAZLI (2021)	10-30 GPa	4-6 GPa
KARIMAH et al (2021)	20-55 GPa	4-6 GPa
HERZMANN (2022)	8-78 GPa	1,8-6 GPa
RAO et al (2017)	10-30 GPa	4-6 GPa
GAIROLA et al (2021)	8-78 GPa	4-6 GPa
KANDAN & RAJAKUMAR (2020)	20-55 GPa	6 GPa
CHOKSHI et al (2020)	3-55 GPa	2,8-6 GPa

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A fibra de juta ainda possui a vantagem de ter filamentos menos vulneráveis ao encolhimento após a secagem, o que a torna menos propensa a deixar poros quando misturada com o concreto (ALOMAYRI & ALI, 2023). Por último, uma outra desvantagem da fibra de coco em relação à fibra de juta é a baixa resistência à tração. Tal inferioridade é evidenciada pelos dados a seguir:

Tabela 3: Comparação entre a resistência à tração da fibra de coco e a da de juta

Resistência à Tração		
Autor	Fibra de Juta	Fibra de Coco
MARQUES (2015)	393-773 MPa	131-175 MPa
ELFALEH et al (2023)	385-850 MPa	106-593 MPa
PEÇAS et al (2018)	187-773 MPa	175 MPa
BAZLI & BAZLI (2021)	393-800 MPa	175-220 MPa
KARIMAH et al (2021)	393-900 MPa	95-593 MPa
HERZMANN (2022)	320-800 MPa	95-230 MPa
RAO et al (2017)	393-800 MPa	175-220 MPa
GAIORLA et al (2021)	320-800 MPa	175-220 MPa
KANDAN & RAJAKUMAR (2020)	200-450 MPa	140 MPa
CHOKSHI et al (2020)	187-800 MPa	95-593 MPa

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

3.5.2-Comparação com a fibra de sisal

Fibra de sisal é uma fibra natural obtida das folhas da planta de sisal, que é nativa do México e, agora, pode ser encontrada em muitos países tropicais e subtropicais (GUO et al, 2023). Os principais componentes da fibra de sisal, assim como em outras fibras naturais, são a celulose, lignina e hemicelulose, sendo que a celulose possui a maior concentração dentre esses três componentes (GUO et al, 2023). O quadro a seguir destaca a composição química do sisal:

Tabela 4: Composição química do sisal

Composição química	
Hemi Celulose [%]	10
Celulose [%]	78
Lignina [%]	8
Cerosos [%]	2
Cinzas [%]	1

Fonte: HERZMANN, 2022.

Essa fibra possui uma alta durabilidade, uma boa capacidade de alongamento, além de resistência a deterioração em água salgada, tendo, no entanto, uma baixa flexibilidade (CHAND & FAHIM, 2021). Ademais, as superfícies das fibras de sisal são constituídas de compostos orgânicos e inorgânicos, além de materiais de natureza hidrofílico (HERZMANN, 2022). A fibra de sisal é mais uma fibra que leva vantagem sobre a fibra de coco no atributo módulo de elasticidade. O quadro a seguir mostra achados de autores sobre tal quesito para as duas fibras:

Tabela 5: Comparação entre o módulo de elasticidade da fibra de coco e o da fibra de sisal

Módulo de Elasticidade (E)		
Autor	Fibra de Sisal	Fibra de Coco
GIRALDELLI et al (2020)	9-28 GPa	3-6 GPa
ELFALEH et al (2023)	9-38 GPa	1,27-6 GPa
PEÇAS et al (2018)	9-22 GPa	6 GPa
BAZLI & BAZLI (2021)	9-38 GPa	4-6 GPa
KARIMAH et al (2021)	9-38 GPa	4-6 GPa
HERZMANN (2022)	9-38 GPa	1,8-6 GPa
RAO et al (2017)	9-38 GPa	4-6 GPa
GAIORLA et al (2021)	9-38 GPa	4-6 GPa
KANDAN & RAJAKUMAR (2020)	9-16 GPa	6 GPa
CHOKSHI et al (2020)	9-38 GPa	2,8-6 GPa

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Quanto à comparação da resistência à tração, observa-se que a fibra de sisal leva vantagem sobre a fibra de coco nesse quesito. Para chegar a essa tendência, foi coletado dados de diversos autores. Esses dados estão no quadro seguinte:

Tabela 6: Comparação entre a resistência à tração da fibra de sisal e a da fibra de coco

Resistência à Tração		
Autor	Fibra de Sisal	Fibra de Coco
GIRALDELLI et al (2020)	55-468 MPa	70-106 MPa
ELFALEH et al (2023)	80-840 MPa	106-593 MPa
PEÇAS et al (2018)	507-855 MPa	175 MPa
BAZLI & BAZLI (2021)	400-700 MPa	175-220 MPa
KARIMAH et al (2021)	274-855 MPa	95-593 MPa
HERZMANN (2022)	363-700 MPa	95-230
RAO et al (2017)	400-700 MPa	175-220 MPa
GAIORLA et al (2021)	363-700 MPa	175-220 MPa
KANDAN & RAJAKUMAR (2020)	363-700 MPa	140 MPa
CHOKSHI et al (2020)	350-840 MPa	95-593 MPa

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

3.5.3-Comparação com a fibra de banana

A fibra de banana é um produto advindo da cultura da planta de banana, é uma fibra lignocelulósica e pode ser extraída do pseudo-caule da planta de banana (MURALIKRISHNA et al, 2020). Tal fibra possui boas propriedades mecânicas, suas propriedades de resistências são melhores que outras fibras convencionais, tem um peso leve, tem resistência ao fogo, é biodegradável e uma qualidade de absorção de umidade robusta (BHARATHI et al, 2021). Quanto à composição química, seu principal componente é a celulose, com teor que fica entre 60-65 %, seguida da hemicelulose, com teor entre 6-19%; a lignina não se faz tão presente na fibra de banana, possuindo uma concentração entre 5-10% (BHATNAGAR et al, 2023).

Figura 5: Fibra de banana.



Fonte: Ecosilky.com

Assim como feito anteriormente, será mostrado um quadro com os dados de alguns autores comparando o módulo de elasticidade da fibra de banana com o da fibra de coco. Pelos dados, será possível notar que a fibra de banana é mais uma a levar vantagem sobre a fibra de coco nessa característica.

Tabela 7: Comparação entre o módulo de elast. da fibra de banana e o da de coco

Módulo de Elasticidade (E)		
Autor	Fibra de Banana	Fibra de Coco
HERZMANN (2022)	12 GPa	1,8-6 GPa
KARTHIK et al (2024)	17,85 GPa	4-6 GPa
ELFALEH et al (2023)	12-33,8 GPa	1,27-6 GPa
PEÇAS et al (2018)	27-32 GPa	6 GPa
BAZLI & BAZLI (2021)	17,85 GPa	4-6 GPa
KARIMAH et al (2021)	7,7-33,8 GPa	4-6 GPa
RAO et al (2017)	17,85 GPa	4-6 GPa
GAIORLA et al (2021)	12 GPa	4-6 GPa
KANDAN & RAJAKUMAR (2020)	27-32 GPa	6 GPa
CHOKSHI et al (2020)	7,7-32 GPa	2,8-6 GPa

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Bem como nas outras comparações, a fibra de coco leva desvantagem quando confrontada com a fibra de banana no quesito resistência à tração. Embora aquela fibra possua uma boa resistência à tração, ela fica aquém de outras nesse quesito (KARTHIK et al, 2024).

Tabela 8: Comparação entre a resistência à tração da fibra de banana e a da de coco

Resistência à Tração		
Autor	Fibra de Banana	Fibra de Coco
HERZMANN (2022)	500 MPa	95-230 MPa
KARTHIK et al (2024)	600 MPa	175 MPa
ELFALEH et al (2023)	350-980 MPa	106-593 MPa
PEÇAS et al (2018)	529-914 MPa	175 MPa
BAZLI & BAZLI (2021)	600 MPa	175 MPa
KARIMAH et al (2021)	355-754 MPa	95-593 MPa
RAO et al (2017)	600 MPa	175-220 MPa
GAIORLA et al (2021)	500 MPa	175-220 MPa
KANDAN & RAJAKUMAR (2020)	529-914 MPa	140 MPa
CHOKSHI et al (2020)	54-914 MPa	95-593 MPa

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

4-METODOLOGIA

A metodologia utilizada para coletar dados e informações foi, em sua totalidade, bibliográfica. A pesquisa bibliográfica é primordial na construção da pesquisa científica, uma vez que nos permite conhecer melhor o fenômeno em estudo usando os seguintes instrumentos: livros, artigos científicos, teses, dissertações, anuários, revistas e outros tipos de fontes (SOUSA, OLIVEIRA & ALVES, 2021).

O presente trabalho contemplou apurações de artigos, teses e dissertações nas seguintes fontes eletrônicas: Google Acadêmico, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Periódico Capes e ScienceDirect. Ademais, também foram utilizados livros relacionados de alguma forma ao tema que pudessem acrescentar informações importantes.

Nas buscas, foram usadas palavras chaves relacionadas ao tema nos idiomas português e inglês. Além disso, procurou-se dar preferência a trabalhos publicados em um intervalo de

tempo de 7 anos contados retroativamente ao ano de 2024, garantindo a atualidade das informações. Contudo, em alguns casos, coletou-se artigos e trabalhos bastante relevantes que foram publicados em um passado mais distante.

Ao selecionar os trabalhos, buscou-se fazer uma leitura e análise inicial, destacando os principais achados e informações primordiais. Logo após isto, fez-se uma coleta das informações para realizar comparações entre elas, procurando identificar padrões e diferenças à luz do objetivo principal do trabalho. Por fim, chegou-se a uma conclusão acerca do uso da fibra de coco no concreto.

5-RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, será apresentado e discutido os resultados obtidos durante a pesquisa bibliográfica sobre o tema em questão. Será abordado as propriedades do concreto reforçado com fibra de coco, bem como a viabilidade econômica de tal uso.

5.1-Resistência à compressão

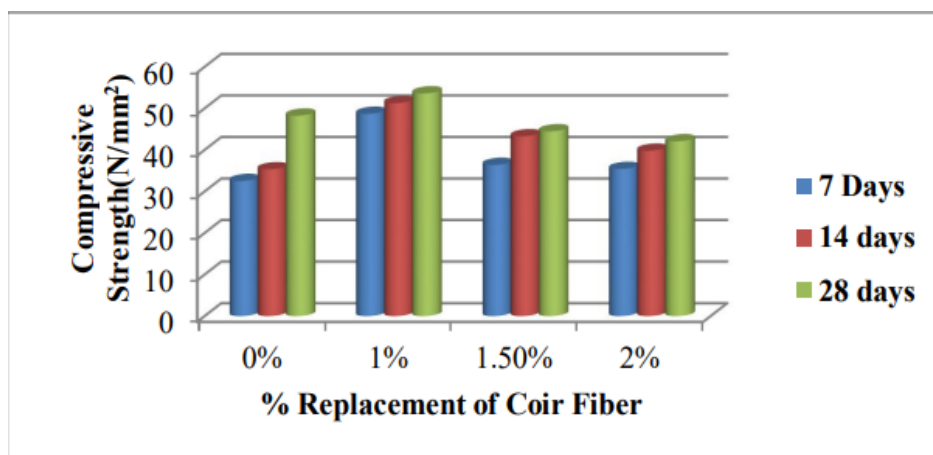
A resistência à compressão é a medida da capacidade do concreto de resistir a forças que tentam comprimi-lo ou esmagá-lo. Um dos objetivos na produção do concreto é fazer com que tal propriedade seja elevada. Uma das formas de se conseguir isso é por meio da implementação de fibra de coco como reforço.

Segundo Ahmed et al. (2020), o concreto com 1,5% de conteúdo de fibra de coco de 50mm apresentou capacidade de compressão 25% maior que o concreto de referência. Jamshaid et al. (2022) também observou um aumento na resistência à compressão do concreto tendo a fibra de coco como reforço: a presença de 0,5% de fibra de coco de comprimento de 30mm aumentou a resistência à compressão em 9%. Essa tendência de aumento do fck também foi constatada por Varghese & Unnikrishnan (2023): a força compressiva do concreto aumentou 5% para um conteúdo de 0,5% de fibra de 50mm e 21% para um conteúdo de 0,5% de fibra de 75mm; já quando aumentou o conteúdo de fibra de coco para 1% e utilizou-se a fibra de 75mm de comprimento, obteve-se um aumento de 5% na resistência à compressão.

De acordo com Filho (2021), a concentração de 1% de fibra de coco de comprimento de 50mm no concreto aumenta a resistência à compressão em, aproximadamente, 16%, ficando com um fck de 30,28Mpa ante o fck de 26,01 do concreto de referência. Alves (2020) constatou que a força compressiva do concreto reforçado com fibra de coco, ao fim de 28 dias, foi cerca de 13% maior que a do concreto referência.

Amirtharaj (2019) fez testes para medir a resistência à compressão do concreto reforçado com fibra de coco e percebeu que esse propriedade atingiu seu máximo quando foi incrementado 1% de fibra de coco. Aumentando a concentração de fibra para além desse valor, foi notado que a resistência era menor que a do concreto convencional, como mostra o gráfico abaixo:

Gráfico 1: Resistência à compressão CRFC para cada concentração de fibra de coco



Fonte: AMIRTHARAJ (2019)

Yadav & Singh (2019) acharam uma concentração limite maior: até 5% de fibra de coco no concreto, pode-se obter uma resistência à compressão maior que a do concreto convencional. Tal tendência pode ser observada pelo quadro abaixo:

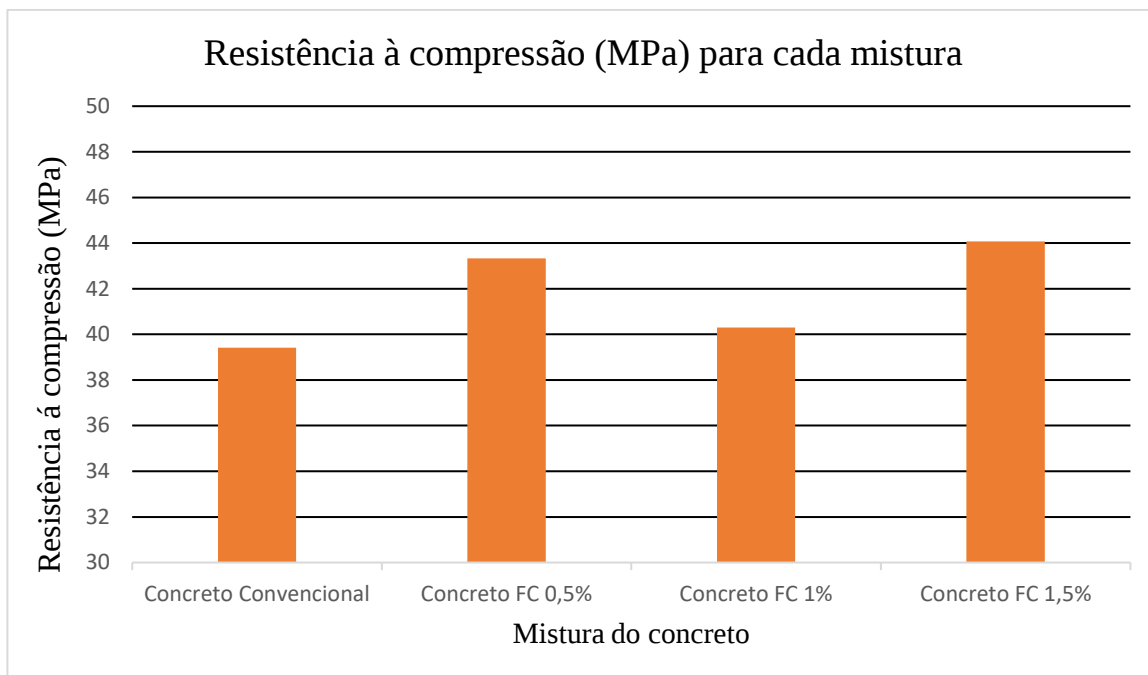
Tabela 9: Resistência à compressão do CRFC até a concentração de 5% de fibra.

Percentage Of Coir	Strength After 7 Days (N/mm ²)	Strength After 28 Days(N/mm ²)
0%	13.65	22.73
1%	11.65	23.25
2%	11.87	23.84
3%	11.75	23.44
4%	11.78	25.7
5%	15.02	26.20

Fonte: YADAV & SINGH (2019)

Para Parida et al (2019), a concentração que dá ao CRFC a máxima resistência à compressão é a de 1,5%, como se pode ver no gráfico abaixo:

Gráfico 2: Resistência à compressão para cada mistura

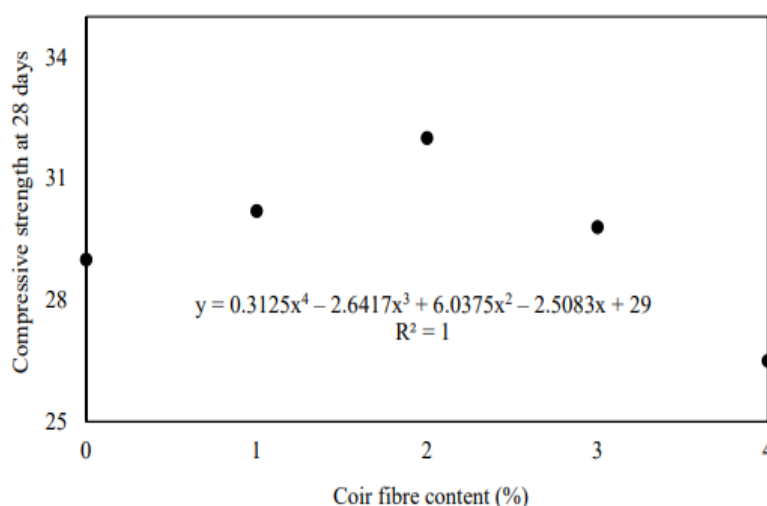


Fonte: Adaptado PARIDA et al (2019)

Segundo os autores, o conteúdo que dá ao concreto máxima resistência à compressão preenche todos os vazios no concreto. Ao aumentar a concentração, cria-se mais vazios devido ao excesso de fibras. Jamshaid et al (2020) chegou a uma conclusão semelhante ao afirmar que a diminuição da resistência com o aumento da concentração se deve a fissuras e vazios atinentes à irregular orientação da fibra, o que leva à falha mecânica do concreto.

Katman et al (2022) também chegaram à mesma tendência apresentada até aqui: a força compressiva do concreto é incrementada com a inclusão de fibra de coco até uma certa concentração, observando-se um declínio dessa propriedade com um aumento para além desse conteúdo limite. Como será visto pelo gráfico a seguir, a quantidade de fibra de coco máxima achada pelos autores para uma melhora na resistência à compressão foi de 2%; ao aumentar esse valor para 3% e 4%, notou-se uma queda.

Gráfico 3: Relação entre o conteúdo de fibra de coco e força compressiva



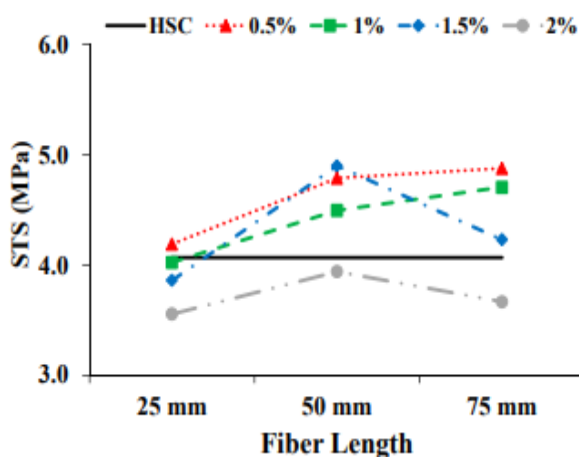
Fonte: KATMAN et al (2022)

De acordo com os autores, isso é devido ao fato de que a inclusão de fibras tende a fazer os agregados entrarem nos poros, garantindo uma ligação adequada; porém um número grande de fibras resulta em volumosidade, que distorce a ligação e produz uma força menor. Além disso, as impurezas presentes na superfície da fibra e a grossura das fibras podem também impedir a melhora na mistura dos ingredientes do concreto.

5.2-Resistência à tração

Assim como observado na resistência à compressão, houve uma melhora na resistência à tração do concreto reforçado com fibra de coco. Como mostra Ahmad et al. (2020): usando fibra de coco de comprimento de 50mm ou 75mm como reforço no concreto, observa-se um aumento na resistência à tração, que pode variar de acordo com a concentração de fibra de coco. Comparando com o concreto de referência, o aumento pode chegar a 20,4%, tendo como concentração de fibra 1,5% e fazendo-se uso do comprimento de 50mm, como mostra o gráfico a seguir:

Gráfico 4: Gráfico Resistência à Tração x Comprimento da fibra de coco.

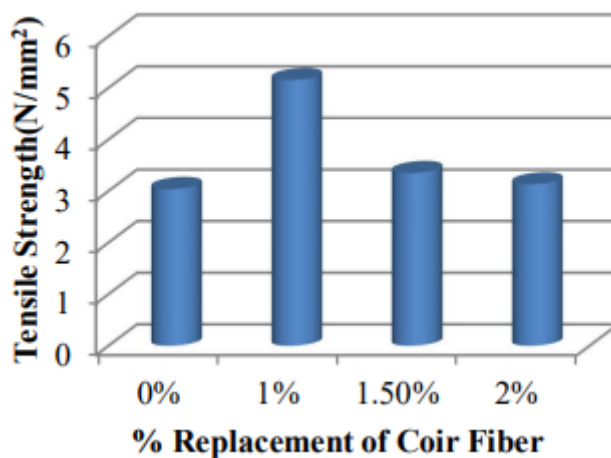


Fonte: AHMED et al. (2020).

Varghese & Unnikrishnan (2023) também notaram melhora no comportamento dessa propriedade. Segundo os autores, o concreto reforçado com fibra de coco de 75 mm com 0,5% fibra mostrou uma elevação de 10% na resistência à tração se comparado ao de referência. Sivakumaresa, Chockalingam e Rymond (2022) observaram igualmente que, com a adição de fibra de coco em 0,5% a 1,5% de fibra, a resistência à tração aumentou em 18%. O motivo para tal melhora, segundo Ahmed et al (2022) é que as fibras de coco inibem a formação de fratura, o que acaba melhorando a flexibilidade do concreto e, consequentemente, sua resistência à tração.

Para Amirtharaj (2019), a força de tensão máxima é observada quando se adiciona 1% de fibra de coco no concreto; para uma concentração maior que essa, evidencia-se uma queda do valor, como é mostrado no gráfico abaixo:

Gráfico 5: Força de tensão X %Fibra de coco



Fonte: AMIRTHARAJ (2019)

Nehvi & Kumar (2019) constataram que a resistência à tração alcança um valor máximo quando se adiciona 3% de fibra de coco no concreto; concentrações acima desse valor exibem uma tendência de queda. A tabela a seguir mostra os dados achados pelos autores:

Tabela 10: Resistência à tração para cada % de fibra de coco

% de Fibra de coco	Resistência à tração do concreto em MPa			
	7 dias	14 dias	28 dias	Tensão Média
0%	2,03	2,82	3,1	2,65
1%	2,16	3,02	3,14	2,8
2%	2,35	3,14	3,41	3,0
3%	2,58	3,28	3,56	3,14
4%	2,21	3,09	3,48	2,93
5%	2,05	2,11	3,01	2,4

Fonte: NEHVI & KUMAR (2019)

Nos testes de Katman et al (2022), a resistência à tração do concreto aumentou até a concentração de 2% de fibra de coco. Depois disso, os autores registraram uma queda na força de tensão, chegando a um valor até mais baixo que o do concreto de referência. Para eles, o ganho de força é atribuído ao fato de que as fibras melhoram a capacidade de tensão do concreto, enquanto a queda repentina se deve à formação de uma zona de intertransição mais fraca ao redor das fibras e suas propriedades físicas, como o comprimento e a grossura.

Tabela 11: Valores Resistência à tração para cada conteúdo de fibra de coco

Mix ID	Applied Force (KN)	Splitting Tensile Strength (MPa)	Average Splitting Tensile Strength (MPa)
C	97.654	3.11	3.10
	96.398	3.07	
	97.968	3.12	
CF1	102.050	3.25	3.30
	104.248	3.32	
	104.562	3.33	
CF2	107.388	3.42	3.45
	109.272	3.48	
	108.330	3.45	
CF3	101.736	3.24	3.25
	101.736	3.24	
	102.678	3.27	
CF4	93.572	2.98	3.00
	94.200	3.00	
	94.828	3.02	

Fonte: KATMAN et al (2022)

Rajkohila et al (2024) notou que a mistura de concreto com fibra de coco de 40mm em um conteúdo de 1% atingiu um aumento de cerca de 6% na resistência à tração. No entanto, segundo os autores, com o aumento da quantidade de fibra na mistura – acima de 2% – veio a diminuição do valor dessa propriedade em comparação ao concreto controle. Tal tendência foi observada da mesma forma por Ahmed et al (2022), mostrando que aumentar a quantidade de fibra de coco acima do limite de 2% faz com que a resistência seja reduzida. Isso é atribuído, segundo esses últimos autores, a irregularidades na distribuição das fibras.

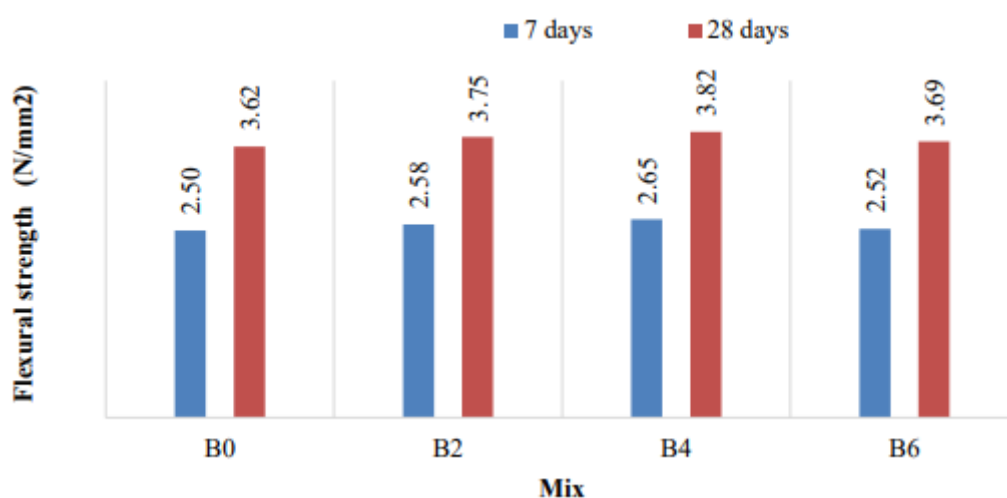
Por fim, Naamandadin et al (2020) encontraram uma concentração de 3% de fibra de coco como ideal para se ter uma resistência à tração máxima. Os autores testaram as concentrações de 4% e 5% e notaram que ambas reduziam essa força para um valor menor que o do concreto convencional. Isso pode ser explicado, de acordo com eles, pela abundância de fibra de coco, que acaba por não fazer a fixação adequada no concreto.

5.3-Resistência à flexão

O concreto com fibra de coco, até um certo ponto, apresenta resultados melhores no que diz respeito à resistência à flexão se comparado com o concreto convencional. Isso pode ser

evidenciado por Kore (2021), que fez experimento com concreto reforçado com as concentrações de 2%, 4% e 6% de fibra de coco para comparar a resistência à flexão desses concretos com o convencional. O resultado encontrado foi que todas essas misturas apresentaram uma melhora nessa força, sendo que a mistura com 4% de fibra de coco foi a que teve o maior desempenho e a de 6% apresentou o menor. Segundo o autor, isso é devido à forte ligação entre a pasta de cimento e os dedos da fibra, o que restringe a propagação de rachaduras devido à alta elasticidade da fibra de coco.

Gráfico 6: Efeito da fibra de coco na resistência à flexão



Fonte: KORE (2021)

Mais uma pesquisa foi feita por Nehvi & Kumar (2019), que também evidenciaram que o concreto com fibra de coco tem uma resistência à flexão maior que a do concreto sem fibra. Os autores utilizaram na pesquisa as concentrações de 1%, 2%, 3%, 4% e 5%, obtendo o maior resultado com a concentração de 3% e o menor com a de 5%.

Tabela 12: Efeito na resistência à flexão do concreto com a inclusão de fibra de coco

% de Fibra de coco	Resistência à flexão do concreto em MPa			
	7 dias	14 dias	28 dias	Força de Flexão Média
0%	4,85	5,51	6,01	5,45
1%	4,98	6,06	6,66	5,9
2%	5,11	6,86	7,02	6,33
3%	5,13	7,1	8,25	6,83
4%	4,7	6,4	7,15	6,08
5%	4,5	6,04	6,78	5,7

Fonte: NEHVI & KUMAR (2019)

Jamshaid et al. (2022) notou, por meio de amostras, que a resistência à flexão do concreto aumentou até a concentração de 1,5% de fibra de coco e, depois disso, começou a decair. Conforme os autores, esse aumento na força de flexão foi baseado na propriedade de tensão da fibra de coco. Já a queda se deve ao aumento na porosidade e a pontos fracos na interface fibra-concreto; tal fraqueza na região interfacial foi constatada por imagens ópticas de rachaduras das amostras analisadas pelos autores.

Rumbayan et al. (2019) verificou um aumento de 19% nessa resistência, utilizando 0,25% de fibra de coco. Fernandez (2019) encontrou um aumento de cerca de 8% nessa propriedade quando adicionado 1,5% de fibra de coco após 28 dias de cura. More & Subramanian (2022) observaram que, com 2,0% de fibra de coco, o concreto obteve um aumento de 15% na resistência à flexão. Varghese & Unnikrishnan (2023) acharam um aumento mais modesto se comparado aos outros autores: com 0,5% de fibra de coco de 75mm, o concreto mostrou um aumento de 2% na resistência à flexão. Por fim, Ahmad et al (2020) testemunharam um aumento de 3% com uma concentração de 1,5% e utilizando fibra de 50mm de comprimento.

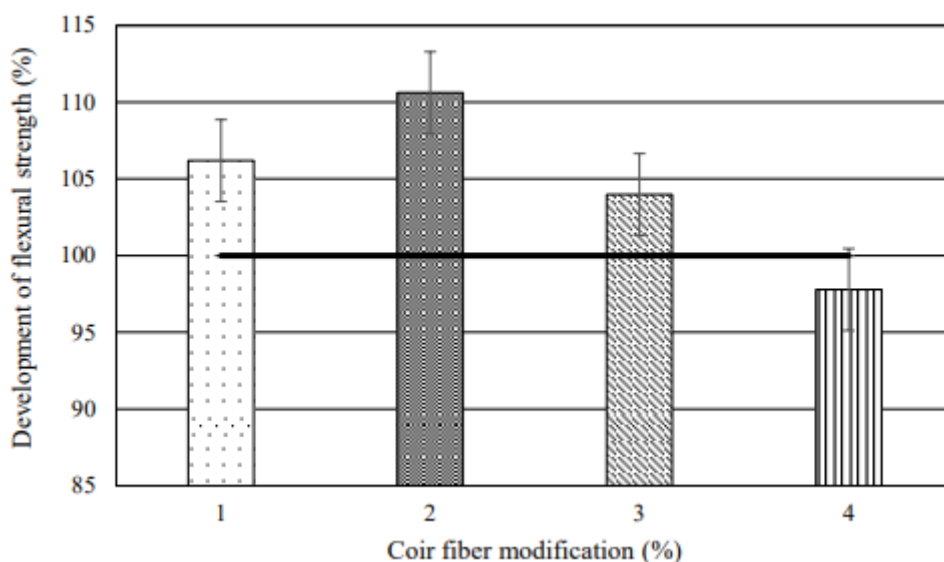
Autor	% de fibra de coco	Aumento em comparação com o concreto sem fibra
RUMBAYAN et al (2019)	0,25%	19%
FERNANDEZ (2019)	1,5%	8%
MORE & SUBRAMANIAN(2022)	2%	15%
AHMAD et al (2020)	1,5%	3%
VARGHESE & UNNIKRISHNAN (2023)	0,5%	2%

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Katman et al (2022) relatou que a capacidade de suportar flexão de um concreto é maior que o concreto convencional até a inclusão de 3% de fibra, passando, a partir de 4% de concentração, a ser menor que o concreto sem fibra. Para os autores, o crescimento da força de flexão pode ser explicado pelo “bridging effect” (efeito de ponte) da fibra, que transfere a tensão na matriz através da fissura de abertura e resiste a uma carga excedente após atingir um carregamento máximo. Quanto ao decréscimo na resistência à flexão depois de uma certa concentração, os compositores afirmam que pode ser devido à formação de uma zona de inter-

transição mais fraca. Ademais, a poluição disponível na superfície exterior da pilha de fibras pode também resultar na retardação da força.

Gráfico 7: Desenvolvimento da resistência à flexão do concreto com fibra de coco



Fonte: KATMAN et al (2022)

Ahmad et al (2022) registrou em seu estudo um aumento de 38% depois de 28 dias, com uma porcentagem de fibra de coco de 3%. O que faz com que haja esse aumento na resistência à flexão é que a fibra de coco evita a ruptura de fissuras; assim, permite que as fissuras fluam ao redor das fibras e transfiram tensões, aumentando a capacidade de flexão ao inibir o desenvolvimento de fraturas (AHMAD et al, 2022). Shah et al (2022) encontraram uma melhora de 10%, 20% e 17% da força de flexão para uma concentração de 1%, 2% e 3% de fibra de coco, respectivamente, e a explicação deles é similar à supracitada. Segundo estes autores, a considerável melhora pode ser creditada à “crack bridging capacity” (capacidade de formação de pontes de fissuras). Portanto, ainda de acordo com eles, a ativação das fibras antes e depois da macrofissuração no concreto desempenha um papel fundamental no aumento da resistência do concreto sob carga de flexão.

5.4-Absorção de água

A absorção de água, tanto oriunda do amassamento quanto da cura, pode influenciar diretamente a durabilidade do concreto, visto que a relação água/cimento é o fator mais influente na porosidade do concreto. Assim, a capacidade do concreto de resistir às agressões

associadas à penetração de água influencia na qualidade final do material (PEDROZA et al, 2018). Assim, é importante pesquisar se a adição de fibra de coco aumenta ou diminui a absorção de água pelo concreto.

Em alguns estudos, a absorção de água por fibras naturais foi maior do que a do concreto convencional quando adicionado um grande percentual de fibra. Com a implementação de 2% de fibra de coco de 40mm, a absorção de água observada foi de 2,79%, ante 2,09% de água absorvida pelo concreto de referência; tal aumento de água causa degradação das fibras, o que leva à formação de vazios no concreto (MORE e SUBRAMANIAM, 2022). Jamshaid et al (2022) também notaram que a absorção de água era maior que a do concreto convencional quando se adicionava fibra de coco, sendo que, à medida que a concentração aumentava, a absorção de água aumentava também.

Nessa mesma tendência, Naamandadin et al (2020) verificaram um aumento na absorção de água a cada aumento de porcentagem de fibra de coco na mistura; a tabela abaixo mostra os valores encontrados pelos autores:

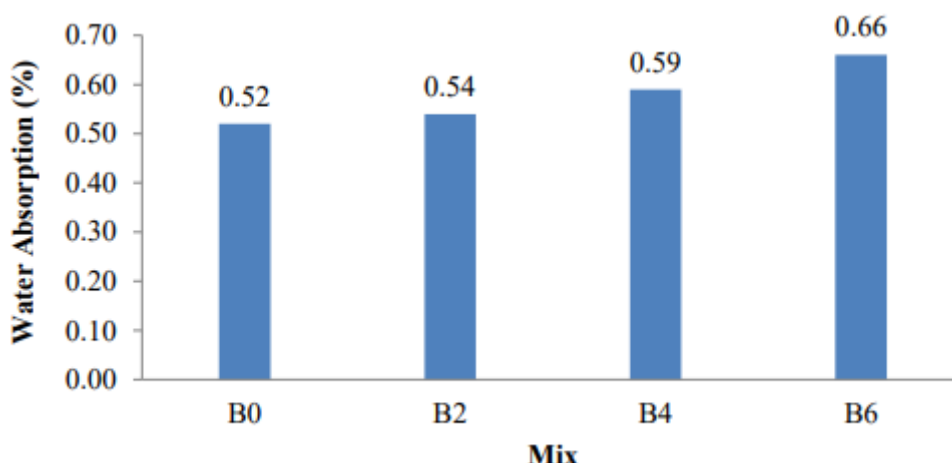
Tabela 13: Absorção de água para cada % de FC.

% Fibra de coco	Absorção de água (Kg)	
	7 dias	28 dias
0 %	0,11	0,15
3%	0,14	0,17
4%	0,19	0,19
5%	0,22	0,21

Fonte: Adaptado NAAMANDADIN et al (2020)

Kore (2021) evidenciou também um aumento na absorção de água do concreto com fibra de coco. Segundo o autor a absorção aumentou aproximadamente 4%, 13% e 26% com 2%, 4% e 6% de concentração de fibra de coco se comparado com o concreto sem fibra. Isso, segundo ele, indica que as fibras de coco impactam na porosidade do concreto; além disso, um outro motivo para tal elevação é a presença de hidroxila nas fibras, elemento esse que possui uma alta absorção de umidade.

Gráfico 8: Absorção de água do concreto com diferentes % de FC.



Fonte: KORE (2021)

Utilizando fibra de coco com um comprimento de 30mm, a absorção de água do concreto reforçado com 1% desse material foi menor que a do concreto convencional, porém, a partir de 2%, observou-se que a absorção de água passou a ser maior (SAM e SHEEJA, 2016). Tal tendência também foi evidenciada por Zaid et al (2021): a absorção de água decresce à medida que a porcentagem de fibra de coco cresce até 2%, com a absorção de água máxima observada em 0% de fibra de coco e a mínima absorção observada com 2% de fibra de coco. A explicação para essa diminuição da absorção de água, segundo os autores, é que a inclusão de fibra de coco resulta em um aumento na característica de tensão do concreto, o que limitaria a criação e desenvolvimento de fraturas iniciais e, conseqüentemente, limitaria a entrada de água.

Shah et al (2022) testemunharam um declínio na absorção de água ao se adicionar fibra de coco em um conteúdo entre 1-2%. A explicação para isso vai ao encontro da dada acima: os filamentos da fibra de coco controlam as fissuras que podem ocorrer no encolhimento devido à secagem, o que resulta em uma menor porosidade do concreto.

5.5-Resistência a ataques químicos

Com relação a ataques químicos, o concreto pode ser afetado por carbonatos, ácidos e cloretos. A seguir, será abordado o que foi achado sobre como o concreto com fibra de coco se comporta em cada um desses ataques.

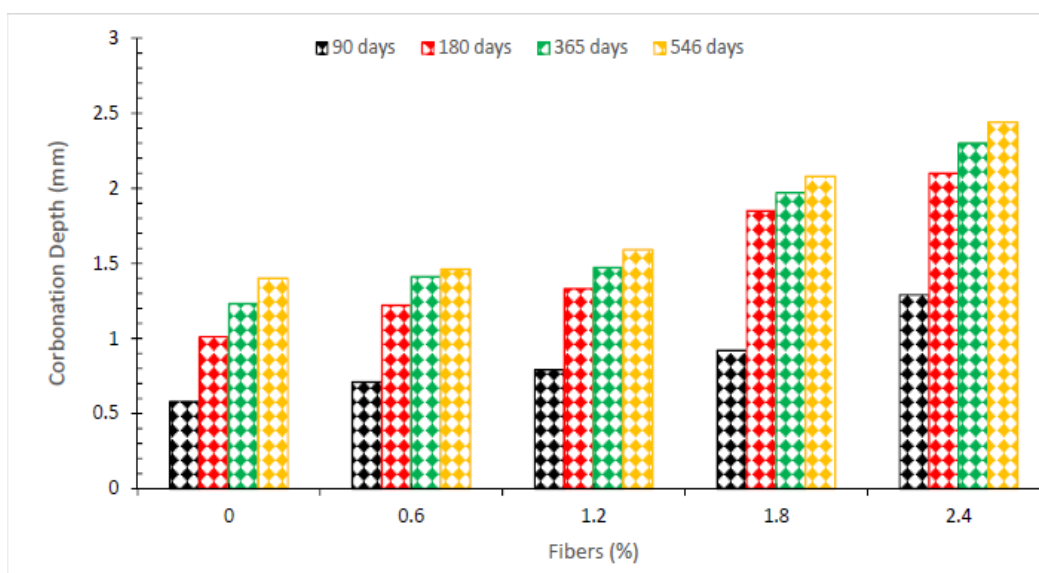
5.5.1-Carbonatação

O carbonatação diz respeito à formação de carbonato de cálcio no concreto, que acontece devido à penetração de dióxido de carbono (CO_2) no concreto e a posterior reação

com o hidróxido de cálcio presente na mistura. Como efeito, tem-se a redução do pH do concreto, o que despassiva o aço e o torna mais suscetível à corrosão. As pesquisas sobre carbonatação no concreto reforçado com fibra de coco não são muitas, logo, não é possível extrair uma conclusão sólida a respeito desse tema.

Para começar, utilizando os achados de Ramli et al (2013), a carbonatação aumenta com a concentração de fibra de coco. Os autores atribuem isso ao fato de que a presença desse elemento aumenta a porosidade do concreto, facilitando, assim, a penetração de dióxido de carbono. Abaixo, está o gráfico mostrando a carbonatação para cada concentração de fibra de coco estudada pelos pesquisadores.

Gráfico 9: Carbonatação CRFC para diferentes concentrações.



Fonte: RAMLI et al (2013)

Diferentemente do exposto, Zaid et al (2021) relataram que a carbonatação do concreto reduz à medida que a porcentagem de fibra de coco aumenta entre 0% a 2%. De acordo com os autores, isso se deve ao bloqueamento, por parte da fibra de coco, de buracos formados pelo encolhimento do concreto, dificultando a entrada de CO_2 . No entanto, foi-se observado na pesquisa que uma dosagem de 3% faz com que a fibra impeça o preenchimento de vazios na microestrutura, aumentando a porosidade e, por conseguinte, fornecendo mais espaço para a entrada de dióxido de carbono.

5.5.2-Ataque de sulfatos

O ataque de sulfatos é um processo de degradação causado pela reação de íons sulfato, presentes em águas ou solos, com os compostos hidratados do cimento. A presença desse

elemento torna possível a presença de fissuras no concreto, a deterioração da superfície e a diminuição das propriedades mecânicas dele. Portanto, é de suma importância investigar o desempenho do concreto reforçado com fibra de coco diante desse perigo.

More & Subramaniam (2022), notaram que o concreto com 2% de fibra de coco apresentou uma resistência maior aos ataques de sulfato se comparado ao concreto convencional. Sam & Sheeja (2016) fizeram testes para verificar a redução de massa do concreto reforçado com fibra de coco diante de sulfatos. Os dados encontrados pelos autores estão abaixo:

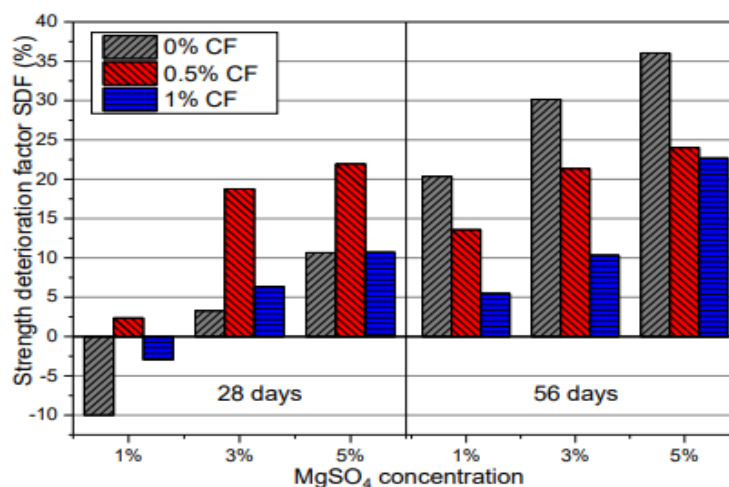
Tabela 14: Perda de massa do concreto na presença de sulfatos (FC 1,5cm de comprimento).

Porcentagem de fibra de coco	Porcentagem da redução de massa	
	28º dia	56º dia
0%	1,2	2,4
1%	0,865	1,6
2%	0,89	1,9
3%	0,95	2,1

Fonte: Adaptada SAM & SHEEJA (2016)

Babafemi et al (2019) também observaram uma melhora do desempenho do concreto reforçado com fibra de coco se comparado com o concreto convencional. Os autores notaram que a inclusão de 1% de fibra de coco deixou o concreto mais resistente em termos de perda de massa e perda de deterioração de força. O gráfico abaixo mostra os resultados que os autores encontraram. Uma explicação para tal melhora pode ser o controle do desenvolvimento de fissuras iniciais por parte das fibras, o que previne a entrada de íons no concreto (ZAID et al, 2021).

Gráfico 10: Variação do fator de deterioração de força em solução de $MgSO_4$ para cada % de FC.



Fonte: BABAFEMI et al (2019)

5.5.3-Ataques de cloretos.

O ataque de cloretos é uma das formas de ataques ao concreto por íons, causando corrosão do aço e, conseqüentemente, prejudicando a integridade estrutural, além de danos estéticos. Os principais meios pelos quais os íons cloreto podem penetrar no concreto são absorção capilar, pressão hidrostática e difusão de água. Assim como nos outros ataques, o principal fator que afeta penetração de íon cloreto é a porosidade da pasta de cimento, ou seja, quanto mais poros abertos, maior será a entrada de íons cloreto. Dessa forma, o ataque de cloretos é mais um aspecto importante a ser analisado no CRFC.

Ramli et al (2013) realizaram testes para verificar a concentração de cloreto no concreto com fibra de coco. Os resultados são apresentados abaixo:

Tabela 15: Concentração de cloreto (%) em CRFC

Amostra	0-10 mm	10-20 mm	20-30 mm	30-40 mm
Controle	0,5	0,08	0	0
0,6 FC	0,59	0,12	0	0
1,2 FC	0,55	0,08	0	0
1,8 FC	0,51	0,08	0	0
2,4 FC	0,62	0,2	0,04	0

Fonte: Adaptada RAMLI et al (2013)

Segundo os autores, esses resultados indicam que o encolhimento da fibra após a desidratação e a formação de uma significativa zona interfacial com a matriz cimentícia foram as principais razões para o aumento na permeabilidade de cloreto.

Alomayri & Ali (2023) obtiveram um achado semelhante ao exposto acima. Os pesquisadores notaram que a adição de fibra de coco no concreto tornava a penetração de íons cloreto mais fácil. Ainda conforme eles, essa fragilidade se tornava mais profundo nas amostras com mais concentração de fibra. Segundo os autores, isso se deve à grossura dos filamentos da fibra de coco, visto que filamentos mais grossos são mais suscetíveis a encolhimento na dessecação; então, ao encolher, os filamentos podem criar caminhos para o fluxo de íons cloreto ao longo da interface matriz-fibra.

Wu et al (2023) também tem uma explicação semelhante para esse aumento de entrada de íons cloretos. Os autores afirmam que espaços podem ser gerados entre as fibras e a matriz devido ao encolhimento das fibras com o envelhecimento do concreto, o que acaba diminuindo a impermeabilidade do concreto. Destarte, pode-se perceber que a presença de fibra de coco no concreto, principalmente em grandes quantidades, torna-o mais suscetível a ataques de cloretos, algo que deve ser evitado, a fim de tornar a vida útil dele mais longa.

Em última análise, cabe ressaltar que poucos estudos são encontrados com relação a ataques químicos em geral no concreto com adição de fibra de coco. Portanto, uma conclusão sobre se o concreto fica mais ou menos resistente a ataques químicos quando se tem a presença de fibra de coco não pode ser extraída com certeza. Desse jeito, é mister que mais estudos sejam realizados sobre esse tópico, para que conclusões mais substanciais sejam extraídas.

6-CONCLUSÃO

Este estudo buscou realizar uma análise acerca do comportamento do concreto com adição de fibra de coco, comparando-o com o concreto convencional. Além disso, procurou-se encontrar qual a melhor porção de fibra de coco a ser adicionada, bem como qual o melhor intervalo de comprimento. As principais conclusões podem ser resumidas da seguinte maneira:

- O melhor intervalo de comprimento da fibra de coco para ser usado como adição no concreto para que se tenha melhoras nele é o de 25mm a 75mm, segundo os autores analisados. No que diz respeito à porcentagem ideal de fibra de coco a ser adicionada, demonstra-se adequado o intervalo entre 0% a 2%. Apesar de alguns autores terem feito experimentos com concentração acima de 2% e terem achado algumas vantagens em certas propriedades do concreto, uma adição de FC acima desse valor traz certos problemas em alguns aspectos. Desse modo, é preferível que a concentração fique entre o intervalo mencionado acima.
- Quanto às características mecânicas, nota-se que houve um aumento na resistência à compressão, podendo esse incremento chegar a até mais de 20% de resistência se comparado ao concreto convencional, como mostrado por Ahmad et al (2020).
- Com relação à resistência à tração, observa-se, também, um ganho nessa propriedade que pode chegar a 20% quando confrontado com o concreto de referência (AHMAD et al, 2020) e pode chegar até a dobrar o valor (AMIRTHARAJ, 2019).
- Por último, a resistência à flexão do CRFC mostrou idem um acréscimo, podendo até passar de 30% de ganho se cotejada com a resistência do concreto sem nenhum reforço (AHMAD et al, 2022).
- A absorção de água do concreto reforçado com fibra de coco, para uns autores, se mostrou menor que a do concreto convencional quando adicionado um percentual de fibra entre 0% e 2% (ZAID et al, 2021). Acima de 2%, foi-se verificado que a absorção de água aumenta, como relatado por Kore (2021), que observou um aumento de mais de 20% quando é adicionado 6% de fibra de coco no concreto com fibra de coco.
- No que concerne à resistência à carbonatação, encontrou-se autores dizendo que o CRFC se torna mais suscetível a tal ataque independentemente da concentração (RAMLI et al, 2013). Por outro lado, Zaid et al (2021) verificou que a o concreto com fibra de coco só se tornava mais frágil à carbonatação em concentrações superiores a 2%.

- No tocante a ataques de sulfatos, a inclusão de 1% de fibra de coco deixa o concreto mais resistente a essas investidas em comparação ao concreto convencional (BABAFEMI et al, 2019).
- Para terminar, a penetração de íons cloreto foi mais presente no concreto com fibra de coco devido à presença de vazios na mistura (ALOMAYRI & ALI, 2023).

7-CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho buscou fazer uma análise de outras pesquisas acerca do concreto reforçado com fibra de coco. Devido ao aumento da preocupação em tornar as atividades da construção civil mais sustentáveis, cresce o número de pesquisas em relação àquele material. A fibra de coco se apresenta como uma opção para colocar uma prática sustentável na engenharia civil, visto que é um material reciclável, de baixo custo e ambientalmente benigno.

Por meio dessa pesquisa, foi possível constatar que o concreto reforçado com fibra de coco apresenta vantagens se comparado ao concreto convencional. Foi notado que aquele tem melhores propriedades mecânicas, tais como resistência à tração, à compressão e à flexão. Quanto à durabilidade, nota-se que não há um consenso em certas propriedades sobre se a inclusão de fibra de coco é benéfica. No entanto, pode-se arrancar das pesquisas que uma alta concentração de fibra acaba por piorar a durabilidade do concreto. Cabe destacar ainda que alguns autores citam que um tratamento químico dado à fibra de coco antes da implementação no concreto pode ajudar a melhorar algumas propriedades de durabilidade do concreto. Porém tal assunto ainda não é amplamente abordado pelos trabalhos acadêmicos, o que dificulta uma compreensão mais clara.

Por último, é pertinente enfatizar que, apesar de muitos estudos já terem sido realizados, ainda é recomendável que outros mais sejam feitos, para que não reste nenhuma incerteza quanto à viabilidade da utilização de fibra de coco no concreto e para que haja novas descobertas acerca desse assunto, incluindo achados negativos sobre o tema. Ademais, é aconselhável estudos posteriores foquem no comportamento do CRFC diante de ataques de agentes químicos, algo que ainda foi pouco explorado nas pesquisas executadas até aqui.

8-REFERÊNCIAS

1. AHMAD, W. et al. Effect of Coconut Fiber Length and Content on Properties of High Strength Concrete. **Materials**, v. 13, p. 1075, 28 nov. 2020.
2. JAMSHAD, Hafsa et al. Natural Cellulosic Fiber Reinforced Concrete: Influence of Fiber Type and Loading Percentage on Mechanical and Water Absorption Performance. **Materials**, v. 15, p. 874, 24 jan. 2022.
3. AHMAD, Jawad et al. Mechanical and Durability Performance of Coconut Fiber Reinforced Concrete: A State-Of-The-Art Review. **Materials**, v. 15, p. 3601, 18 maio 2022.
4. MARTINELLI, F.R.B et al. A Review of the Use of Coconut Fiber in Cement Composites. **Polymers**, v. 15, p. 1309, 6 mar. 2023.
5. SEKAR, Anandh; KANDASAMY, Gunasekaran. Study on Durability Properties of Coconut Shell Concrete with Coconut Fiber. **Buildings**, v. 9, p. 107, 30 abr. 2019.
6. GU, Mingli et al. Scientometric Analysis and Research Mapping Knowledge of Coconut Fibers in Concrete. **Materials**, v. 15, p. 5639, 16 ago. 2022.
7. ANDRADE, A.P.F et al. Analysis of the use of coconut fiber in structural concrete. **Brazilian Journal of Development**, v. 9, p. 9865-9883, 8 mar. 2023.
8. MORE, F.M.D.S; SUBRAMANIAN, S.S. Impact of Fibres on the Mechanical and Durable Behaviour of Fibre-Reinforced Concrete. **Buildings**, v. 12, p. 1436, 13 set. 2022.
9. SHAIKH, F.U.A et al. Effect of Elevated Temperature on the Behaviour of Amorphous Metallic Fibre-Reinforced Cement and Geopolymer Composites. **Fibers**, v. 11, p. 31, 28 mar. 2023.
10. BUI, Huyen et al. Determination and Review of Physical and Mechanical Properties of Raw and Treated Coconut Fibers for Their Recycling in Construction Materials. **Fibers**, v. 8, p. 37, 12 jun. 2020.
11. TALAVERA-PECH, W.A. et al. Improvement in the Carbonation Resistance of Construction Mortar with Cane Bagasse Fiber Added. **Materials**, v. 14, p. 2066, 20 abr. 2021.
12. SILVA, Ewerton et al. Análise técnica para o reaproveitamento da fibra de coco na construção civil. **Ambiência**, v. 11, p. 669-683, 30 jun. 2015.
13. ROTH, C. das Graças; GARCIAS, C.M. Construção Civil e a Degradação Ambiental. **Desenvolvimento em Questão**, ano 7, n. 13, p. 111-128, 7 jul. 2009.
14. Indústria Brasileira de Agregados, set. 2021. Disponível em: www.anepac.org.br. Acesso em: 10 jun. 2024.
15. GIRALDELLI, M.A et al. Propriedade da Fibra de Coco: Uma Revisão Sistemática. **UNICIÊNCIAS**, v. 24, n. 1, p. 34-38, 11 fev. 2021.
16. DE SOUSA, A.S et al. A Pesquisa Bibliográfica: Princípios e Fundamentos. **Cadernos da FUCAMP**, v. 20, n. 43, p. 64-83, 8 mar. 2021.

17. FERNÁNDEZ ACOSTA, P.Y. Infraestrutura Rodoviária. In: FERNÁNDEZ ACOSTA, P.Y. **Incorporación de fibra de coco para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ para pavimentos rígidos** Lima, 2019. 2019. TCC (Bacharelado de Engenharia Civil) - Universidad César Vallejo.
18. LIN, Chen et al. Recent developments on natural fiber concrete: A review of properties, sustainability, applications, barriers, and opportunities. **Developments in the Built environment**, v. 16, Article 100255, dez. 2023.
19. FILHO, E.R.G.F. **ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO COM A ADIÇÃO DE FIBRAS DE COCO: COMPARATIVO COM AS FIBRAS SINTÉTICAS**. 2021. TCC (Bacharelado de Engenharia Civil) - Centro Universitário Christus.
20. RAJKOHILA, A. et al. Assessing the effect of natural fiber on mechanical properties and microstructural characteristics of high strength concrete. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 15, Article 102666, 26 mar. 2024.
21. MENDONÇA, A.A. **UTILIZAÇÃO DE FIBRA DE COCO DE MANEIRA SUSTENTÁVEL ADICIONADA AO CONCRETO PARA REDUÇÃO DE CUSTOS**. 2020. TCC (Bacharelado de Engenharia Civil) - Centro Universitário do Rio Grande do Norte.
22. VARGHESE, A.; UNNIKRISHNAN, S. Mechanical strength of coconut fiber reinforced concrete. **Materialstoday: Proceedings**, 12 jun. 2023.
23. SYED, H. et al. Role of coconut coir fiber in concrete. **Materialstoday: Proceedings**, p. 1104-1110, 15 fev. 2020.
24. CHANDAR, S.P; KUMAR, S.K.S. Mechanical properties of fiber reinforced concrete – natural fibers: A review. **Materialstoday: Proceedings**, v. 68, p. 2066-2071, 5 set. 2022.
25. PRODUÇÃO cimento. 5 set. 2022. Disponível em: **www.snic.org.br**. Acesso em: 10 jun. 2024.
26. CHOCKALINGAM, L.N.S; RYMOND, N.M. Strength and Durability Characteristics of Coir, Kenaf and Polypropylene Fibers Reinforced High Performance Concrete. **Journal of Natural Fibers**, v. 19, n. 13, p. 6692-6700, 31 maio 2021.
27. AHMAD, J. et al. Glass Fibers Reinforced Concrete: Overview on Mechanical, Durability and Microstructure Analysis. **Materials**, v. 15, n. 15, p. 5111, 22 jul. 2022.
28. RAMLI, M. et al. Strength and durability of coconut-fiber-reinforced concrete in aggressive environments. **Construction and Building Materials**, v. 38, p. 554-566, 16 out. 2012.
29. RUMBAYAN, R. et al. A study into flexural, compressive and tensile strength of coir-concrete as sustainable building material. **MATEC Web Conf.**, v. 258, Article 01011, 25 jan. 2019.
30. NAAMANDADIN, N.A. et al. Mechanical behaviour on concrete of coconut coir fiber as additive. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, 2020.

31. KUMAR, N. et al. Effective utilization of natural fibres (coir and jute) for sustainable low-volume rural road construction – A critical review. **Construction and Building Materials**, v. 347, Article 128606, 3 ago. 2022.
32. WANG, W.; CHOUW, N. The behaviour of coconut fibre reinforced concrete (CFRC) under impact loading. **Construction and Building Materials**, v. 134, p. 452-461, 3 jan. 2017.
33. WANG, W. et al. Dynamic compressive behaviour of coconut fibre-reinforced concrete composite. **Magazine of Concrete Research**, v. 72, n. 21, p. 1125-1134, 1 ago. 2019.
34. ALI, M. et al. Mechanical and dynamic properties of coconut fibre reinforced concrete. **Construction and Building Materials**, v. 30, p. 814-825, 20 jan. 2012.
35. WANG, W. et al. A critical review on the properties of natural fibre reinforced concrete composites subjected to impact loading. **Journal of Building Engineering**, v. 77, Article 107497, 10 ago. 2023.
36. ALI, B. et al. A critical review on the utilization of coir (coconut fiber) in cementitious materials. **Construction and Building Materials**, v. 351, Article 128957, 30 ago. 2022.
37. HWANG, C.L. et al. Effects of short coconut fiber on the mechanical properties, plastic cracking behavior, and impact resistance of cementitious composites. **Construction and Building Materials**, v. 127, p. 984-992, 21 out. 2016.
38. ELANCHEZHIAN, C. et al. Review on mechanical properties of natural fiber composites. **Materialstoday: Proceedings**, v. 5, n. 1, p. 1785-1790, 3 fev. 2018.
39. LEMOS, A.M.; FRENDENBERG, F.C. Estudo da utilização de fibra de coco em vigas de concreto. **Engineering Sciences**, v. 7, n. 2, p. 1-8, 7 jul. 2019.
40. SANTOS, R.J. et al. USO DE FIBRAS DE COCO EM COMPÓSITOS COM A MATRIZ CIMENTÍCIA: REVISÃO SISTEMÁTICA. In: 4º CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 2022, Salvador, Bahia, Brasil. **CLBMCS 2022**. 09/11/2022.
41. YADAV, S.K.; SINGH, A. An Experimental Study on Coconut Fiber Reinforced Concrete. **International Research Journal of Engineering and Technology**, v. 6, n. 05, p. 2250-2254, maio 2019.
42. SHCHERBAN, E.M. et al. Normal-Weight Concrete with Improved Stress–Strain Characteristics Reinforced with Dispersed Coconut Fibers. **Applied Sciences**, v. 12, Article 11734, 18 nov. 2022.
43. BABAFEMI, A.J. *et al.* Mechanical and Durability Properties of Coir Fibre Reinforced Concrete. **Journal of Engineering Science and Technology** p. 1482-1496, jun. 2019.
44. KRISHNA, N.K. et al. Enhancement of properties of concrete using natural fibers. **Materialstoday: Proceedings**, v. 5, n. 11, p. 23816-23823, 8 dez. 2018.
45. PARIDA, B. et al. Experimental Investigation of Natural Fiber Reinforced Concrete. **International Research Journal of Engineering and Technology**, v. 6, n. 05, p. 7047-7054, maio 2019.

46. ANDERSON, M.M.J et al. Sustainable Concrete with Coconut Fibers to Improve its Mechanical Characteristics in Buildings. **Materials Science Forum**, v. 1060, p. 187-193, 28 fev. 2022.
47. DHAMALA, A.; FIRDOUS, A. STUDY ON REINFORCED CONCRETE USING COCONUT FIBER. **International Research Journal of Engineering and Technology**, v. 10, n. 02, p. 549-554, fev. 2023.
48. FIBRA de coco na indústria. 8 dez. 2021. Disponível em: **www.embrapa.br**. Acesso em: 4 jun. 2024.
49. SENHORAS, E.M. **Estratégias de uma agenda para a cadeia agroindustrial do coco: Transformando a ameaça dos resíduos em oportunidade eco-eficientes**. Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas – Instituto de Economia, 2003.
50. THANUSHAN, K. et al. Strength and Durability Characteristics of Coconut Fibre Reinforced Earth Cement Blocks. **Journal of Natural Fibers**, v. 18, n. 6, p. 773-788, 10 ago. 2019.
51. KATMAN, H.Y.B. et al. Fabrication and Characterization of Cement-Based Hybrid Concrete Containing Coir Fiber for Advancing Concrete Construction. **Buildings**, v. 12, 1450, 14 set. 2022.
52. KUMAR, G.B.R.; KESAVAN, V. Study of structural properties evaluation on coconut fiber ash mixed concrete. **Materialstoday: Proceedings**, v. 22, p. 811-816, 27 fev. 2020.
53. RIDHA, N.; KUMAR, P. Studies on Strength Properties of Coconut Fibre Concrete. **International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology**, v. 7, n. 7, p. 404-410, jul. 2019.
54. KORE, S.D. Sustainable Production of Concrete using Coir Fibres. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, 2021.
55. ZAID, O. et al. Mechanical properties of sustainable concrete modified by adding marble slurry as cement substitution. **AIMS Materials Science**, v. 8, n. 3, p. 343-358, 26 maio 2021.
56. SAM, N.; M.K., Sheeja. Durability Study on Coir Fibre Reinforced Concrete. **International Journal of Engineering Research & Technology** v. 5, ago. 2016.
57. GIRIJAPPA, Y.G.T. et al. Natural Fibers as Sustainable and Renewable Resource for Development of Eco-Friendly Composites: A Comprehensive Review. **Frontiers in Materials** , v. 6, Article 226, 26 set. 2019.
58. ADENIYI, A.G et al. A review of coir fiber reinforced polymer composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 176, Article 107305, 12 ago. 2019.
59. CHOKSHI, S. et al. Chemical Composition and Mechanical Properties of Natural Fibers. **Journal of Natural Fibers**, p. 3942-3953, 1 dez. 2020.

60. SHAH, S.H.A. et al. Mechanical performance and environmental impact of normal strength concrete incorporating various levels of coconut fiber and recycled aggregates. **Environmental Science and Pollution Research**, 29 jun. 2022.
61. LAU, K.-t. et al. Properties of natural fibre composites for structural engineering applications. **Composites Part B: Engineering**, v. 136, p. 222-233, 1 mar. 2018.
62. ILYAS, R.A. et al. Crushing and flexural properties of natural fiber-reinforced concrete. In: MUTHUKUMAR, C. et al. **Biocomposites for Industrial Applications**. 2024. p. 3-28.
63. PRUTHIVIRAJ, K.N. et al. Experimental study on strength behaviour of concrete reinforced with natural fibers. **Materialstoday: Proceedings**, v. 80, Part 2, p. 659-667, 16 nov. 2022.
64. AHMAD, J.; ZHOU, Z. Mechanical Properties of Natural as well as Synthetic Fiber Reinforced Concrete: A Review. **Construction and Building Materials**, v. 333, Article 127353, 13 abr. 2022.
65. MANSO-MORATO, J. et al. Fiber-Reinforced concrete and its life cycle assessment: A systematic review. **Journal of Building Engineering**, v. 94, Article 110062, 26 jun. 2024.
66. KANDAN, M.; RAJAKUMAR, S. A REVIEW ON NATURAL FIBER AND ITS CHARACTERISTICS. **Industrial Engineering Journal**, v. 13, mar. 2020.
67. ABDALLA, J.A. et al. A comprehensive review on the use of natural fibers in cement/geopolymer concrete: A step towards sustainability. **Case Studies in Construction Materials**, v. 19, Article e02244, 22 jun. 2023.
68. PAVITHRA, K. et al. Studies on usage of natural fibers and eco sand for sustainable concreting. **Materialstoday: Proceedings**, v. 49, Part 5, p. 1689-1693, 4 ago. 2021.
69. OLADELE, I.O. et al. Chapter 8 - Coconut/coir fibers, their composites and applications. In: RANGAPPA, S.M. et al. **Plant Fibers, their Composites, and Applications**. 2022. p. 181-208.
70. KHATIB, J.M. et al. 5 - Natural fibers. In: COLANGELO, F. et al. **Handbook of Sustainable Concrete and Industrial Waste Management**. 2022. p. 85-107.
71. ABEDI, M. et al. A sustainable cementitious composite reinforced with natural fibers: An experimental and numerical study. **Construction and Building Materials**, v. 378, p. 131093, 31 mar. 2023.
72. GAIROLA, S.P. et al. Mechanical properties evaluation of banana fibre reinforced polymer Composites: A review. **ACTA INNOVATIONS**, p. 59-70, 2021.
73. PEDROZA, A.H.A. et al. ANÁLISE EXPERIMENTAL DE ABSORÇÃO DE ÁGUA NO CONCRETO COM COMPARATIVO DE TRAÇOS. - **Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas**, 2018.

74. FAROOQI, M.U.; ALI, M. A study on Natural Fibre Reinforced Concrete from Materials to Structural Applications. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 48, p. 4471-4491, 8 jul. 2022.
75. ALOMAYRI, T.; ALI, B. Investigating the load-deflection behaviour and drying shrinkage resistance of HPC reinforced using different cellulose fibres. **Journal of Building Engineering**, v. 73, 106714, 15 ago. 2023.
76. LUMINGKEWAS, R.H. et al. Effect of Fibers Content on the Tensile Properties of Coconut Fibers Reinforced Cement Mortar Composites. **Advanced Materials Research**, v. 742, p. 92-97, ago. 2013.
77. ALI, M. Use of coconut fibre reinforced concrete and coconut-fibre ropes for seismic-resistant construction. **Materiales de Construcción**, v. 66, n. 321, Artículo e073, 30 mar. 2016.
78. WANG, X. et al. Performance and mechanism analysis of natural fiber-reinforced foamed concrete. **Case Studies in Construction Materials**, v. 21, Article e03476, 27 jun. 2024.
79. ZHANG, J. et al. Dynamic Performance of Foam Concrete With Recycled Coir Fiber. **Frontiers in Materials**, v. 7, Article 567655, 29 out. 2020.
80. BOFF, Leonardo. **Sustentabilidade: O que é - O que não é**. 2017.
81. MARQUES, M.G.S. **Estudo das Propriedades Físicas e Mecânicas e da Durabilidade de Compósitos Cimentícios Reforçados com Fibra Amazônica**. 2015. Tese de Doutorado (Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, 2015.
82. HERZMANN, T.V. **Produção e Determinação de Propriedades Mecânicas de Compósitos Reforçados com Fibras de Sisal**. 2022. Dissertação de Mestrado (Engenharia e Ciências Mecânicas) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2022.
83. ZAMORA-CASTRO, S.A. et al. Sustainable development of concrete through aggregates and innovative materials: A review. **Applied Sciences**, v. 11, 629, 11 jan. 2021.
84. KARTHIK, K. et al. State of the Art: Natural fibre-reinforced composites in advanced development and their physical/chemical/mechanical properties. **Chinese Journal of Analytical Chemistry**, v. 52, 100415, jul. 2024.
85. MISHRA, L., & BASU, G. Coconut fibre: its structure, properties and applications. **In Handbook of natural fibres**, pp. 231-255, fev. 2020.
86. OKPALA, C.C. et al. Mechanical Properties and Applications of Coir Fiber Reinforced Composites. **International Research Journal of Engineering and Technology**, v. 08, p. 2010-2019, jul. 2021.
87. ELFALEH, I et al. A comprehensive review of natural fibers and their composites: An eco-friendly alternative to conventional materials. **Results in Engineering** v. 19, artigo 101271, 13 set. 2023.
88. PEÇAS, P et al. Natural Fibre Composites and Their Applications: A Review. **Journal of Composites Science**; 2 (4): 66, 17 nov. 2018.

89. BAZLI, M.; BAZLI, L. A review on the mechanical properties of synthetic and natural fiber-reinforced polymer composites and their application in the transportation industry. **Journal of Composites and Compounds**, p. 262-271, dez. 2021.
90. KARIMAH, A. et al. A review on natural fibers for development of eco-friendly bio-composite: characteristics, and utilizations. **Journal of Materials Research and Technology**, p. 2442-2458, jul. 2021.
91. COSTA, D.B. et al. COMPÓSITOS DE FIBRAS DE JUTA E MATRIZ POLIÉSTER. **68º Congresso Anual da ABM**, 2 ago. 2013.
92. RIBEIRO, A. **CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE COMPÓSITO DE FIBRA DE JUTA EM SISTEMA DE REVESTIMENTO CERÂMICO EM FACHADA VENTILADA**. 2018. Tese de Mestrado (Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, 2018.
93. MIRANDA, E.N. **COMPARAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE JUTA E DE SISAL**. 2023. Tese de Graduação (Engenharia Mecânica) - Universidade do Estado do Amazonas, 2023.
94. SOUZA, J.H.S. et al. Materiais compósitos de matriz poliéster com reforço híbrido de tecido de fibras de juta e mantas de fibra de vidro. **Brazilian Applied Science Review**, p. 777-790, 3 dez. 2018.
95. GUO, Y. et al. The use of fibres in asphalt mixtures: A state of the art review. **Construction and Building Materials**, artigo 131754, ago. 2023.
96. CHAND, N.; FAHIM, M. Sisal-reinforced polymer composites. **Tribology of Natural Fiber Polymer Composites**, p. 87-110, 2021.
97. MURALIKRISHNA, M.V.V et al. Development of mechanical properties in banana fiber composite. **Materialstoday: Proceedings**, v. 22, p. 541-545, 2020.
98. BHARATHI S., V. et al. Strength characteristics of banana and sisal fiber reinforced composites. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, 1055, 2021.
99. BHATNAGAR, R.K. et al. A Review on Composition and Properties of Banana Fibers. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, v. 6, 2023.
100. RAO, P.D. et al. Mechanical Properties of Banana fiber Reinforced Composites and Manufacturing Techniques: A Review. **INTERNATIONAL JOURNAL FOR RESEARCH & DEVELOPMENT IN TECHNOLOGY**, v. 8, nov. 2017.