



LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL EM 2020

**UTILIZAÇÃO DE FIBRA DE COCO DE MANEIRA SUSTENTÁVEL
ADICIONADA AO CONCRETO PARA REDUÇÃO DE CUSTOS**

ARTHUR ALVES MENDONÇA
NATAL - RN, 2020



LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL EM 2020

UTILIZAÇÃO DE FIBRA DE COCO DE MANEIRA SUSTENTÁVEL ADICIONADA AO CONCRETO PARA REDUÇÃO DE CUSTOS

ARTHUR ALVES MENDONÇA

Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como parte dos requisitos finais para obtenção do título de **BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL**, orientado pelo Prof. M.e Tomás Barros Vasconcelos.

NATAL/RN
2020

Catálogo na Publicação - Biblioteca do UNI-RN Setor de Processos
Técnicos

PÁGINA DESTINADA À CATALOGAÇÃO PELA BIBLIOTECA

UTILIZAÇÃO DE FIBRA DE COCO DE MANEIRA SUSTENTÁVEL ADICIONADA AO CONCRETO PARA REDUÇÃO DE CUSTOS

ARTHUR ALVES MENDONÇA

Dissertação **APROVADA** pelo Programa de Graduação em Engenharia Civil do Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

Banca Examinadora da Dissertação

Prof^a. M.e Tomás Barros Vasconcelos _____

Centro universitário do Rio Grande do Norte – Orientador

Prof. Leivlam Rodrigues de Lima _____

Centro universitário do Rio Grande do Norte – Avaliador interno

Prof. Msc. Lucy Kheyler Maciel de Mendonça _____

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Avaliador Externo

NATAL, 06 de agosto de 2020.

Dedico este trabalho aos meus pais, Paulo Mendonça Maia e Rita de Cassia Araújo Alves Mendonça, grandes colaboradores e incentivadores da conclusão de mais uma importante etapa em minha vida.

À meu irmão, Lucas Alves Mendonça, pelo estímulo oferecido.

Aos amigos e amigas, que de alguma forma ajudaram na concretização do trabalho e pela compreensão nas horas de ausência.

Agradecimentos

Ao professor Mestre Tomás Barros Vasconcelos, por toda sabedoria, disposição e pela dedicação em suas orientações prestadas na elaboração deste trabalho, incentivando-me e colaborando no desenvolvimento de meu trabalho.

Aos professores do departamento de Engenharia Civil da UNI-RN, pela utilização dos laboratórios e equipamentos.

À monitora dos laboratórios da UNI-RN Kamila Maia pela disposição e ajuda durante os ensaios.

Aos meus pais Paulo Mendonça Maia e Rita de Cássia Araújo Alves Mendonça, por acreditar e incentivar minhas escolhas, apoiando e motivando da melhor maneira possível e a conquistar meus sonhos.

Ao meu irmão, Lucas Alves Mendonça, por acreditar e me cobrar nos estudos, motivando e ajudando em todas etapas da minha vida.

A todos os meus amigos e amigas que se dispuseram e contribuíram de uma forma ou de outra para a realização deste trabalho.

“O medo faz parte da vida da gente. Algumas pessoas não sabem como enfrentá-lo, outras aprendem a conviver com ele e o encaram não como uma coisa negativa, mas como um sentimento de autopreservação.”

Ayrton Senna.

Mendonça, A. A. **Utilização da fibra de coco de maneira sustentável como aditivo no concreto para redução de custos**. 2020. p.57. Dissertação de Graduação em engenharia civil - Centro Universitário do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2020.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade técnica do uso de resíduos de fibra de coco na produção de concreto visando a redução de custos. O Concreto é o material mais importante na construção civil, em geral, é o insumo mais utilizado em qualquer tipo de obra seja ela de pequeno, médio ou grande porte. É um material compósito, ou seja, ele é composto por uma mistura de 2 ou mais materiais. Esta alternativa apresenta como vantagem o fato de ser adicionado ao concreto um material renovável e de alta disponibilidade, resultando assim, num baixo custo para produção. Foram estudadas as propriedades mecânicas de três tipos de concreto. Para avaliação do comportamento do concreto realizaram-se os ensaios de resistência à compressão axial, ensaio de abatimento e de absorção de água. Foi observado que, para o teor de adição estudado, a variação do comprimento da fibra de coco ao concreto provocou pequenas ou mínimas variações na consistência e verificou-se um acréscimo na resistência à compressão do concreto com a presença da fibra de coco em relação ao concreto de referência. Esse aumento de resistência se mostrou associado à diminuição da absorção de água por imersão do concreto com adição de fibra de coco. Os resultados obtidos apontam para a viabilidade técnica na utilização da fibra de coco em concretos nas condições avaliadas.

Palavra-chave: compósitos, fibras vegetais, resíduos fibrosos, matriz à base de cimento, desempenho mecânico, propriedades físicas, microestrutura, fibrocimento, concreto, fibra, coco, cura, traço.

Mendonça, A. A. **Use of coconut fiber in a sustainable manner as an additive in concrete to reduce costs**. 2020. p.57. Undergraduate dissertation in civil engineering - Centro Universitário do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2020.

ABSTRACT

The present work aims to analyze the technical feasibility of using coconut fiber residues in the production of concrete in order to reduce costs. Concrete is the most important material in civil construction, in general, it is the most used input in any type of work, be it small, medium or large. It is a composite material, that is, it is composed of a mixture of 2 or more materials. This alternative has the advantage of adding a renewable and highly available material to concrete, thus resulting in a low cost for production. The mechanical properties of three types of concrete were studied. To assess the behavior of the concrete, the tests of resistance to axial compression, abatement and water absorption tests were carried out. It was observed that, for the studied content of addition, the variation of the coconut fiber length to the concrete caused small or minimal variations in the consistency and an increase in the compressive strength of the concrete was verified with the presence of the coconut fiber in relation to the reference concrete. This increase in strength was shown to be associated with decreased water absorption by immersing concrete with the addition of coconut fiber. The results obtained point to the technical feasibility in the use of coconut fiber in concretes under the evaluated conditions.

Keyword: composites, vegetable fibers, fibrous residues, cement-based matrix, mechanical performance, physical properties, microstructure, fiber cement, concrete, fiber, coconut, curing, trace.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -Classificação para vários tipos de compósitos.....	27
Figura 2 - Seção transversal do fruto do coqueiro.....	30
Figura 3 - Fibra de coco com comprimentos de 25,0 e 50,0 mm.....	34
Figura 4 - Areia média.....	40
Figura 5 - Areia média primeira parte.....	41
Figura 6 - Areia média segunda parte.....	41
Figura 7 - Brita 25 mm.....	42
Figura 8 - Saco do cimento utilizado.....	43
Figura 9 - Saco do cimento utilizado	43
Figura 10 - Coco verde retirado das praia do RN.....	44
Figura 11 - Casco de coco verde partido ao meio e martelo para auxiliar no processo de desfibramento do casco.....	45
Figura 12 - Fibra de coco verde macerada	45
Figura 13 - Fibra de coco colocada num recipiente aberto para ser posicionada ao sol com a finalidade de ser retirada a umidade.....	46
Figura 14 – Fibra de coco após secagem.....	46
Figura 15 – Fibra de coco após secagem	47
Figura 16 - Fibra de coco limpa, após tratamento.....	47
Figura 17 - Recorte das fibras de coco.....	48
Figura 18 - Betoneira utilizada para a mistura do cimento.....	49
Figura 19 - Execução do ensaio de abatimento.....	50
Figura 20 - Execução do traço da mistura de concreto fibroso.....	50
Figura 21 – Fibras adicionadas aos outros materiais da mistura.....	51
Figura 22 – Água adicionada aos outros materiais da mistura.....	51
Figura 23 - Moldes de plástico utilizados para confecção de cp´s.....	52
Figura 24: Corpos de prova em molde.....	52
Figura 25 – Concreto fibroso no molde de plástico.....	53
Figura 26 – Cps desmoldados.....	53
Figura 27 - Cps em câmara úmida.....	54
Figura 28 Ensaio de Abatimento de tronco de cone (Slump-Test).....	55
Figura 29 - Prensa utilizada no ensaio no laboratório do UNI-RN.....	56
Figura 30 - Prensa utilizada no ensaio no laboratório do UNI-RN.....	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Quantidade produzida, em toneladas, de rocha britada por unidade da federação.....	23
Gráfico 2 - Resistência à compressão dos CP de concreto (MPa).....	32
Gráfico 3 - Absorção de água por imersão.....	33
Gráfico 4 - Curva de distribuição normal para resistência à compressão do concreto.....	36
Gráfico 5 - Resistencia à compressão dos concretos (Mpa).....	59
Gráfico 6 - Absorção de água por imersão.....	60
Gráfico 7 - Resultado do teste de desempenho ambiental através da ACV.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland	24
Tabela 2 - Teores dos componentes do cimento Portland de alta resistência inicial.....	25
Tabela 3 - Requisitos físicos e mecânicos	26
Tabela 4 - Características físicas e mecânicas das fibras vegetais, amianto e polipropileno.....	28
Tabela 5 - Produção mundial de coco, área colhida e rendimento nos anos de 2010,2016 e 2017.....	29
Tabela 6 - Composição química provável de algumas fibras vegetais.....	30
Tabela 7 - Dosagem dos compósitos desenvolvida por Silva.....	38
Tabela 8 - Dosagem dos compósitos.....	39
Tabela 9 - Resultados dos ensaios realizados na caracterização dos agregados.....	40
Tabela 10 - Tabela de classes de agressividade ambiental (CAA).....	48
Tabela 11 - Relação entre trabalhabilidade e grandeza de abatimento.....	54
Tabela 12 - Valores totais (R\$) para a produção de tijolos maciços.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

RN - Rio Grande do Norte

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LTDA - Limitada (sociedade por quotas e responsabilidade limitada)

LISTA DE SÍMBOLOS

η	densidade da água na temperatura do ensaio (g/cm^3).
ρ	densidade volumétrica do compósito (g/cm^3).
ρ_c	densidade volumétrica do laminado (g/cm^3);
ρ_r	densidade volumétrica da fibra (g/cm^3);
ρ_m	densidade volumétrica da resina (g/cm^3);
a	Massa da amostra seca (g).
b	massa da amostra imersa com o afundador em água (g).
cp ('s)	Corpo(s) de prova.
E	Módulo de elasticidade longitudinal (GPa).
Esd	Módulo de Elasticidade do laminado compósito sem a presença da descontinuidade geométrica.
LCO	cp's na Condição Original.
LCFE	cp's com Furo Escareado.
LGM	Fratura Lateral e no meio do galgo.
MEKP	Peróxido Metil-Etil-Cetona.
Mf	massa de fibra (g).
Mi	massa inicial da amostra (g);

Mt	massa total do laminado (g).
RM	Módulo Residual (Residual Modulus).
RS	Resistência Residual (Residual Strength).
Vf	Percentual volumétrico de fibra.
Vm	Percentual volumétrico de matriz.
Vr	Percentual volumétrico de fibra.
Vv	Percentual volumétrico de vazios.
w	massa do afundador parcialmente imerso em água (g);

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1. Relevância temática.....	17
1.2. Justificativa	18
2. OBJETIVO.....	19
2.1 Objetivo geral.....	19
2.2. Objetivo específico	19
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1. Concreto	21
3.1.1. Agregados.....	22
3.1.1.1. Agregado miúdo	23
3.1.1.2. Agregado graúdo.....	23
3.1.2. A água	23
3.1.3. Cimento.....	24
3.2. Fibras.....	26
3.2.1. Fibras Vegetais	27
3.2.1.1. Fibra de Coco.....	29
3.3 Concreto Fibroso	31
3.3.1 Concreto reforçado com fibra de coco	31
3.4. Ensaio Mecânicos	35
3.4.1. Ensaio de Compressão do Concreto.....	35
4. Materiais e procedimento experimental.....	38
4.1. Concreto	38
4.1.1. O agregado	39
4.1.1.1. Agregado miúdo	40
4.1.1.2. Agregado graúdo.....	41

4.1.2. A água.....	42
4.1.3. Cimento.....	42
4.2. Fibra de Coco	44
4.2.1. Método de beneficiamento de fibra de coco.....	44
4.2.1.1. Corte das fibras.....	47
4.3. Concreto fibroso	48
4.3.1. Concreto reforçado com fibra de coco	49
4.4. Fabricação dos corpos de prova.....	49
4.4.1. Ensaio de Consistência Pelo Abatimento Do Cone.....	54
4.5 Ensaio mecânicos	55
4.5.1. Ensaio de Compressão do Concreto.....	55
4.5.2. Ensaio de tração	56
4.6 Mecanismos de Pesquisa bibliográfica.....	57
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
5.1 Os Resíduos fibrosos.....	58
5.2 As fibras Vegetais Como Reforço.....	58
5.3 Durabilidade.....	61
5.4 Desempenho Ambiental.....	62
5.5 Avaliação Econômica.....	63
6. CONCLUSÃO.....	65
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1 INTRODUÇÃO

1.1. Relevância temática

O concreto é o material mais utilizado em um dos setores econômicos e sociais mais importantes do Brasil, a construção civil, que dentro de um panorama geral da economia brasileira, representou 6,2% do Produto Interno Bruto (PIB) em 2015 (FIBRA, 2017). Em 2017, o setor possuía em torno de 7,69 milhões de pessoas ocupadas, representando 7,57% de participação relativa da construção civil na população ocupada total do Brasil (IBGE, 2017), colaborando, assim, para importantes indicadores macroeconômicos e de desenvolvimento social. Porém, por outro lado, a construção civil é considerada como um grande gerador de impactos ambientais, isso se deve ao alto consumo de recursos naturais e pela alta quantidade de resíduos gerada. Um dos maiores desafios vigentes deste setor é praticar um programa de ações efetivas direcionadas ao desenvolvimento sustentável.

O desenvolvimento sustentável é entendido como aquele que supre as necessidades de recursos naturais das gerações atuais, sem prejudicar a capacidade de atender às necessidades de recursos naturais das futuras gerações, o setor construtivo tem muito a contribuir, principalmente no que se refere ao reaproveitamento de materiais e aproveitamento de resíduos, convertendo-os em subprodutos. Dessa maneira, a solução tecnológica do estudo terá dupla finalidade, reduzir a utilização de matéria prima não renovável e, conjuntamente, o reaproveitamento de resíduos (SILVA, 2015).

No estado do Rio Grande do Norte, um dos desafios consiste em encontrar uma destinação apropriada para o resíduo de coco, que tem um grande volume sendo formado todos os dias nas praias, e do qual uma pequena fração desses resíduos tem uma aplicação específica de reaproveitamento. Dessa maneira, este estudo propõe-se a dar uma solução que seja viável, tanto economicamente, quanto ambientalmente e que ao mesmo tempo seja eficiente na sua finalidade do ponto de vista tecnológico.

O uso de fibras naturais em elementos construtivos deverá contribuir na diminuição da extração de recursos naturais necessários para a produção dos compósitos cimentícios. A grande quantidade de coco disponível possibilita

utilização de suas fibras para diversas finalidades. Dentre elas, a incorporação (através de adição) em matrizes de cimento portland e vários estudos recentes têm sido realizados no campo.

A partir dos trabalhos publicados, deduz-se que é possível a aplicação de fibra de coco para a produção de argamassas e concretos, no entanto, verificam-se questões em aberto relacionadas à incorporação da fibra de coco à matriz cimentícia, como a quantidade e o tamanho das fibras que otimizam a mistura. Diante disso, no presente trabalho, objetiva-se estudar a utilização de fibras de coco incorporadas em argamassas, verificando a influência do comprimento e do teor de adição em concreto.

1.2. Justificativa

Esse estudo foi realizado com o propósito de reutilizar cascos de coco provenientes das praias do Rio Grande do Norte de maneira sustentável na construção civil, gerando um material que será acrescentado ao concreto na sua produção.

Tem-se conhecimento que os cascos de coco são um rejeito de grandes dimensões que estaria destinado a ser descartado no meio ambiente. De acordo com a matéria publicada no Jornal Tribuna do Norte (Publicada em 17/03/2018 por Yuno Silva - Repórter), os resíduos sólidos gerados nas principais praias do estado totalizam, em média, 36 toneladas por dia e que são recolhidos diariamente. A maior parte desses resíduos coletados são de coco verde. O volume de cascas de coco verde recolhidas corresponde a cerca de 70% do lixo proveniente das praias do litoral.

Assim, o estudo em questão visa prover um destino sustentável, reutilizando esses rejeitos na construção civil.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral estudar a influência da fibra de coco na composição do concreto, observando as suas mudanças nas propriedades quando está interagindo com diferentes tipos de fibra de coco, diferentes tamanhos de fibras de coco, com a finalidade de gerar uma utilização sustentável para a fibra de coco que seria descartada no meio ambiente, evitando assim ocupação de espaços e produzindo um concreto com menor custo e feito com material reutilizável.

2.2. Objetivo específico

- Coletar o material em forma de coco verde e seco nas praias onde o mesmo seria descartado como lixo;

Tratar os cascos de coco;

- Desfibrar os cascos, a fim de se obter as fibras para o estudo;
- Tratar as fibras de coco;
- Cortar as fibras em 3 espessuras distintas;
- Analisar e criar um traço de concreto ideal para aplicabilidade da fibra com base nos ensaios realizados no laboratório e revisão bibliográfica;
- Confeccionar corpos de prova com diferentes teores de adição e diferentes comprimentos do material em estudo;
- Realizar testes de compressão e tensão nos corpos de prova produzidos, observando a variação de espessuras e quantidades da fibra de coco no traço;

- Analisar a característica da fratura mecânica para todas as condições de estudo propostas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção será apresentada a revisão sobre as definições, as classificações, aplicações e os processos de fabricação do concreto com fibra de coco, com o propósito de demonstrar os conceitos básicos ligados a este material.

Será abordada, também, as teorias que fundamentam e suportam estudos da qualidade do concreto com a presença de fibra de coco, ou seja, quais os efeitos causados pela mesma na resposta final do material. Além disso, serão demonstrados os resultados desse material contendo diferentes concentrações e tamanhos da fibra no concreto.

3.1. Concreto

O concreto é o material mais popular utilizado pelo homem, e o componente básico da indústria de construção civil. Atualmente é considerado o material mais utilizado no planeta, só perdendo para a água. O concreto pode ser chamado, sem erro técnico, de um compósito cerâmico-cerâmico, ou, nos casos em que é feito reforço com barras de aço (concreto armado), de compósito fibroso cerâmico-metal. O concreto é composto de um agregado de brita (pedregulhos) e areia em uma matriz de cimento e água. Ocorre uma reação química entre os minerais que compõem o cimento e a água, e, em função dessa reação, a massa endurece, atingindo as propriedades mecânicas desejadas. Entretanto, como todos os materiais cerâmicos, o concreto é capaz de suportar elevadas cargas compressivas, mas é bastante fraco quando se trata de cargas de tração (GARCIA, 2012).

O profissional da indústria de construção civil deve conhecer as propriedades principais do concreto, como trabalhabilidade, resistência à compressão, módulo de elasticidade, níveis de contração após secagem, tempos de cura, entre outras, e como essas propriedades podem sofrer variações em seus valores, como função dos teores e condições dos ingredientes primários na mistura da massa. Também é importante conhecer a influência da temperatura e da umidade relativa do ambiente para se determinar aplicações coerentes e seguras. No caso particular do concreto, sabe-se que as

propriedades mecânicas, em especial a resistência à compressão, são fortemente afetadas pela relação água-cimento contida na mistura e pela idade ou o tempo de cura da estrutura, ou corpos de prova.

Para uma análise ampla das propriedades mecânicas do concreto, devem-se conhecer os ingredientes fundamentais contidos na mistura e suas influências no produto final. Basicamente o concreto é composto por cimento, água, agregados de brita (pedregulhos) e areia, e, em alguns casos, aditivos especiais que melhoram individualmente algumas propriedades (GARCIA, 2012).

Mistura em betoneira estacionária: O tempo mínimo de mistura em betoneira estacionária é de 60 s, devendo este tempo ser aumentado em 15 s para cada metro cúbico de capacidade nominal da betoneira ou conforme especificação do fabricante. O tempo mínimo de mistura somente pode ser diminuído mediante comprovação da uniformidade. O concreto retido na betoneira não deve ser maior do que 2% do volume nominal, entendendo-se que este volume independe da consistência do concreto (NBR 12655, 2006).

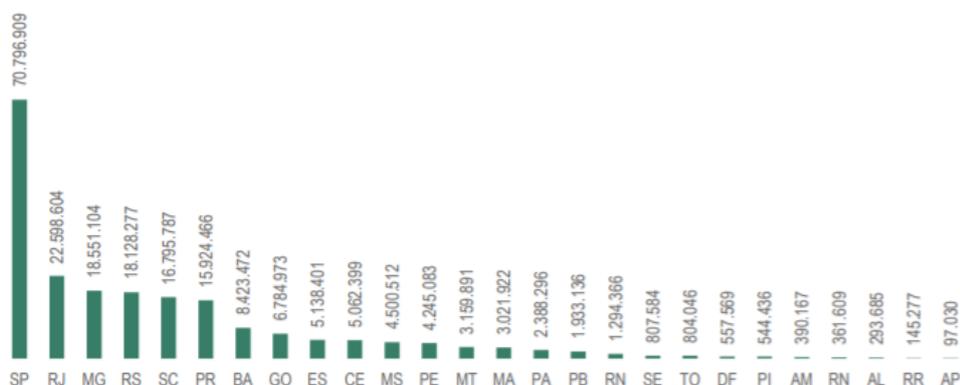
3.1.1. Agregados

Os agregados são definidos como materiais sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para o preparo de argamassa e concreto (NBR 12655, 2006).

Os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto (NBR 7211, 2005).

De acordo com Departamento Nacional De Produção Mineral (DNPM, 2015), a produção de brita e cascalho no Brasil em 2015 (gráfico 1), registrou 212.749 milhões de toneladas, valor 27,52% menor que em 2014 (293.527 milhões de toneladas). Em relação à areia, o aumento no período de 2012 para 2013 foi de 2,2%, atingindo 377.248 milhões de toneladas. Dessa forma pode-se estimar que são extraídos da natureza em torno de 580 milhões de toneladas de materiais para serem usados como agregados na construção civil.

Gráfico 1 - Quantidade produzida, em toneladas, de rocha britada por unidade da federação.



Fonte: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2015.

3.1.1.1. Agregado miúdo

Agregado miúdo é definido como aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

3.1.1.2. Agregado graúdo

Agregado graúdo é definido como aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

3.1.2. A água

A água utilizada na mistura tem duas funções, a primeira delas é reagir quimicamente com os álcalis do cimento, dando origem às propriedades

desejadas do concreto; a segunda é fornecer trabalhabilidade à mistura (Garcia, 2012).

3.1.3. Cimento

O cimento é definido como um aglomerante hidráulico obtido pela moagem simultânea de pedras de minerais calcários e argilosos chamados de clínquer, o qual, com a adição de gesso e outras substâncias, determina o tipo de cimento (Gargia, 2012).

O cimento Portland adquire propriedade adesiva quando misturado à água. Isso acontece porque a reação química do cimento com a água, comumente chamada de hidratação do cimento, gera produtos que possuem características de pega (aderência) e endurecimento (Metha, 2008). A Tabela 1 apresenta as especificações dos tipos de cimento Portland encontrados no mercado segundo sua classe de resistência.

Tabela 1 - Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland.

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Sufixo
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40 ^c	RS ^a ou BC ^b —
	Com adição	CP I-S		
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E		
	Com material carbonático	CP II-F		
	Com material pozolânico	CP II-Z		
Cimento Portland de alto-forno		CP III		
Cimento Portland pozolânico		CP IV		
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI ^d	
Cimento Portland branco	Estrutural	CPB	25, 32 ou 40 ^c	
	Não estrutural	CPB	—	—

^a O sufixo RS significa resistente a sulfatos e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.3, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

^b O sufixo BC significa baixo calor de hidratação e se aplica a qualquer tipo de cimento Portland que atenda aos requisitos estabelecidos em 5.4, além dos requisitos para seu tipo e classe originais.

^c As classes 25, 32 e 40 representam os mínimos de resistência à compressão aos 28 dias de idade, em megapascals (MPa), conforme método de ensaio estabelecido pela ABNT NBR 7215.

^d Cimento Portland de alta resistência inicial, CP V, que apresenta a 1 dia de idade resistência igual ou maior que 14 MPa, quando ensaiado de acordo com a ABNT NBR 7215 e atende aos demais requisitos estabelecidos nesta Norma para esse tipo de cimento.

Fonte: NBR 16697:2018

Sobre a comercialização do cimento portland, por volta de 57 milhões de toneladas foram produzidas em 2016 (SNIC, 2019). Além da utilização da

extração de argila e calcário para produção de cimento Portland, A fabricação de 1 t de clínquer, sua matéria prima, lançar aproximadamente 1 t de CO₂ na atmosfera (METHA, MONTEIRO, 2008).

O cimento escolhido segue a referência da norma NBR 5733:1991, de acordo com a Norma, o cimento Portland de alta resistência inicial é um aglomerante hidráulico que atende às exigências de alta resistência inicial, obtido pela moagem de clínquer Portland, constituído em sua maior parte de silicatos de cálcio hidráulicos, ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. durante a moagem é permitido adicionar a esta mistura materiais carbonáticos, nas quantidades apresentados na tabela 2. O cimento Portland de alta resistência inicial é designado pela sigla CP V-ARI; a designação ARI representa o mínimo de resistência à compressão aos 7 dias de idade, ou seja, 34,0 MPa (NBR 5733:1991).

Tabela 2 - Teores dos componentes do cimento Portland de alta resistência inicial.

Sigla	Componentes (% em massa)	
	Clínquer + sulfatos de cálcio	Material carbonático
CP V-ARI	100 - 95	0 - 5

Fonte: NBR 16697:2018

Em 2018 foi criada uma nova Norma técnica divulgada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, a NBR 16697:2018, que trata de assuntos relacionados ao Cimento Portland e seus requisitos, nela foi possível comparar o tipo de cimento utilizado no estudo com os demais tipos encontrados no Brasil, como pode-se observar na Tabela 3.

Tabela 3 - Requisitos físicos e mecânicos

Sigla ^a	Classe	Finura		Tempo de início de pega min	Expansibilidade a quente mm	Resistência à compressão MPa				Índice de branura -
		Resíduo peneira 75 µm %				1 dia	3 dias	7 dias	28 dias	
CP I	25	≤ 12,0		≥ 60	≤ 5	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	-
CP I-S	32	≤ 12,0		≥ 60	≤ 5	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	
CP II-E										
CP II-F	40	≤ 10,0		≥ 60	≤ 5	-	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CP II-Z										
CP III	25	≤ 8,0		≥ 60	≤ 5	-	≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	-
CP IV	32	≤ 8,0		≥ 60	≤ 5	-	≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	-
	40	≤ 8,0		≥ 60	≤ 5	-	≥ 12,0	≥ 23,0	≥ 40,0	-
CP V	ARI	≤ 6,0		≥ 60	≤ 5	≥ 14,0	≥ 24,0	≥ 34,0	-	-
CPB Estrutural	25	≤ 12 ^b		≥ 60	≤ 5		≥ 8,0	≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 78
	32	≤ 12 ^b		≥ 60	≤ 5		≥ 10,0	≥ 20,0	≥ 32,0	
	40	≤ 12 ^b		≥ 60	≤ 5		≥ 15,0	≥ 25,0	≥ 40,0	
CPB Não estrutural	-	≤ 12,0 ^b		≥ 60	≤ 5	-	≥ 5,0	≥ 7,0	≥ 10,0	≥ 82

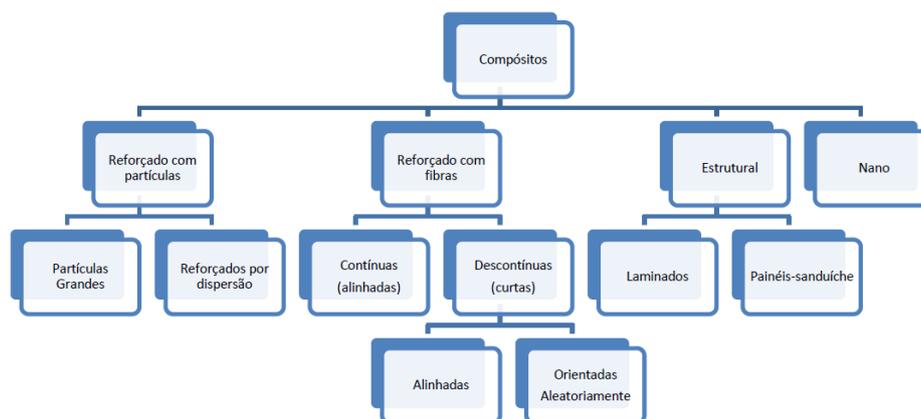
^a Requisitos aplicáveis também aos cimentos resistentes aos sulfatos e de baixo calor de hidratação, identificados por sua sigla seguida do sufixo RS ou BC, respectivamente.
^b Resíduo na peneira 45 µm

Fonte: NBR 16697:2018

3.2. Fibras

Segundo Callister (2014) as fibras têm um LD alto, ou seja, o comprimento em relação ao diâmetro tem uma grande razão, resultando em boa resistência à tração. Callister (2014) classifica os compósitos como esquematizado na figura 1. Essa classificação consiste em quatro divisões principais: os compósitos reforçados por partículas, os compósitos reforçados com fibras, os compósitos estruturais e os nanocompósitos. A fase dispersa para os compósitos reforçados com partículas é equiaxial – isto é, as dimensões das partículas são aproximadamente as mesmas em todas as direções – para os compósitos reforçados com fibras, a fase dispersa possui a geometria de uma fibra, com uma grande razão entre o comprimento e o diâmetro. Os compósitos estruturais são combinações de compósitos e materiais homogêneos. As fibras são um dos materiais de reforço estrutural mais utilizados na construção civil (74 et al., 1991).

Figura 1 -Classificação para vários tipos de compósitos.



Fonte: CALLISTER, 2014.

3.2.1. Fibras Vegetais

Segundo Savastano (2000), o estudo sistemático de fibras com finalidade de reforço de matrizes começou na Inglaterra em 1970. No Brasil, a pesquisa pioneira coube ao Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (Ceped), Camaçari, Bahia, com início em 1980.

Agopyan (1991), em seu abrangente trabalho a respeito do emprego de fibras vegetais como reforço de matrizes frágeis, relacionou 19 fibras potencialmente úteis para a construção civil. A partir de propriedades mecânicas (resistência à tração, módulo de elasticidade e alongamento na ruptura), características físicas, relação entre comprimento e diâmetro, possibilidade de cultivo no Brasil, custo e durabilidade no ambiente natural, selecionou algumas fibras como as mais adequadas.

Na tabela 4 é apresentada uma compilação de características de fibras vegetais já utilizadas como reforço de matrizes à base de cimento, em comparação com fibras de amianto crisotila e polipropileno. Como um produto natural, as características das fibras vegetais apresentam grande variabilidade, com coeficientes de variação freqüentemente maiores que 40%.

A maioria das pesquisas dessa área no Brasil e no exterior, concentraram-se nas fibras de coco e sisal (Agopyan, 1991), fartamente disponíveis a preço relativamente baixo. Para o reforço de materiais de construção civil podem ser empregadas fibras de menor comprimento, normalmente rejeitadas pelas indústrias de amarra, estofados e tecelagem, tradicionais consumidoras destas

fibras. Embora apresentem elevada resistência à tração como pode-se observar na tabela 4, o baixo módulo de elasticidade dessas fibras condiciona sua eficiência como reforço a deformações elevadas do compósito à base de cimento.

Tabela 4 - Características físicas e mecânicas das fibras vegetais, amianto e polipropileno.

Propriedades	Massa espec. real (kg/m ³)	Absorção máxima (%)	Alongamento na ruptura (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elastic. (GPa)
Coco	1177	93,8	23,9 a 51,4	95 a 118	2,8
Sisal	1370	110	4,9 a 5,4	347 a 378	15,2
Malva	1409	182,2	5,2	160	17,4
Celulose para papel imprensa	1200 a 1500	400	nd	300 a 500	10 a 40
Bambu	1158	145	3,2	73 a 505	5,1 a 24,6
Juta	Nd	214	3,7 a 6,5	230	nd
Piaçava	1054	34,3 a 108	6	143	5,6
Banana	1031	407	2,7	384	20 a 51
Amianto Crisotila	2200 a 2600	-	2	560 a 750	164
Polipropileno comum	913	-	22,3 a 26	250	2,00

Fontes: Agopyan; Savastano Jr. (1997), Nolasco et al. (1998) e Swamy (1988).

Obs.: nd = não disponível.

Há exemplos de aplicações de fibras vegetais na construção civil que datam quase 200 anos de existência, na Alemanha por exemplo, na cidade de Weilburg, encontra-se o prédio mais alto da Europa construído de Adobe (um compósito formado por fibras vegetais e argila). Com 7 andares, o prédio já resistiu a um incêndio e tem quase 200 anos.

3.2.1.1. Fibra de Coco

As fibras de coco são extraídas do fruto do coqueiro comum, Cocos Nucifera. Os coqueiros são palmeiras tropicais com até 35m de altura que florescem durante todo o ano e de forma mais abundante no verão, em regiões tropicais e subtropicais. No Brasil, o coco chegou em 1553, a bordo das embarcações portuguesas, provenientes das ilhas de Cabo Verde, para onde, por sua vez, também havia sido levado pelos portugueses (A Biblioteca Virtual do Estudante Brasileiro, 1999).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a produção Agrícola 2017 (LSPA), a produção de coco no Brasil é a quinta maior do mundo, gerando 2,34 milhões de toneladas em 2017 (Tabela 5). Considerando que por volta de 10% da massa do fruto é constituída por fibras, o volume gerado em 2017 será de aproximadamente 1.176 mil m³ de fibra de coco. Esta grande quantidade de coco propicia a oferta e a utilização de suas fibras para diversas finalidades. Dentre elas, a incorporação (através de adição) em matrizes de cimento portland vem sendo bastante estudada, pois diversas pesquisas recentes.

Tabela 5 - Produção mundial de coco, área colhida e rendimento nos anos de 2010,2016 e 2017.

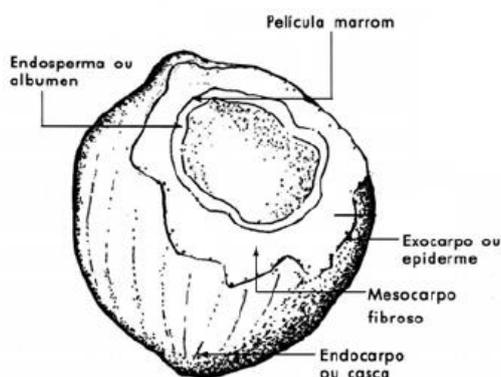
Principais produtores mundiais	Área colhida					Quantidade produzida						Rendimento				
	Mil hectares			Variação %		Milhões de toneladas				Variação %		(kg/ha)			Variação %	
	2010	2016	2017	10-17	16-17	2010	2016	2017	Projeção 2018	10-17	16-17	2010	2016	2017	10-17	16-17
Indonésia	2.980	3.150	3.260	9,4	3,5	18,00	17,96	18,98	19,13	5,5	5,7	6.040	5.703	5.823	-3,6	2,1
Filipinas	3.576	3.565	3.612	1,0	1,3	15,51	13,83	14,05	13,85	-9,4	1,6	4.337	3.878	3.889	-10,3	0,3
Índia	1.896	2.082	2.081	9,8	-0,0	10,84	11,17	11,47	11,56	5,8	2,6	5.718	5.367	5.512	-3,6	2,7
Sri Lanca	395	409	409	3,6	-0,0	1,99	2,52	2,58	2,67	29,4	2,0	5.041	6.166	6.293	24,8	2,1
Brasil	275	234	216	-21,6	-7,9	2,84	2,65	2,34	2,28	-17,6	-11,6	10.336	11.320	10.863	5,1	-4,0
Vietnã	140	147	148	5,6	0,9	1,16	1,47	1,50	1,55	29,0	2,0	8.284	10.011	10.123	22,2	1,1
Papua Nova Guiné	221	206	205	-7,3	-0,6	1,21	1,18	1,20	1,20	-0,6	1,6	5.475	5.746	5.874	7,3	2,2
México	179	183	184	2,7	0,6	1,13	1,16	1,16	1,16	2,4	0,1	6.322	6.340	6.306	-0,3	-0,5
Tailândia	231	190	192	-16,9	1,1	1,30	0,90	0,90	0,85	-31,1	-0,6	5.621	4.737	4.661	-17,1	-1,6
Demais Países	1.889	1.999	2.032	7,6	1,6	6,38	6,91	6,92	7,00	8,4	0,3	3.380	3.454	3.408	0,8	-1,3
Total mundial	11.782	12.165	12.339	4,7	1,4	60,37	59,75	61,10	61,27	1,2	2,3	5.124	4.912	4.952	-3,4	0,8

Fonte: FAOSTAT, 2018.

As fibras de coco têm ampla utilização de capachos, sacos, escovas, redes, colchões, esteiras, pincéis, etc. Além das fibras e da madeira, o coqueiro fornece alimentos como a polpa e a água-de-coco, óleos, produtos cosméticos,

ração animal, etc (A Biblioteca Virtual do Estudante Brasileiro, 1999). Existem pesquisas em andamento que estudam a utilização destes resíduos na construção civil, como uma opção para construções de baixo custo (Savastano, 1997). As partes principais de um coco podem ser vistas na Figura 2. As fibras são obtidas do mesocarpo, a parte espessa fibrosa.

Figura 2 - Seção transversal do fruto do coqueiro



Fonte: Cempre - Compromisso Empresarial para Reciclagem, 1998.

O processo de desfibração do mesocarpo para a obtenção da fibra de coco pode ser feita por maceração em água ou por processo mecânico, observar o ponto 4.2 deste trabalho. O comprimento das fibras varia de 10 a 200mm. Comparada a outras fibras vegetais a fibra de coco apresenta baixo teor de celulose, alto teor de lignina e polioses e alto ângulo espiral, ver tabela 6.

Tabela 6 - Composição química provável de algumas fibras vegetais (% em peso).

	Sisal	Coco	Algodão	Juta	Linho	Rami	Kenaf
Celulose	67-78	36-43	82,7	61-71,5	64,1	68,6	31-39
Hemicelulose	10-14,2	0,15-0,25	5,7	13,6-20,4	16,7	13,1	21,5
Lignina	8-11	41-45	-	12-13	2,0	0,6	15-19
Pectina	10	3-4	5,7	0,2	0,2	1,9	-
Solúveis em água	16,2	-	1,0	1,1	3,9	5,5	-

Ceras	2	-	0,6	0,5	0,5	0,3	-
Ângulo espiral	20	41-45	-	8,0	10	7,5	-
Teor de umidade	11	-	10	12,6	10	8,0	-

Fonte: Bledzki; Gassan, 1999 e Bisanda; Ansell, 1992.

A superfície da fibra é revestida por uma camada de cera, de origem alifática e não polar, denominada de cutícula (Satyanarayana et al. 1990). São também observadas protrusões globulares identificadas como marcas silicificadas (Geethamma et al., 1998).

3.3 Concreto Fibroso

A maioria dos materiais compósitos são formados de duas fases, a primeira denominada de matriz, que pode ser o concreto, e é contínua, esta envolve a outra fase que é chamada de dispersa, que pode ser o reforço, nesse estudo a fibra de coco será utilizada como reforço. Divide-se como matriz os grupos de metais, cerâmicos e polímeros, já os reforços são classificados como partículas, reforçados com fibras e estruturais (CALLISTER, 2012).

No caso específico das matrizes cimentícias, a inclusão de fibras tem o intuito de reforçar sua microestrutura, aumentando a resistência ao impacto desta matriz frágil e minimizando os efeitos da retração, principalmente, para reduzir à fissuração da matriz. As fibras celulósicas têm sido testadas como reforço de matrizes frágeis à base de cimento (TONOLI et al., 2013; ALMEIDA et al., 2013) devido ao seu baixo custo, disponibilidade, economia de energia, por serem de fonte renovável, não tóxicas e também no que se refere às questões ambientais.

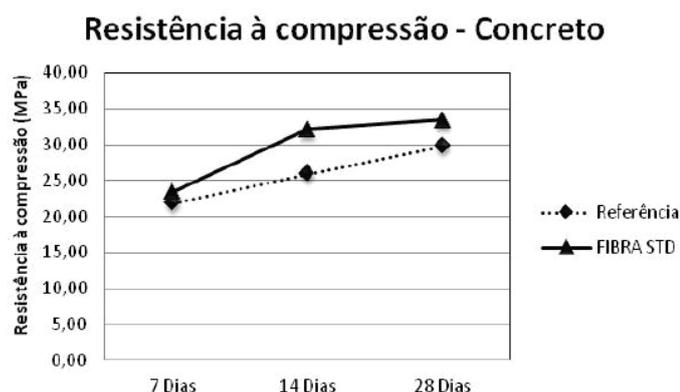
3.3.1 Concreto reforçado com fibra de coco

Segundo Silva (2013), A incorporação de fibras de coco, tanto em argamassas quanto concretos, contribuiu para a redução de fissuras nos corpos de prova quando submetidos ao ensaio de resistência à compressão,

demonstrando a capacidade do material em melhorar a tenacidade do compósito cimentício.

Foram observadas, para os diferentes comprimentos da fibra de coco, pequenas variações na consistência e resistência à compressão de argamassas para o teor de adição e comprimentos de fibras testados. Já em relação aos concretos, considerando o mesmo comprimento da fibra, porém em idades diferentes, verificou-se um acréscimo visível na resistência à compressão do concreto com a presença da fibra de coco em relação ao concreto de referência (gráfico 2). Esse aumento de resistência se mostrou associado à diminuição da absorção de água por imersão do concreto com a adição de fibra de coco (Gráfico 3).

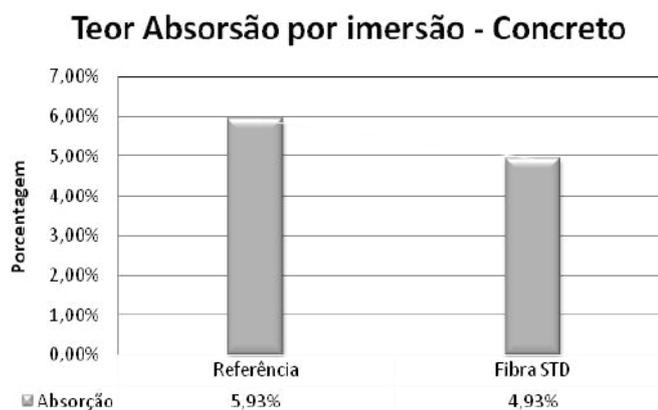
Gráfico 2 - Resistência à compressão dos CP de concreto (MPa)



Fonte: Silva, E et al (2013).

Os resultados apontam que a utilização da fibra natural de coco em compósitos cimentícios é viável do ponto de vista técnico, atendendo as propriedades físicas de resistência exigidas pelas normas. Isso reforça a viabilidade de se reaproveitar esses resíduos na construção civil, diminuindo, assim, a extração de recursos naturais, o que possibilitaria destinar adequadamente o resíduo agroindustrial produzido e diminuir a emissão de CO₂ para a atmosfera, causada pela produção do concreto.

Gráfico 3 - Absorção de água por imersão



Fonte: Silva, E et al (2013).

Savastano Júnior e Pimentel (2000, p. 108) afirmam que as fibras de coco mostram capacidade suplementar de absorção de energia, em lugar do colapso instantâneo observado para os compósitos e matriz sem reforço. Em relação ao módulo de elasticidade, observa-se que, em virtude da melhor deformabilidade decorrente da presença das fibras no compósito, há um ganho de desempenho nesta propriedade (SIVARAJA et al., 2010, p. 725).

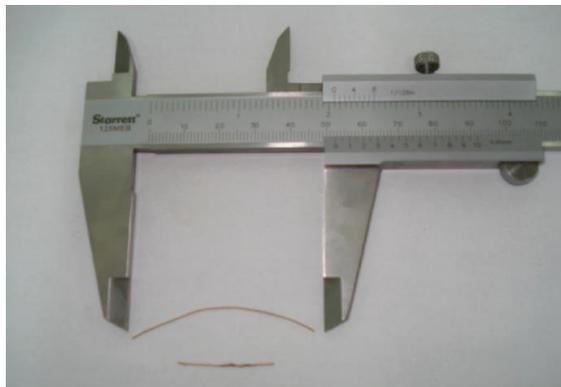
Al-Oraimi e Seibi (1995, p. 170) afirmam que o uso de uma baixa porcentagem (entre 0,05 a 0,15% em relação ao peso total da mistura) de fibras vegetais melhorou as propriedades mecânicas e a resistência ao impacto do concreto. Além disso, também obtiveram desempenho semelhante quando comparado ao concreto com adição de fibra sintética. Na mesma linha de raciocínio, Reis (2006, p. 1735) mostrou que a fibra de coco provou ser um eficiente reforço para concreto polimérico, aumentando sua tenacidade e resistência à flexão. Gunasekaran et al. (2011, p. 97) trabalharam com misturas de concreto utilizando cascas de coco e obtiveram compósitos com menores densidades que apresentaram potencial para utilização como agregado leve.

Quanto à condutibilidade térmica, Rodríguez et al. (2011, p. 1271) provaram que a intensidade da onda de calor, através do concreto, é significativamente reduzida com a utilização de fibra de coco como uma barreira térmica.

Ali et al. (2012, p. 824) estudaram propriedades dinâmicas e estáticas de concretos com teores de adição de fibra que variaram de 1 a 5% (em relação à massa do cimento) e os comprimentos foram: 2,5; 5,0; e 7,5 centímetros (Figura

3). De acordo com os resultados obtidos, o comprimento de 5 cm, com o teor de 5%, representou os melhores resultados em sua pesquisa.

Figura 3 - Fibra de coco com comprimentos de 25,0 e 50,0 mm.



Fonte: Silva, E et al. (2013).

Assim como verificado por Tolêdo Filho et al. (1997), o corpo de prova (com fibra de coco) rompido indica que o modo de propagação da fissura foi por tração vertical. Nota-se que o aumento na resistência cisalhante, causado pela presença das fibras, modificou o modo de ruptura da matriz. Os cp's reforçados com fibras não romperam em vários pedaços depois que a carga máxima foi atingida.

Outra possibilidade que pode justificar o melhor desempenho é a rugosidade superficial das fibras de coco; particularmente, as saliências dispostas como fileiras de pequenos nódulos, que ajudam na adesão da matriz durante o processo de cura e, assim, melhoram a tensão interfacial, acarretando melhor resistência mecânica do compósito (MONTEIRO et al., 2006).

Em relação ao ensaio de absorção de água por imersão, realizado na idade de 28 dias, observou-se (Figura 8) uma pequena diminuição da porcentagem de absorção de água no concreto quando adicionada a fibra de coco. Isso está coerente com o ligeiro aumento da resistência à compressão na mesma idade de ensaio, visto que ambas as propriedades estão ligadas à coesão e à porosidade do concreto.

A partir desses resultados, constata-se que a utilização da fibra de coco nessas condições, para a produção de argamassas e concretos, pode atender a resolução no 307, do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Essa resolução define, classifica e estabelece os possíveis destinos finais dos

resíduos de construção e demolição, atribuindo responsabilidades para o poder municipal e, também, para os geradores de resíduos no que se refere a sua destinação.

Aos benefícios técnicos apresentados, destinação adequada e redução da extração dos recursos minerais, soma-se outro aspecto positivo da incorporação de fibras vegetais em compósitos cimentícios: a redução de emissão de CO₂.

Lima (2010) afirma que a emissão de CO₂ no Brasil, causada pela produção de concreto, é da ordem de 225+/-43 kg CO₂/ m³. Ainda segundo o autor, considerando a produção (anual) de aproximadamente 30 milhões de m³ de concreto no Brasil, podem ser gerados cerca de 8 bilhões kg de CO₂ ao ano devido à produção de concreto. A partir dessas informações, pode-se inferir que, se todo o concreto produzido no país utilizasse o teor de adição apresentado no presente trabalho (2,4 kg/m³), levaria a uma redução de aproximadamente 7 milhões de toneladas de CO₂ lançado na atmosfera ao ano.

Assim sendo, a utilização de fibras vegetais na produção de argamassas e concretos poderá contribuir significativamente com o uso e reuso racional de recursos naturais, reciclagem, eficiência energética e diminuição tanto da geração de resíduos quanto de gases do efeito estufa. Isso, por sua vez, implicará em aumento da qualidade de vida/bem-estar, aumento da formalidade dos empregos, qualificação e competitividade do setor construtivo nacional.

Embora Savastano et al. (1999, p. 433) comentem a respeito da possível degradação da fibra de coco em virtude do meio alcalino à qual está inserida, constata-se que, no concreto avaliado, a presença da fibra de coco provocou uma ligeira melhora nessa propriedade nas três idades estudadas. Além de melhorar a resistência à compressão, também foi observada uma redução no número de fissuras geradas nos cp's com a presença da fibra em relação aos cp's sem adição de fibra de coco.

3.4. Ensaios Mecânicos

3.4.1. Ensaio de Compressão do Concreto

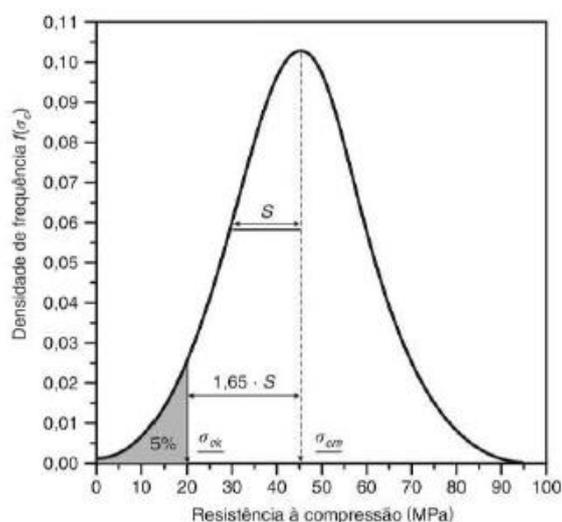
O ensaio de compressão axial consiste em determinar a carga máxima de ruptura suportada pelo corpo de prova. Este ensaio segue a NBR 5739 (2007).

Para a correta aplicação do ensaio de compressão em corpos de prova de concreto, o engenheiro responsável pela obra deverá observar características de agregado do concreto, consistência da massa, especificações do fabricante do cimento e, principalmente, a confecção e cura dos corpos de prova. Para tanto, será necessário consultar as normas técnicas para a preparação e a execução padronizada dos testes mecânicos a serem aplicados.

A resistência à compressão simples é a característica mecânica mais importante a ser analisada nos concretos, e para estimá-la em um lote de concreto são moldados e preparados corpos de prova segundo a NBR 5738, os quais são ensaiados à compressão longitudinal de acordo com a NBR 5739. O corpo de prova padrão brasileiro é cilíndrico, com 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, e a idade de referência é de 28 dias.

Após ensaio de um número representativo de corpos de prova (> 30), montar uma curva de Gauss, ou curva de distribuição normal, com os valores obtidos de u , versus a densidade de frequência de corpos de prova relativos a determinado valor de u , conforme mostra o gráfico 4 (Garcia, 2012).

Gráfico 4 - Curva de distribuição normal para resistência à compressão do concreto.



Fonte: Garcia, 2012.

Para a análise do concreto, dois parâmetros são considerados de importância fundamental: resistência média do concreto à compressão e resistência característica do concreto à compressão.

Para o caso dos concretos, a compressão transversal é um dos ensaios mais utilizados, principalmente devido à simplicidade de ser aplicado utilizando-se o mesmo corpo de prova cilíndrico do ensaio de compressão longitudinal (15 cm por 30 cm). Esse ensaio é conhecido internacionalmente como Ensaio Brasileiro, pois foi desenvolvido pelo engenheiro brasileiro Fernando Luiz Lobo Barboza Carneiro, em 1943, quando estudava a ideia de transportar por meio de rolos de concreto uma igreja histórica (Igreja de São Pedro, de 1732, RJ) para o outro lado de uma avenida (Av. Presidente Vargas, RJ) de modo a evitar que fosse demolida. O ensaio ganhou fama mundial, e a igreja não teve a mesma sorte, tendo sido realmente demolida devido a outras dificuldades encontradas no projeto de seu transporte. Em 1980, o ensaio foi adotado pela Organização Internacional de Padronização (International Organization for Standardization - ISO).

4. Materiais e procedimento experimental

Para o trabalho experimental, procurou-se avaliar a influência da fibra de coco no concreto, buscando analisar a real interatividade entre a fibra e a matriz. Para esse procedimento, foi necessário conhecer as características dos materiais empregados.

Todos os ensaios deste trabalho foram realizados no Laboratório Interdisciplinar de Mecânica dos Solos e Materiais de Construção – do Centro universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN). A fibra de coco coletada na praia de Ponta Negra/RN.

4.1. Concreto

Com base nas recomendações da literatura (Tabela 7), foram estudados 4 traços para concreto com diferentes proporções de fibra de coco com beneficiamento. Essas misturas foram: sem adição de fibras (referência) e com adição das fibras nos 3 diferentes padrões de tamanho descrito no item 4.2.1.1., das quais foram usadas 3 misturas nos ensaios, uma para referência, sem adição de fibras e duas com adição de fibras, a primeira com fibras de 25mm e a segunda com fibras de 50mm.

Tabela 7 - Dosagem dos compósitos desenvolvida por Silva, 2013.

Mistura	Traço	Consumo (kg/m ³)				Fibra de coco (kg)
		Cimento	Areia	Brita	Água	
Concreto de Referência	1:2,3:2,9:0,63	341,68	771,98	990,60	205	-
Concreto com adição de fibra de coco STD	1:2,3:2,9:0,63	341,68	771,98	990,60	205	2,4
Argamassa de referência	1:2,3:0,55	413,79	933,94	-	227,58	-
Argamassa com fibra de coco 25 mm	1:2,3:0,55	413,79	933,94	-	227,58	2,0
Argamassa com fibra de coco 50 mm	1:2,3:0,55	413,79	933,94	-	227,58	2,0
Argamassa com fibra de coco STD	1:2,3:0,55	413,79	933,94	-	227,58	2,0

Fonte:Silva, 2013.

Dessa forma, com base nas características dos materiais utilizados, e utilizando o método de dosagem de concreto da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) proposto por Rodrigues (1998), chegaram-se aos índices de consumo, cujos valores são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 - Dosagem dos compósitos

Mistura	Traço	Cimento (kg/m ³)	Areia (kg/m ³)	Brita (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Fibra de coco (kg)
Concreto de Referência	1:2,3:2,9:0,63	341,68	771,98	990,60	205	0,0
Concreto com adição de fibra de coco 25mm	1:2,3:2,9:0,63	341,68	771,98	990,60	205	2,4
Concreto com adição de fibra de coco 50mm	1:2,3:2,9:0,63	341,68	771,98	990,60	205	2,4
Concreto com adição de fibra de coco 75mm	1:2,3:2,9:0,63	341,68	771,98	990,60	205	2,4

Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

Na definição dos números de cp's, fez-se a opção de um mínimo de 08 (oito) cp's para cada idade de cada ensaio para os concretos, resultando no mínimo e 24 cp's. Conforme as normas NBR-7215 (ABNT, 1996) e NBR-5739 (ABNT, 1994).

4.1.1. O agregado

Os agregados, miúdo e graúdo utilizados, fornecidos pelo Laboratório Interdisciplinar de Mecânica dos Solos e Materiais de Construção do UNI-RN, foram caracterizados pelos ensaios de granulometria, massa específica real e massa específica aparente, conforme as normas NBR NM 248 (ABNT, 2003) e NBR NM 52 (ABNT, 2003). Os resultados são apresentados na tabela 9.

Tabela 9 - Resultados dos ensaios realizados na caracterização dos agregados

Agregado	Diâmetro máximo (mm)	Módulo de finura	Massa específica real (Kg/m ³)	Massa específica aparente (Kg/m ³)
Miúdo	1,18	2,49	2650	1670
Graúdo	25,0	4,75	2860	1410

Fonte: Silva, E et. al. (2013).

4.1.1.1. Agregado miúdo

Foi utilizada areia média como agregado miúdo (Figura 4).

Figura 4 - Areia média.



FONTE: Elaborada pelo autor.

A quantidade seguiu as proporções apontadas na tabela 8, ou seja: 1:2,3:2,9:0,63. Resultando em um total de aproximadamente 23kg de areia média (Figura 5 e 6).

Figura 5 - Areia média primeira parte.



FONTE: Elaborada pelo autor.

Figura 6 - Areia média segunda parte.



FONTE: Elaborada pelo autor.

4.1.1.2. Agregado graúdo

Foi utilizado brita nº 2, que tem diâmetro entre 19mm e 25mm, segundo a NBR 7211:2005, como agregado graúdo (Figura 7). A quantidade seguiu as proporções apontadas na tabela 8, ou seja: 1:2,3:2,9:0,63. Resultando em um total de aproximadamente 29kg de brita 19-25mm (Figura X).

Figura 7 - Brita 25 mm, medição de parte da quantidade referente ao traço.



FONTE: Elaborada pelo autor.

4.1.2. A água

A água potável usada para confecção dos compósitos foi obtida da rede pública de distribuição da cidade de Natal/RN.

A quantidade seguiu as proporções apontadas na tabela 8, ou seja: 1:2,3:2,9:0,63. Resultando em um total de aproximadamente 6,3kg de água.

4.1.3. Cimento

O cimento portland, utilizado nesta pesquisa, foi o CP V ARI (Figura 8) em virtude da sua maior velocidade de hidratação e menor teor de adições minerais que poderiam influenciar no desempenho da fibra de coco.

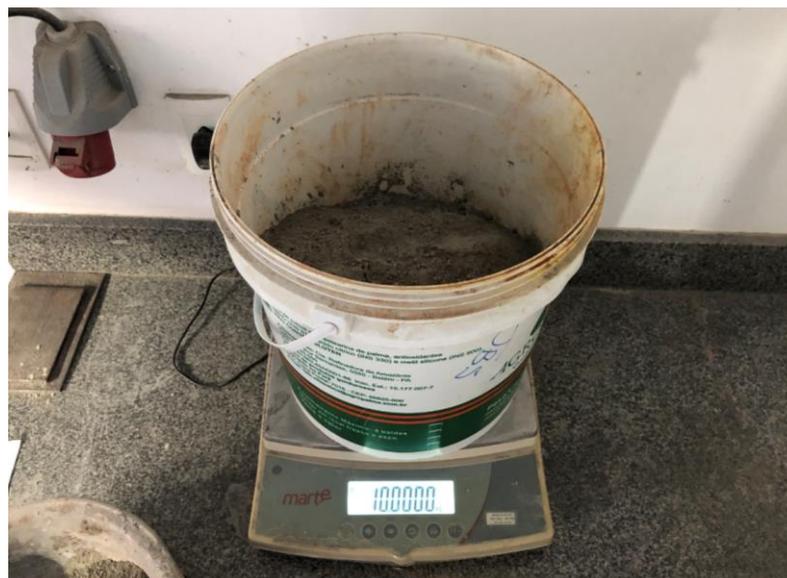
Figura 8 – Saco do cimento utilizado.



FONTE: Elaborada pelo autor.

A quantidade seguiu as proporções apontadas na tabela 8, ou seja: 1:2,3:3:2,9:0,63. Resultando em um total de aproximadamente 10kg de cimento CP-V ARI (Figura 8 e 9).

Figura 9 – Saco do cimento utilizado.



FONTE: Elaborada pelo autor.

4.2. Fibra de Coco

Foram obtidos cascos de coco verde na praia de Ponta Negra em Natal/RN (Figura 10).

Figura 10 - Coco verde retirado das praia do RN



Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

4.2.1. Método de beneficiamento de fibra de coco

Foram utilizadas cascos de coco verde para o desfibramento por conta da facilidade ser maior do que a encontrada quando são utilizados cascos de coco seco no desfibramento. Os cascos de coco foram partidos ao meio, em seguida foi retirada a polpa dele, após esses processos, o casco de coco verde é posicionado com a parte cortada voltada para o chão, enquanto a parte mais externa do casco fica posicionada para cima (Figura 11).

Figura 11 - Casco de coco verde partido ao meio e martelo para auxiliar no processo de desfibramento do casco



Fonte: Elaborada pelo autor

Com auxílio de um martelo ou de uma marreta, é necessário golpear o casco até que o mesmo fique bem macerado (Figura 12).

Figura 12 - Fibra de coco verde macerada



Fonte: Elaborada pelo autor

A fibra de coco é então desfiada, em seguida, as fibras, ainda úmidas, são torcidas diminuindo a quantidade de líquido presente e em sequência são colocadas num recipiente aberto e posicionadas ao sol para facilitar que percam a umidade restante (Figura 13). Também há a possibilidade de se usar uma estufa, agilizando o processo e trazendo resultados mais nivelados, mas nesse trabalho buscou-se executar da maneira mais simples possível, para comprovar

a eficiência sem a necessidade do uso de máquinas específicas e mão de obra especializada.

Figura 13 - Fibra de coco colocada num recipiente aberto para ser posicionada ao sol com a finalidade de ser retirada a umidade.



Fonte: Elaborada pelo autor

Depois de secas (Figura 13), as fibras foram limpas manualmente (Figura 14), visando retirar a maior parte dos materiais presentes que não fossem fibras (Figura X), pois assim a aderência do material na mistura se torna mais eficiente.

Figura 14 - Fibra de coco após secagem.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 15 - Fibra de coco após secagem.



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 16 - Fibra de coco limpa, após tratamento manual.



Fonte: Elaborada pelo autor

4.2.1.1. Corte das fibras

As fibras de coco, já secas, são cortadas em 2 tamanhos distintos, 25mm e 50 mm, com o auxílio de régua e tesoura (Figura 17).

Figura 17 - Recorte das fibras de coco.



Fonte: Elaborada pelo autor

4.3. Concreto fibroso

Este trabalho teve seu desenvolvimento baseado em revisões bibliográficas relacionando o tema de microestrutura e concreto com adição de fibra de coco na sua composição, os métodos de ensaios para diagnóstico e o estudo dos ensaios realizados no Centro Universitário do Rio Grande do Norte com suas respectivas análises. Foram definidos no item 4.2.1.1, 3 tamanhos de fibra de coco com para serem testadas em laboratório considerando a classe de agressividade ambiental II, definida pela norma NBR 6118:2014 (Tabela 10).

Tabela 10 - Tabela de classes de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118: 2014

O traço do concreto fibroso foi definido no item 4.1., na tabela X são especificados os traços em estudo.

4.3.1. Concreto reforçado com fibra de coco

4.4. Fabricação dos corpos de prova

Os corpos de prova cilíndricos foram fabricados de acordo com os traços definidos (item 4.2.1.1.) e com base na norma NBR 5738:1994.

No processo de mistura do concreto, foi utilizada uma betoneira de eixo inclinado, marca CSM (Figura 18), para a confecção dos cp's sem adição de fibra de coco. Efetuou-se a colocação dos materiais na seguinte sequência: agregado graúdo; 50% do volume de água; cimento; areia; e, por fim, as fibras. Com a mistura de todos os materiais, realizou-se o ensaio de abatimento do tronco de cone (Figura 19) e, posteriormente, a moldagem dos cp's.

Figura 18 - Betoneira utilizada para a mistura do cimento, agregado, água e fibra de coco.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

Figura 19 - Execução do ensaio de abatimento



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

No processo de mistura do concreto fibroso, foi utilizada uma pá comum (figura 20), para a confecção dos cp's com adição de fibra de coco. Evitou-se a utilização da betoneira nesse caso pois o desperdício poderia ser agravado pelas fibras enroscadas nas pás de dentro da betoneira. Efetuou-se a colocação dos materiais na seguinte sequência: agregado graúdo; cimento; areia e foi-se adicionada as fibras (Figura 21) e a água progressivamente (Figura 21), enquanto tudo era misturado, deixando a mistura homogênea. Com a mistura de todos os materiais, realizou-se o ensaio de abatimento do tronco de cone (Figura 21) e, posteriormente, a moldagem dos cp's.

Figura 20 – Execução do traço da mistura de concreto fibroso.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Figura 21 – Fibras adicionadas aos outros materiais da mistura.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Figura 22 – Água adicionada aos outros materiais da mistura.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Para a execução da moldagem, foi realizado o encobrimento com material plástico de todos os cp's (Figura 23), visando, com isso, impedir a perda inicial de água por parte do concreto (figura 23). Com 24 horas de cura ao ar livre, realizou-se a desforma (Figura 23) e a colocação dos cp's na câmara úmida (Figura 23) até o momento do ensaio de resistência à compressão axial no estado endurecido, realizado na prensa eletrohidráulica, da marca Solotest, de acordo com a NBR-7215 (ABNT, 1996).

Figura 23: Moldes de plástico utilizados para confecção de cp's.



Fonte: Elaborada pelo autor. (2020).

Figura 24: Corpos de prova em molde.



Fonte: Elaborada pelo autor. (2020).

Figura 25: Concreto fibroso no molde de plástico.

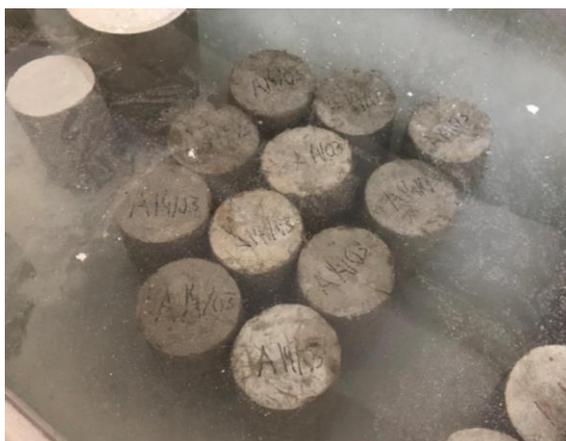


Fonte: Elaborada pelo autor. (2020).

Figura 26: Cps desmoldados.



Fonte: Elaborada pelo autor. (2020).

Figura 27: Cps em câmara úmida

Fonte: Elaborada pelo autor. (2020).

Foram produzidos 33 corpos de prova, sendo 12 compostos por concreto sem adição de fibra de coco, 11 compostos por concreto com adição de fibra de coco beneficiada com 25mm e 10 compostos por concreto com adição de fibra de coco beneficiada com 50mm.

4.4.1. Ensaio de Consistência Pelo Abatimento Do Cone

A consistência do concreto está relacionada com suas próprias características, com a mobilidade da massa e a coesão entre seus componentes. Modificando a proporção de água adicionada ou empregando aditivos, sua plasticidade é alterada, variando a deformação do concreto perante esforços.

O ensaio do abatimento do concreto, também conhecido como Slump Test (Figura 28), é realizado para verificar a trabalhabilidade do concreto em seu estado plástico, buscando medir sua consistência e avaliar se está adequado para o uso a que se destina.

Foi feito o ensaio de abatimento dos concretos de referência e nos concretos com diferentes dosagens de fibra de coco e foi verificado o abatimento conforme a tabela 11.

Tabela 11 - Relação entre trabalhabilidade e grandeza de abatimento

Trabalhabilidade	Abatimento (mm)
Abatimento zero	0
Muito baixa	5 a 10

Baixa	15 a 30
Média	45 a 75
Alta	80 a 155
Muito alta	160 ao desmoronamento

Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

Figura 28: Ensaio de Abatimento de tronco de cone (Slump-Test)



Fonte: Silva, E et al. (2013).

4.5 Ensaios mecânicos

4.5.1. Ensaio de Compressão do Concreto

Este ensaio tem como objetivo determinar a resistência a compressão dos corpos de prova em função da variação da granulometria utilizada. Foi definida a idade de 28 dias para os ensaios de resistência à compressão axial, seguindo a NBR-5739 (ABNT, 1994). A idade de 28 dias foi adotada para o ensaio de absorção de água por imersão, de acordo com a NBR-9778 (ABNT, 1987).

O ensaio foi realizado no laboratório do UNI RN na prensa hidráulica de ruptura máxima de 100 toneladas força (Figura 29).

Figura 29 - Prensa utilizada no ensaio no laboratório do UNI-RN.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.5.2. Ensaio de tração

Usasse a mesma prensa que é usada para determinar o FCK (resistência característica do concreto à compressão) do concreto. o CP (15x30) é colocado deitado (ao contrário do que acontece no ensaio de compressão). Coloca-se uma madeira entre o CP e a prensa, que garanta o contato em toda a extensão do corpo de prova. vai aplicando a carga até chegar a fadiga.

Sequência da execução desse ensaio: Retirar o CP da câmara fria ou tanque, limpar a água da superfície da amostra (figura 30), traçar uma linha para garantir o mesmo local axial nas duas extremidades, registrar o peso e dimensões da amostra, colocou-se a tira compensada na placa inferior e colocou-se o corpo de prova na prensa, alinhar o corpo de prova para a linha marcada ficar na vertical e centralizada sobre a placa inferior, colocar a tira compensada sobre a amostra, abaixar a placa superior até que ela toque na tira de madeira, aplicar a carga contínua uma taxa de 0,7 a 1,4 MPa/min.

Figura 30 - Prensa utilizada no ensaio no laboratório do UNI-RN.



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.6 Mecanismos de Pesquisa bibliográfica

A Pesquisa bibliográfica se baseou em publicações em revistas científicas, jornais científicos, livros, artigos e trabalhos fundamentados no mesmo material em estudo, a fibra de coco.

Foram levantados 16 trabalhos e publicações científicas a respeito do tema, de anos entre 2000 e 2019.

Com esses trabalhos, foi possível verificar resultados e conclusões a respeito da fibra de coco como aditivo no concreto, como forma de reduzir custos e aumentar a resistência.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir do estudo de trabalhos desenvolvidos abordando o mesmo tema, pois não foi possível realizar os ensaios definidos no projeto em razão da interdição, por tempo indeterminado, do acesso dos alunos ao centro universitário do RN devido ao Covid-19.

5.1 Os Resíduos fibrosos

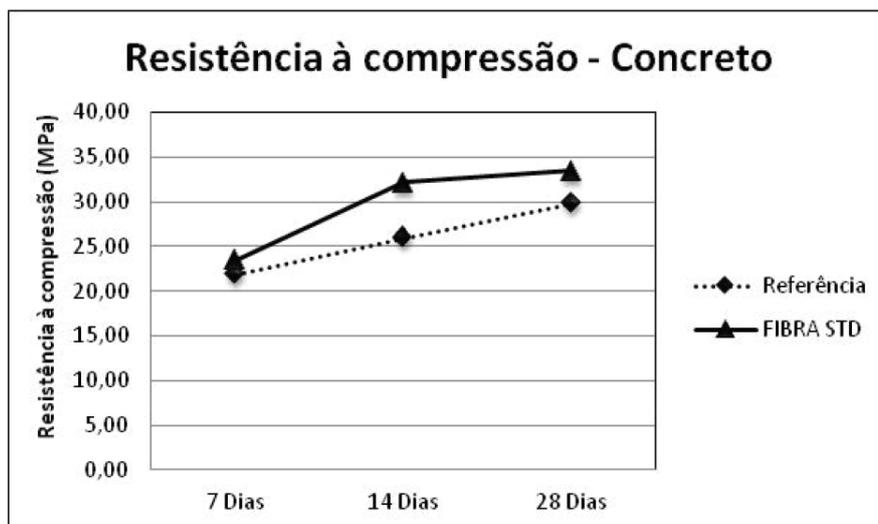
Segundo Junior (2000), os países tropicais são, por natureza, produtores de plantas fibrosas. No entanto, os mercados de fibras comerciais são extremamente seletivos e geram, em decorrência disso, grande quantidade de resíduo. Há seis resíduos fibrosos de grande potencialidade, que incluem a fibra de coco, a partir de critérios baseados na disponibilidade, dispersão geográfica, usos alternativos já existentes, custo de obtenção, características físicas e microestruturais. Isso não inviabiliza novas incursões em busca de outras fibras vegetais (alguns exemplos: bambu, bagaço de cana-de-açúcar, papel de imprensa e juta), igualmente de grande potencial, e que poderão ser priorizadas em estudos futuros, dependendo dos critérios de escolha e utilização pretendida.

5.2 As fibras Vegetais Como Reforço

Segundo Silva (2015) Em relação à consistência do concreto, não foi constatada variação em virtude da adição de fibra de coco. Tanto o traço de referência (Sem adição de fibras de coco) quanto o caso com fibra STD (Sem Tamanho Definido), obtiveram o resultado de 100 mm no ensaio do abatimento do tronco de cone.

Verifica-se, na Gráfico 5, a evolução da resistência à compressão do concreto com e sem a presença de fibra de coco (STD), ao longo das idades de 7, 14 e 28 dias de idade.

Gráfico 5 – Resistência à compressão dos concretos (Mpa)



Fonte: Silva, E, et al. (2013).

Embora Savastano et al. (1999, p. 433) comentem a respeito da possível degradação da fibra de coco em virtude do meio alcalino à qual está inserida, constata-se que, no concreto avaliado, a presença da fibra de coco provocou uma ligeira melhora nessa propriedade nas três idades estudadas. Além de melhorar a resistência à compressão, também foi observada uma redução no número de fissuras geradas nos cp's com a presença da fibra em relação aos cp's sem adição de fibra de coco.

É provável que a presença da fibra esteja contribuindo para melhorar a forma em que a energia seja descarregada ao longo do concreto. Além disso, a água absorvida pela fibra, pode diminuir a relação água/aglomerante disponível para a mistura e, posteriormente, fornecê-la para a continuação das reações de hidratação do cimento (ROSSI, 2001, p. 51).

Foi verificado por Tolêdo Filho et al. (1997), que o corpo de prova com adição de fibra de coco rompido indica que o modo de propagação da fissura foi por tração vertical. Nota-se que o aumento na resistência cisalhante, causado pela presença das fibras, modificou o modo de ruptura da matriz. Os cp's reforçados com fibras não romperam em vários pedaços depois que a carga máxima foi atingida.

Segundo Monteiro (2006), uma das justificativas para o melhor desempenho é a rugosidade superficial das fibras de coco; particularmente, as saliências dispostas como fileiras de pequenos nódulos, que ajudam na adesão

da matriz durante o processo de cura e, assim, melhoram a tensão interfacial, acarretando melhor resistência mecânica do compósito.

Em referência ao ensaio de absorção de água por imersão, realizado por Silva (2015) na idade de 28 dias, observou-se (Gráfico 6) uma pequena diminuição da porcentagem de absorção de água no concreto quando adicionada a fibra de coco. Isso está coerente com o ligeiro aumento da resistência à compressão na mesma idade de ensaio, visto que ambas as propriedades estão ligadas à coesão e à porosidade do concreto.

Gráfico 6 - Absorção de água por imersão.



Fonte: Silva, E, et al (2013).

Com base nesses resultados, constata-se que a utilização da fibra de coco nessas condições, para a produção de concretos, pode atender a resolução no 307, do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Essa resolução define, classifica e estabelece os possíveis destinos finais dos resíduos de construção e demolição, atribuindo responsabilidades para o poder municipal e, também, para os geradores de resíduos no que se refere a sua destinação.

Aos benefícios técnicos apresentados, destinação adequada e redução da extração dos recursos minerais, soma-se outro aspecto positivo da incorporação de fibras vegetais em compósitos cimentícios: a redução de emissão de CO₂.

Lima (2010) afirma que a emissão de CO₂ no Brasil, causada pela produção de concreto, é da ordem de 225+/-43 kg CO₂/m³. Ainda segundo o autor, considerando a produção (anual) de aproximadamente 30 milhões de m³ de concreto no Brasil, podem ser gerados cerca de 8 bilhões kg de CO₂ ao ano devido à produção de concreto. A partir dessas informações, pode-se inferir que, se todo o concreto produzido no país utilizasse o teor de adição apresentado no presente trabalho (2,4 kg/m³), levaria a uma redução de aproximadamente 7 milhões de toneladas de CO₂ lançado na atmosfera ao ano.

De acordo com Silva (2015), a utilização de fibras vegetais na produção de concretos poderá contribuir significativamente com o uso e reuso racional de recursos naturais, reciclagem, eficiência energética e diminuição tanto da geração de resíduos quanto de gases do efeito estufa. Isso, por sua vez, implicará em aumento da qualidade de vida/bem-estar, aumento da formalidade dos empregos, qualificação e competitividade do setor construtivo nacional.

5.3 Durabilidade

Segundo Junior (2000), as fibras vegetais se degeneram em contato com meios alcalinos, pela decomposição da lignina. Também sofrem o efeito da deposição, em seus vazios internos, de produtos de hidratação, que se cristalizam e conferem efeito análogo ao da "petrificação". Apresentam alta capacidade de absorção de água, com variações volumétricas que podem ser deletérias à interface fibra-matriz, no decorrer de inúmeros ciclos de molhagem e secagem, ao longo de sua vida útil.

Apesar de se verificar completa carbonatação da matriz de escória, ao final dos ensaios de envelhecimento, percebe-se que esse fator, a princípio favorável à redução da alcalinidade do meio, não teve efeito preponderante neste caso. Acredita-se que a velocidade das reações químicas prejudiciais às fibras tenha sido maior, afetando-as logo no início do período de envelhecimento natural.

Segundo Wang (1995), a perda da resistência do cimento de escória pode ser entendida também como efeito da carbonatação, levando à perda de resistência à tração na flexão do compósito. Ao mesmo tempo, observa-se que

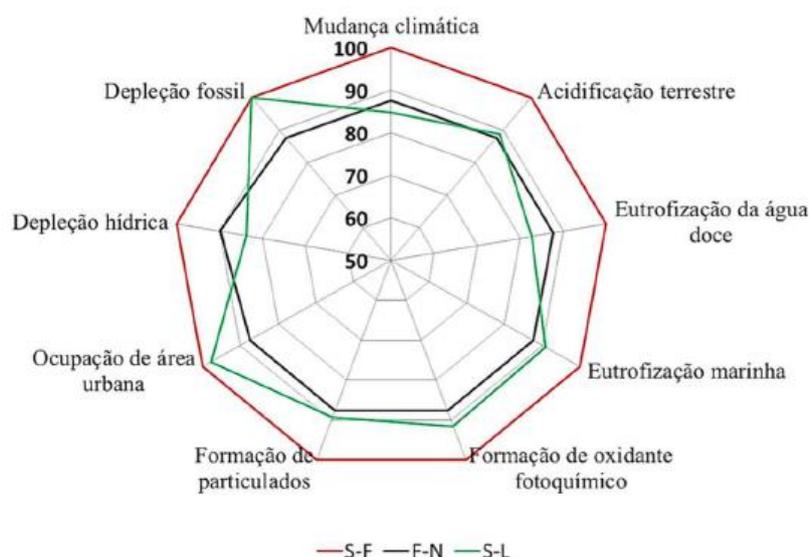
o ganho de ductilidade geralmente veio acompanhado da perda de resistência, e vice-versa. Esse comportamento reflete a forma como as duas fases do compósito (matriz de aglomerante e fibras vegetais) interagem microestruturalmente, uma vez que o escorregamento das fibras leva à absorção de energia; porém, a perda progressiva do poder de reforço compromete a resistência.

5.4 Desempenho Ambiental

Segundo Silva (2018), A Gráfico 7 apresenta o desempenho ambiental dos compósitos efetuado a partir de uma avaliação do ciclo de vida que comparou os materiais e suas quantidades utilizados para a produção de cada compósito. Nota-se que o compósito sem incorporação da fibra de coco (S-F) aparece como maior impacto ambiental em quase todas as categorias avaliadas, com exceção da categoria Depleção fóssil onde o compósito com fibras tratadas com látex natural e pozolana sílica ativa (S-L) predominou como o cenário de maior impacto. Por outro lado, o compósito com fibras naturais de coco sem tratamento (F-N) apresentou-se como aquele com o melhor desempenho ambiental, com uma média de impacto 10% inferior à S-F, na maioria das categorias. Isso pode ser atribuído ao uso da fibra de coco como componente substituto do cimento, grande causador de impacto ambiental (BOESCH et al., 2010).

Em relação ao compósito com fibras tratadas com látex natural e pozolana sílica ativa (S-L), também há uma importante redução de impactos em relação ao compósito S-F. Algumas categorias como depleção hídrica, mudança climática e eutrofização da água doce apresentaram impactos menores que a produção do compósito F-N, possivelmente devido a menor quantidade de cimento Portland utilizada na confecção do compósito S-L em relação ao F-N.

Gráfico 7 – Resultado do teste de desempenho ambiental através da ACV (avaliação do ciclo de vida).



Fonte: Silva, 2018.

5.5 Avaliação Econômica

Outro aspecto fundamental para a utilização das fibras de coco no setor construtivo está associado à questão econômica. A este respeito, a Tabela 12 apresenta os valores dos materiais utilizados para a produção dos tijolos de cimento utilizando as fibras de coco nas condições propostas.

Segundo Silva (2018), foi observado que o tijolo F-N (compósito com fibras naturais de coco sem tratamento) reduziu o custo em 12,5% comparado ao S-F (compósito sem incorporação da fibra de coco) em função da diminuição da água e, principalmente, da redução do cimento Portland necessário para a produção de um mesmo volume de compósito. Entretanto, diante das condições de e gradabilidade da fibra de coco inserida em compósitos cimentícios, torna-se necessário a utilização do tratamento para se garantir as condições adequadas de uso do material a longo prazo. Embora o tijolo S-L (compósito com fibras tratadas com látex natural e pozolana sílica ativa) tenha registrado um pequeno aumento de 6,3% em relação ao S-F, pode-se afirmar que o tratamento proposto por Silva et al. (2018) é competitivo do ponto de vista econômico diante de todos os benefícios técnicos, ambientais e sociais do novo compósito.

Tabela 12 – Valores totais (R\$) para a produção de tijolos maciços.

Materiais utilizados	Valor unitário (R\$/g)	Fonte	Quantidades de materiais para cada tijolo (g)		
			S-F	F-N	S-L
Cimento Portland	0,00058	SINAPI	960	840	756
Água	0,00000642	EMBASA	672	588	576,96
Fibra de coco	*		0	84	84
Látex Natural	0,00207	CIF	0	0	11,04
Sílica Ativa	0,00188	SINAPI	0	0	84
Valor total para cada tijolo produzido (R\$)			0,5611	0,4909	0,5964

Fonte: Silva, E. J., 2018.

Ainda em relação ao uso de pozolanas, a utilização de outras pozolanas oriundas de resíduos de biomassa produzidos localmente como cinzas de casca de arroz, cinza de bagaço de cana e resíduos da biomassa de cacau para a produção do compósito cimentício (SILVA et al., 2014; CORDEIRO, 2006, SILVA et al., 2015) poderiam diminuir ainda mais o valor necessário para a produção do novo compósito. Uma vez que se desconsidere o valor relativo à pozolana, o custo do tijolo com fibra de coco tratada seria de R\$ 0,4385, ou seja, 21,85% mais barato que um tijolo composto por cimento Portland e água.

Para uma análise comparativa com um produto similar do mercado, de acordo com o índice da SINAPI (dezembro de 2015) o valor unitário de um tijolo maciço cerâmico aparente custava R\$ 0,87, ou seja, praticamente o dobro do valor de um tijolo (com mesmas dimensões) produzido com a formulação utilizando fibra de coco e cinza da biomassa de cacau, por exemplo. Além disso, deve-se considerar a escala de produção a nível laboratorial utilizada; espera-se obter custos de produção ainda mais vantajosos ao se adotar uma produção em escala industrial.

6. CONCLUSÃO

A adição de fibras de coco ao concreto contribuiu para a redução de fissuras nos corpos de prova quando submetidos ao ensaio de resistência à compressão, demonstrando a capacidade do material em melhorar a tenacidade do compósito cimentício.

Foram observadas, para os diferentes comprimentos da fibra de coco, 25mm, 50mm e 75mm, um acréscimo visível na resistência à compressão do concreto com a presença da fibra de coco em relação ao concreto de referência sem fibra de coco. Esse aumento de resistência se mostrou associado à diminuição da absorção de água por imersão do concreto com o acréscimo da fibra de coco. Enquanto o concreto referência absorve em torno de 5,93%, o com fibras de coco absorve em média 4,93%.

Os resultados apontam que a utilização da fibra natural de coco em compósitos cimentícios é viável do ponto de vista técnico, atendendo as propriedades físicas de resistência exigidas pelas normas. Isso reforça a viabilidade de se reaproveitar esses resíduos na construção civil, diminuindo, assim, a extração de recursos naturais, o que possibilitaria destinar adequadamente o resíduo agroindustrial produzido e diminuir a emissão de CO₂ para a atmosfera, causada pela produção do concreto, esse novo compósito tem uma média de impacto ambiental 10% inferior quando comparado com a referência.

O estudo apontou que a utilização das fibras de coco acrescentadas no concreto, do ponto de vista econômico, resultará em torno de 21,85% de redução de custos, por ser um material reutilizável, de baixo custo e que pode substituir parte do concreto e sem que aconteça redução de rendimentos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5733/2003**: cimento portland de alta resistência inicial. ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738/2003**: *Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, Dez. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739/1994**: *Concreto - Ensaio de corpos-de-prova cilíndricos - Método de ensaio*. Rio de Janeiro 1994.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211/2005**: : **AGREGADOS PARA CONCRETO- ESPECIFICAÇÕES**. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9778/2009**: Ensaio de massa específica seca.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12655/2006**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento (admite o “controle parcial” do concreto ou “controle total” - ensaio do concreto vindo nas betoneiras) ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16697/2018**: Cimento portland - Requisitos.1 ed. Rio de Janeiro - Rj: Abnt, 2018. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 52/2003**: Agregado graudo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 248/2003**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM-ISO 3310-1/1997**: Peneiras de ensaio - requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. ABNT, 1997.

ANTEQUERA, P.; JIMENES, L.; MIRAVETE, A. **Los Materiales Compuestos de fibra de vidro**, Universidad de Zaragoza, España, 1991.

ALI, M.; LIU, A.; SOU, H.; CHOUW, N. **Mechanical and dynamic properties of coconut fibre reinforced concrete**. *Construction and Building Materials*, v.30, p.814-825, 2012.

ALI, M.; LI, X.; CHOUW, N. **Experimental investigations on bond strength between coconut fibre and concrete**, *Materials and Design*, v. 44, p. 596-605, 2013.

AL-ORAIMI e SEIBI; **Mechanical characterisation and impact behaviour of concrete reinforced with natural fibres**, 1995.

Agopyan, V. Vegetable fibre reinforced building materials - developments in Brazil and other Latin American countries. In: Swamy, R.N., ed. **Natural fibre reinforced cement and concrete**. Glasgow, Blackie, 1988, p.208-42. *Concrete and Technology and Design*, 5).

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

Agopyan, V.; John, V.M. Durability evaluation of vegetable fibre reinforced materials. *Building Research and Information*, v.20, n.4, p.233-5, 1992.

Agopyan, V.; John, V.M.; Derolle, A. **Construindo com fibras vegetais**. A construção São Paulo, n.2200, p.17-20, abr. 1990.

AGOPYAN, V.; Savastano Jr., H. Uso de materiais alternativos à base de fibras vegetais na construção civil: experiência brasileira. In: Seminário Iberoamericano 1997 de Materiales Fibrorreforzados, 1., y Reunión Proyecto PIP VIII.5 Cyted, 3., Cali, 1997. **Memorias**. Cali, Universidad del Valle, 1997. p.23-40. (Artículo 03)

ALMEIDA, A. E. F. S.; TONOLI, G. H. D.; SANTOS, S. F.; SAVASTANO JR., H. Improved durability of vegetable fiber reinforced cement composite subject to accelerated carbonation at early age. **Cement and Concrete Composites**. Barking, v. 42, p. 49-58, 2013.

ALMEIDA, A. E. F. S.; TONOLI, G. H. D.; SANTOS, S. F.; SAVASTANO JR., H. S. Carbonatação acelerada efetuada nas primeiras idades em compósitos cimentícios reforçados com polpas celulósicas. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, p. 233-246, 2010.

BRÍGIDA, A. I. S.; CALADO, V. M. A.; GONÇALVES, L. R. B.; Coelho, M. A. Z. Effect of chemical treatments on properties of green coconut fiber. *Carbohydrate Polymers*, v. 79, p. 832–838, 2010.

*COSTA, Larissa Caroline Fernandes. **Obtenção e estudo de um compósito de matriz de poliéster e carga de resíduos de mármore**. 2017. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.*

*CALLISTER JUNIOR, William D. **Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução**. 5. ed. Utah: Livros Técnicos e Científicos Editora S.a, 2012. 589 p. Tradução de: Sérgio Murilo Stamile Soares.*

CEPED - CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO DA BAHIA. Utilização de fibras vegetais no fibro-cimento e no concreto-fibra. BNH-DEPEA. Rio de Janeiro, p. 72. 1982.

CLARAMUNT, J.; ARDANUY, M.; HOTAL, J. A. G.; TOLEDO FILHO, R. D. The hornification of vegetable fibers to improve the durability of cement mortar composites. *Cement & Concrete Composites*, v. 33, p. 586-595, 2011.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Quantidade produzida, em toneladas, de rocha britada por unidade da federação em 2015.** <https://sistemas.anm.gov.br/scm/site/admin/default.aspx> Acesso em 10 Out, 2019.

FIGUEREDO, Patricia. **PIB do Brasil em 2016.** <https://www.sistemafibra.org.br/fibra/sala-de-imprensa/noticias/1315-construcao-civil-representa-6-2-do-pib-brasil> Acesso em: 10 Out. 2019.

FAOSTAT - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **World Production.** Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx>. Acesso em: 10 nov. 2019.

GACIA A; SPIM J. A.; SANTOS C. A.; **Ensaio dos Materiais**, 2 ED. 2012.

GEETHAMMA, V. G. et al. (1998). **Composite of short coir fibre and natural rubber: effect of chemical modification, loading and orientation of fibre.** Polymer, Oxford, v. 39, n. 6/7, p.1483-1401, Mar.

GONÇALVES, Jorge Antônio Vieira. **Propriedades mecânicas de compósitos particulados à base de resina epóxi reforçados com pó de rochas graníticas pertencentes à faixa de dobramento Sergipana.** 2015. 109 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia dos Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2015.

GUNASEKARAN, K.; KUMAR, P. S.; LAKSHMIPATH, M. Mechanical and bond properties of coconut shell concrete, **Construction and Building Materials**, v.25, p. 92-98, 2011.

HIBBELER, R. C. Resistência dos Materiais. 5ª. ed. [S.l.]: Pearson Prentice Hall, 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola.** Rio de Janeiro: IBGE, 2015. v.29, p.1-83.

JHON, V. M.; CINCOTTO, M. A.; SJOSTROM, C.; AGOPYAN, V.; OLIVEIRA, C. T.

JUNIOR H. S. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo.** São Paulo: USP, 2000.

A. Durability of slag mortar reinforced with coconut fibre. **Cement & Concrete Composites**, v.27, p. 565-574, 2005.

LIMA, J. A. R. **Avaliação das consequências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas.** 2010. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

METHA, P.K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

PALHETA, E. R. S.; PORTELA, C. S. A.; CARVALHO, A. B. L.; CABRA, A. E. B. **Avaliação experimental da adição de fibras naturais da Casca do coco babaçu como reforço de matriz cimentícia.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 54., 2012, Maceió. Anais... Maceió: IBRACON, 2012. 13p.

PEREIRA, C. L.; SAVASTANO JUNIOR. H.; PAYÁ, J.; SANTOS, S. F.; BORRACHERO, M. V.; MONZÓ, J.; SORIANO, L. **Use of highly reactive rice husk ash in the production of cement matrix reinforced with green coconut fiber.** **Industrial Crops and Products**, v. 49, p. 88-96, 2013.

RAMIRES, A. R.; CASTILHO, F. C.; DOMINGUES, V. J. M.; GUSMAN, M. O. **Thermal conductivity of coconut fibre filled ferrocement sandwich panels.** **Construction and Building Materials**, v. 37, p. 425-431, 2012.

RAMLI, M.; KWAN, W. H.; ABAS, N. F. **Strength and durability of coconut-fiberreinforced concrete in aggressive environments.** **Construction and Building Materials**, v. 38, p. 554-566, 2013.

REIS, J. M. L. **Fracture and flexural characterization of natural fiber-reinforced polymer concrete.** **Construction and Building Materials**, v.20, p. 6733-678, 2006.

RODRÍGUEZ, N. J.; LIMÓN, M. Y.; MICELI, F. A.; GUSMAN, O. G.; ORTIZ, T. P. M.; RIVERA, L. L.; FEIJOO, J. A. V. Assessment of coconut fibre insulation characteristics and its use to modulate temperatures in concrete slabs with the aid of a finite element methodology. **Energy and Buildings**, v.43, p. 1264-1272, 2011.

ROSSI, P. Ultra-High-Performance Fiber Reinforced Concretes. **Concrete Institute**, v. 33, n. 12, p. 46-52, 2001.

SATYNARAYANA, K. G. et. Al. (1990). **Natural fibre** – polymer composites. *Cement & concrete composites*, Essex, v.12, n.2, p. 117-136.

SINDUSCON. Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil**. São Paulo: SINDUCONS-SP, 2005. 48 p.

SNIC. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. **Relatório anual** 2015. Rio de Janeiro, SNIC, 2014. 46 p. Disponível em: <<http://www.snic.org.br>>. Acesso em: 18 Out. 2019.

SILVA, R. V. Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais, São Carlos: USP, 2003.

SILVA, I. I. S. A.; LAGO, L. B.; SOARES, J. P.; SOUZA, P. S. L. **Avaliação do uso de fibra de coco em compósitos cimentícios**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 50., 2008, Salvador. Anais... Salvador: IBRACON, 2008. 17p.

SILVA, E. J.; MARQUES, M. L.; FORNARI JUNIOR, C. **Aplicação de fibra de coco em matrizes cimentícias**. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 8, p. 1555-1561, 2012.

SILVA, E.; MARQUES, M. L.; JUNIOR, C, F.; VELASCO F. **Análise técnica para o reaproveitamento da fibra de coco na construção civil**. *Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, 2015.

SIVARAJA, M.; KANDASAMY; VELMANI, N.; SUDHAKARAN PILLAI, M. **Study on durability of natural fibre concrete composites using mechanical**

strength and microstructural properties. Bulletin of Materials Science, v.33, n.6, p.719-729, 2010.

SINDCOCO. Boletim Conjuntural - **Importações de coco ralado e de água de coco.** Novembro de 2017; Novembro de 2018. Disponível em: <<http://www.sindcoco.com.br>>. Acesso em: 11 dez. 2018.

TONOLI, G.H.D.; SANTOS, S.F.; JOAQUIM, A.P.; SAVASTANO JR., H. Effect of accelerated carbonation on cementitious roofing tiles reinforced with Lignocellulosic fibre. **Construction and Building Materials**, v.24, p.193-201, 2010.

TONOLI, G. H. D.; SAVATANO Jr., H.; SANTOS, S. F.; DIAS, C. M.; JOHN, V. M.; LAHR, F. A. R. Hybrid reinforcement of sisal and polypropylene fibres in cement based composites. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 23, p. 177-187, 2011.

TONOLI, G. H. D.; TEIXEIRA, E. M.; CORREA, A. C.; MARCONCINI, J. M.; CAIXETA, L. A.; PEREIRA-DA-SILVA, M. A.; MATTOSO, L.H.C. Cellulose micro/nanofibers from Eucalyptus Kraft pulp: preparation and properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 89, 80-88, 2012.

TONOLI, G. H. D.; BELGACEM, M. N.; BRAS, J.; PEREIRA-DASILVA, M.A.; ROCCO LAHR, F. A. Impact of bleaching pine fibre on the fibre/cement interface. **Journal of Materials Science**, v. 47 (9), p. 4167-4177, 2012.

TONOLI, G. H. D.; BELGACEM, M. N.; SIQUEIRA, G.; BRAS, J.; SAVASTANO JR., H.; ROCCO LAHR, F. A. Processing and dimensional changes of cement based composites reinforced with surface-treated cellulose fibres. **Cement and Concrete Composites**, v. 37, p. 68-75, 2013.

TOLÊDO Filho, R.D. Materiais compósitos reforçados com fibras naturais vegetais. In: Tolêdo Filho, R.D.; Nascimento, J.W.B.; Ghavami, K. (coord.). **Materiais não convencionais para construções rurais.** Campina Grande, UFPB/SBEA, 1997. cap.2, p.49-82.

VASCONCELOS, Tomás Barros. **Efeitos da anisotropia e descontinuidades geométricas em PRFV**. 2018. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

Wang, S.-D., Pu, X.-C.; Scrivener, K.L.; Pratt, P.L. Alkali-activated slag cement and concrete: a review of properties and problems. *Advances in cement research*, v.7, p.93-102, July 1995.