

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**MARCELO HENRIQUE BARBOSA  
ALINE DE OLIVEIRA ARAÚJO**

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO  
CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE BAMBU  
INCORPORADAS**

**ANÁPOLIS / GO  
2018**

**MARCELO HENRIQUE BARBOSA  
ALINE DE OLIVEIRA ARAÚJO**

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO  
CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE BAMBU  
INCORPORADAS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADORA: WANESSA MESQUITA GODOI  
QUARESMA**

**ANÁPOLIS / GO: 2018**

## FICHA CATALOGRÁFICA

BARBOSA, MARCELO HENRIQUE / ARAÚJO, ALINE DE OLIVEIRA.

Análise do Comportamento Mecânico do Concreto Reforçado com Fibras de Bambu Incorporadas

71 P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC – UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- |                          |  |
|--------------------------|--|
| 1. Concreto Convencional | 2. Concreto Reforçado com Fibras de Bambu (CRFB) |
| 3. Adição                | 4. Resistência                                   |
| I. ENC/UNI               | II. Título (Série)                               |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BARBOSA, Marcelo Henrique; ARAÚJO, Aline de Oliveira. Análise do Comportamento Mecânico do Concreto Reforçado com Fibras de Bambu Incorporado. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 71 p. 2018.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Marcelo Henrique Barbosa

Aline de Oliveira Araújo

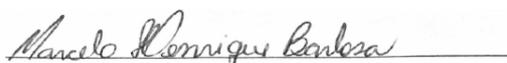
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Análise do Comportamento Mecânico do Concreto Reforçado com Fibras de Bambu Incorporado

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2018

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Marcelo Henrique Barbosa

E-mail: marcelo.1m@hotmail.com



Aline de Oliveira Araújo

E-mail: allynne82@hotmail.com

**MARCELO HENRIQUE BARBOSA  
ALINE DE OLIVEIRA ARAÚJO**

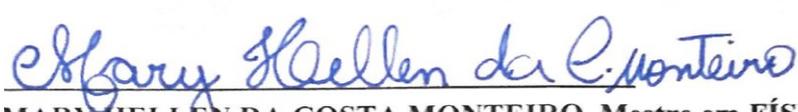
**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO  
CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE BAMBU  
INCORPORADAS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

**APROVADO POR:**

  
\_\_\_\_\_  
**WANESSA MESQUITA GODOI QUARESMA, Mestre em Eng. Civil (UniEvangélica)  
(ORIENTADORA)**

  
\_\_\_\_\_  
**AGNALDO ANTÔNIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Especialista em Eng.Civil  
(UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

  
\_\_\_\_\_  
**MARY HELLEN DA COSTA MONTEIRO, Mestre em FÍSICA (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 08 de JUNHO de 2018.**

Dedico este trabalho a meu pai que com muito  
amor e trabalho me conduziu até aqui.

Aline de Oliveira Araújo

Dedico este trabalho a Deus, por até aqui ter  
me ajudado, autor do meu destino, meu guia,  
socorro nas horas de angústia.

Marcelo Henrique Barbosa

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me dado forças para chegar até aqui. Ao meu pai, por ter sido o meu grande mestre, a quem devo tudo que sou.

A minha mãe por jamais ter me deixando desistir dos meus objetivos, pelo apoio, o amor infinito, e por ter segurado a minha mão quando tudo parecia perdido. Agradeço por terem me ensinado que o conhecimento é a única riqueza que jamais poderá ser tirada de nós.

A minha querida avó Gertrudes, a meus amigos que sonharam junto comigo.

Agradeço a todos que contribuíram para a conclusão desta etapa de minha formação, diretores, coordenadores, e todos os professores em especial a minha orientadora Wanessa Mesquita, pelo seu conhecimento e paciência.

Aline de Oliveira Araújo

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por apesar das circunstâncias e de algo que era impossível ter-me trago até aqui. Aos meus pais, por ter sido minha inspiração de vida.

Agradeço a professora Sra. Mestre em engenharia civil Wanessa Mesquita Godoi Quaresma, pelas correções, pelas orientações, pelo seu desprendimento e amizade sincera.

Agradeço as meus amigos pelo incentivo pelas experiências, acertos e erros compartilhados na vida acadêmica.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

Marcelo Henrique Barbosa

## **RESUMO**

A utilização do bambu tem também o caráter ecológico, já que a planta é bastante renovável. O rápido desenvolvimento vegetativo da planta proporciona colheitas de ciclos curtos, de dois a quatro anos com altos níveis de produção. Neste trabalho, apresenta-se o estudo da resistência mecânica do concreto reforçado com fibras de bambu incorporado. Será considerada além do objetivo a hipótese de que o concreto incorporado com fibras de bambu apresenta melhor resistência à compressão do que o concreto convencional. Serão realizados os testes de resistência à compressão axial e de tração por compressão diametral para as idades de 7, 28 e 63 dias sempre com prova e contraprova para obtermos confiabilidade nos resultados obtidos, para o concreto reforçado com fibras de bambu (CRFB) e o concreto convencional. Conclui-se que o CRFB apresentou melhor resistência comparada ao concreto convencional, um aumento de aproximadamente 3,0% e sugere-se como pesquisas futuras: garantir as propriedades físicas das fibras de bambu, como o peso específico, diâmetro dos colmos e espessuras das paredes de forma estatística, assegurando qualidade e dados confiáveis para um possível dimensionamento e utilização com função estrutural.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Fibras de bambu. Compressão axial. Tração por compressão diametral.

## **ABSTRACT**

The utilization of has already the ecological character even though the plant is renewable enough. That the accelerated vegetal development of plant provides harvesting short cycles, from two to four years with high levels of production. In this academic project, introduces the study of the mechanical resistance of the concrete reinforced with bamboo fibers incorporated. It will be considered beyond objective the hypothesis that the mechanical resistance of the concrete reinforced with bamboo fibers shows a better resistance by the compression than the conventional concrete. There will be accomplished resistance tests by the axial compression and the traction by diametric compression for the period of 7, 28 and 63 days all of them with evidence and counterevidence to get reliability in the results obtained, for the concrete reinforced with bamboo fibers and the conventional concrete. It concludes that the concrete reinforced with bamboo fibers showed a better resistance compared to the conventional concrete, an increase of 3,0 %. It suggests as futures researches like: guarantee the physical properties of bamboo fibers like the specific gravity, diameter and thickness of bamboo stems in a statistic way, ensuring quality and reliable data for a possible sizing and utilization with structural function.

### **KEYWORDS:**

Bamboo fibers. Axial compression. Traction by diametric compression.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – <i>Bambusa Vulgaris</i> .....	21
Figura 2 – Partes comuns às espécies do bambu .....	22
Figura 3 – Mesoestrutura e Microestrutura, respectivamente .....	23
Figura 4 – Varias espessuras de colmo de bambu .....	24
Figura 5 – Colmos de bambu assados e cortados. ....	26
Figura 6 – Confecção manual fibras com auxilio de uma faca. ....	27
Figura 7 – Divisões do colmo de bambu até espessura desejada. ....	27
Figura 8 – Fibra de bambu e fibra de aço industrial .....	28
Figura 9 – Laboratório centro tecnológico da UniEvangélica.....	28
Figura 10 – Preparação dos corpos de prova .....	29
Figura 11 – Confecção dos corpos de prova .....	29
Figura 12 – (a) Amostra de areia em água por 24 horas. (b) Amostra de areia após ser retirada da água e colocada sobre superfície plana para secar.....	32
Figura 13 – (a) Ensaio da areia no molde tronco-cônico. (b) Agregado após a retirada do molde. ....	32
Figura 14 – (a) Frasco aferido. (b) Frasco com agregado e água. ....	33
Figura 15 – (a) Amostra em banho de 21°C por 1 hora. (b) Amostra depois de secar em estufa. ....	33
Figura 16 – (a) Amostra de brita 0 em água por 24 horas. (b) Amostra de brita 0 após ser retirada da água e colocada sobre superfície plana para secar. ....	34
Figura 17 – (a) Suporte para pesar a amostra submersa em água. (b) Amostra seca na estufa a 105°C.....	34
Figura 18 – (a) Recipiente cilíndrico, haste de adensamento e areia usados no ensaio. (b) Recipiente com brita 0.....	35
Figura 19 – (a) Conjunto de peneiras e agitador mecânico para ensaio de granulometria de agregado miúdo. (b) Porcentagem de areia retirada em uma das peneiras do conjunto.....	36
Figura 20 – (a) Brita 0 nas peneiras e agitador mecânico. (b) Conjunto de peneiras para ensaio granulométrico de agregado graúdo. ....	37
Figura 21 – (a) Molde tronco de cone e placa base. (b) Realização do ensaio de abatimento.....	38
Figura 22 – Abatimento do concreto medido pela diferença entre a altura do molde e altura do eixo do corpo de prova desmoldado. ....	39
Figura 23 – Confecção dos corpos de prova .....	42

Figura 24 – Peso em gramas das fibras de bambu de forma experimental. ....	53
Figura 25 – Confeção no carrinho de mão do traço.....	54
Figura 26 – (a) Primeira camada de concreto sendo compactada no molde de 100x200 mm. (b) Corpos de prova prontos e etiquetados. ....	54
Figura 27 – Corpos de prova na camara fria. ....	55
Figura 28 – (a) Rompimento dos corpos de prova em prensa de compressão axial. (b) Corpos de prova após ser submetido a compressão axial. ....	55
Figura 29 – (a) Rompimento dos corpos de prova em prensa de tração por compressão diametral. (b) Corpos de prova após ser submetido a tração por compressão diametral. ....	56
Figura 30 – Gráfico comparativo da resistência à compressão axial do concreto convencional e do concreto reforçado com fibras de bambu.....	59
Figura 31 – Gráfico comparativo da resistência à tração por compressão diametral do concreto convencional e do concreto reforçado com fibras de bambu. ....	60
Figura 32 – Determinação da resistência à compressão axial e tração por compressão diametral em corpos cilíndricos.....	60

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Número de corpo de provas para compressão axial .....	30
Tabela 2 – Dados para cálculo da massa unitária do agregado miúdo.....	44
Tabela 3 – Massa unitária do agregado miúdo.....	45
Tabela 4 – Dados para cálculo da massa específica do agregado miúdo .....	45
Tabela 5 – Massa específica do agregado miúdo.....	47
Tabela 6 – Granulometria amostra 1 do agregado miúdo.....	47
Tabela 7 – Granulometria amostra 2 do agregado miúdo.....	47
Tabela 8 – Granulometria média das amostras 2 e e agregado miúdo.....	48
Tabela 9 – Dados para cálculo da massa unitária da brita 0.....	48
Tabela 10 – Massa unitária brita 0.....	49
Tabela 11 – Dados para cálculo da massa específica da brita 0.....	49
Tabela 12 – Massa específica brita 0.....	50
Tabela 13 – Granulometria amostra 1 da brita 0.....	51
Tabela 14 – Granulometria amostra 2 da brita 0.....	51
Tabela 15 – Granulometria média das amostras 1 e 2 brita 0.....	52
Tabela 16 – Todos os resultados para o ensaio de compressão axial, prova e contraprova de acordo com as idades de ruptura.....	56
Tabela 17 – Todos os resultados para o ensaio de tração para compressão diametral, prova e contraprova de acordo com as idades de ruptura.....	57
Tabela 18 – Ensaio de compressão axial concreto convencional e concreto reforçado com fibras de bambu (CRFB) para a idade de 7 dias.....	57
Tabela 19 – Ensaio de tração para compressão diametral concreto convencional e concreto com fibras de bambu (CRFB) para a idade de 7 dias.....	57
Tabela 20 – Ensaio de compressão axial concreto convencional e concreto reforçado com fibras de bambu (CRFB) para a idade de 28 dias.....	58
Tabela 21 – Ensaio de tração para compressão diametral concreto convencional e concreto com fibras de bambu (CRFB) para a idade de 28 dias.....	58
Tabela 22 – Ensaio de compressão axial concreto convencional e concreto reforçado com fibras de bambu (CRFB) para a idade de 63 dias.....	58
Tabela 23 – Ensaio de tração para compressão diametral concreto convencional e concreto com fibras de bambu (CRFB) para a idade de 63 dias.....	58

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas,
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland,
CRF	Concreto Reforçado com Fibras,
CRFB	Concreto Reforçado com Fibras de Bambu,
A/C	Relação água/cimento,
CP	Cimento Portland,
F <sub>cj</sub>	Resistência média do concreto à compressão a j dias de idade,
F <sub>ck</sub>	Resistência característica do concreto à compressão,
IBRACON	Instituto dos Auditores Independentes do Brasil,
ISO	International Organization for Standardization,
MU	Massa Unitária,
NBR	Norma Brasileira,
NM	Norma Mercosur,
ONG's	Organizações Não Governamentais,
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos,
RCC	Resíduos da Construção Civil,
RCD	Resíduos da Construção e Demolição,
RILEM	Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, systemes de construction et ouvrages,
RSCD	Resíduos Sólidos da Construção e Demolição,
S <sub>d</sub>	Desvio-padrão da dosagem,
SP	São Paulo,
TUM	Traço Unitário em Massa.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	14
1.2 JUSTIFICATIVA .....	15
1.3 OBJETIVOS .....	15
<b>1.3.1 objetivos gerais</b> .....	<b>15</b>
<b>1.2.2 objetivos específicos</b> .....	<b>15</b>
1.4 METODOLOGIA .....	16
1.5 ESTUTURA DO TRABALHO.....	16
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
2.1 CONCRETO.....	17
<b>2.1.1 Propriedades do concreto fresco</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1.2 Propriedades do concreto endurecido</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1.3 Massa específica</b> .....	<b>19</b>
2.2 BAMBU .....	19
<b>2.2.1 Características</b> .....	<b>21</b>
2.3 FIBRAS NATURAIS .....	24
2.4 NORMATIZAÇÃO.....	25
<b>3 PROGRAMA EXPERIMENTAL</b> .....	<b>26</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS .....	26
3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL .....	28
<b>3.2.1 Caracterização dos materiais</b> .....	<b>31</b>
3.2.2.1 Massa específica dos agregados segundo NBR NM 52:2009 e a NBR NM 53:2009.	31
3.2.2.2 Massa unitária dos agregados segundo NBR NM 45:2006.....	35
3.2.2.3 Determinação da composição granulométrica segundo a NBR 248:2003 .....	36
3.2.2.4 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco cone segundo a NBR NM 65:1998 .....	37
3.2.2.5 Resistência à compressão axial em concretos segundo a NBR 3739:2007.....	39
3.2.2.6 Resistência à tração por compressão diametral em concretos segundo a NBR 7222:2011 .....	42

<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>44</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	44
4.1.1 Agregado miúdo (areia) .....	44
4.1.2 Agregado graúdo (Brita 0).....	48
4.2 ESCRITA DO TRAÇO .....	52
4.3 ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL E TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	60
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>62</b>
5.1 PROPOSTAS PARA FUTUROS ESTUDOS.....	62
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>64</b>
<b>APÊNDICE A – Cálculo do traço do concreto pelo método da ABCP.....</b>	<b>68</b>

# 1 INTRODUÇÃO

No capítulo de introdução serão apresentados os estudos e argumentações que deram início a este trabalho. Apresenta-se uma contextualização, breve histórico; justificativa sobre o tema trabalhado, exposição dos objetivos e por fim, é descrita a estruturação do texto aqui apresentado.

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Nas civilizações primitivas, o homem utilizou como materiais de construção a pedra, a madeira e o barro. Aos poucos foram aumentando as exigências, passando a demandar materiais de maior resistência, maior durabilidade e melhor aparência. Assim surgiu o concreto, trabalhável como barro e resistente como pedra (FRANCZAK & PREVEDELLO, 2012).

Composto por cimento, água, e agregados e tendo como principal característica a resistência ao esforço de compressão. O concreto é o material construtivo mais utilizado no mundo, de acordo com o Instituto brasileiro de Concreto – (IBRACON, 2010, p.1599), o uso de materiais reforçados com fibras se amplia rapidamente em razão do bom comportamento mecânico a partir da adição de tais fibras.

Sabendo-se que o uso de materiais fibrosos na construção Civil remonta a antiguidade seu uso, de fato, se deu a partir da introdução do cimento-amianto no mercado no começo do século XX, sem haver estudos sobre seu comportamento. Pesquisas acerca do uso do cimento-amianto se deu a partir de 1960, nos países desenvolvidos nesta data também foram estudadas matrizes de cimento com fibras artificiais de aço, vidro e as de plástico, principalmente de polipropileno. Em meados de 1970, produtos com adição de fibras artificiais começaram a ser comercializados. As fibras vegetais tiveram início com pesquisas nada encorajadoras em meados de 1970, com a utilização de matrizes cimentícias incorporadas com sisal, a partir de 1979 outras pesquisas com a utilização de fibras de coco, bagaço de cana, juta, madeira, bambu, e outras plantas africanas começaram a ser desenvolvidas e obter resultados otimistas. De acordo com Coutts (1992, p.10) um exemplo de sucesso comercial no Brasil foi o emprego de polpa de celulose incorporado em materiais cimentícios no início da década de 1980.

O bambu é uma planta que pertence à família das gramíneas. Na antiguidade era utilizado, pelos asiáticos, como material construtivo. Hoje apresenta caractere decorativo mais estudos das propriedades mecânicas de suas fibras, sobretudo a resistência à tração viabilizam o uso do bambu na construção civil (ABMTENC, 2014).

A utilização do bambu tem também o caráter ecológico, já que a planta é bastante renovável. Beraldo e Azzini (2004) explicam que o rápido desenvolvimento vegetativo da planta proporciona colheitas de ciclos curtos, de dois a quatro anos com altos níveis de produção.

Neste trabalho, apresenta-se o estudo da resistência mecânica do concreto reforçado com fibras de bambu incorporado.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O concreto é o elemento mais usado no ramo da construção civil no mundo, só perde para a água. Cada vez mais há uma necessidade de alternativas ecológicas aliadas ao concreto. Estudos apontam o bambu como uma dessas alternativas. Uma vez que suas fibras proporcionam uma grande resistência à tração, à flexão e rigidez na direção longitudinal do bambu. A fração volumétrica das fibras varia ao longo da seção transversal do bambu, sendo que na parte mais externa a fração volumétrica é maior em relação à parte interna (KHOSROW e ALBANISE, 2005).

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo geral

Objetiva-se comparar o comportamento mecânico do concreto reforçado com fibras de bambu incorporada (CRFB) com o concreto convencional.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Informar de maneira didática sobre a adição de fibras vegetais ao concreto convencional, buscando contribuir para a formação dos acadêmicos, do curso de Engenharia

Civil, na área de construção civil, estruturas e materiais, possibilitando ao leitor uma visão mais ampla do tema dentro da engenharia civil e sociedade;

- Comparação do desempenho a resistência à compressão axial e diametral entre concreto reforçado com fibras de bambu incorporado e o concreto convencional.
- Análise comparativa dos resultados obtidos.

#### 1.4 METODOLOGIA

Tendo em vista atingir os objetivos propostos neste trabalho foi desenvolvido um roteiro experimental que contribuísse para o entendimento de fácil compreensão do acréscimo das fibras de bambu ao concreto. Desta forma, foram estudadas algumas propriedades do concreto convencional no estado fresco e endurecido, para os quais com o acréscimo das fibras vegetais do bambu, foram utilizados os mesmos métodos, a fim de permitir análise confiável nos valores de resistência à compressão diametral e axial.

#### 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O seguinte trabalho apresenta cinco capítulos. No capítulo 1 é apresentada uma breve introdução, onde se contextualiza o tema tratado, expõe os objetivos gerais e seus desdobramentos específicos, justificativa, bem como uma apresentação da metodologia a ser empregada e a estruturação do texto.

Logo, o capítulo 2 traz o referencial teórico onde será discutido o estudo da arte do concreto, os agregados, cimento e argamassa feitos com recursos naturais, também traz referencial teórico abordando o bambu, características físicas, mecânicas, anatômicas e composição de suas fibras, breve descrição e utilização de fibras naturais no capítulo, trata das principais normatizações utilizadas neste trabalho.

Já o capítulo 3 descreve o programa experimental do estudo, neste apresenta-se os materiais utilizados, os traços e porcentagens de agregados a serem utilizados e os métodos de análises adotados para realização dos ensaios.

Os resultados obtidos, as análises e discussões sobre o experimento são tratados no capítulo 4.

Por fim, o capítulo 5 é dedicado às considerações finais do trabalho e sugestões de trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica da monografia, subdividida em quatro tópicos: Concreto abrangendo propriedades do concreto fresco, propriedades do concreto endurecido, e massa específica; Bambu subdividido em características; Fibras naturais e Normatização. Tal revisão é de suma importância para o cumprimento e entendimento dos objetivos propostos pelo trabalho.

### 2.1 CONCRETO

“O concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade.” Segundo Isaia (2010, p.1) Para se tornar o produto mais fabricado pelo homem na atualidade demorou entorno de 200 anos desde a sua descoberta, destacam as seguintes razões para seu grande uso, matéria prima estar presente em praticamente todos os lugares do mundo, fácil trabalhabilidade, baixo custo dentre tantas outras vantagens.

Já utilizavam o concreto, antigas civilizações, como Grécia e Roma. A herança mais extraordinária que os romanos deixaram para quanto à técnica de construir foram às descobertas ao emprego correto das argamassas e concretos, fabricado e empregado em construções em grande escala (ISAIA, 2011, p.6).

Sendo o concreto um dos poucos materiais de construção em que os profissionais da área (Engenheiros civis e Arquitetos) têm acesso direto a sua produção, no canteiro de obras ou em impressas terceirizadas, podendo interferir diretamente nas especificações e produção do material (HELENE; ANDRADE, 2010, p.960). Para que estes profissionais possam interferir tecnicamente em sua produção são necessários conhecimentos básicos das especificações do concreto, proporção de seus constituintes, aplicação, durabilidade e funcionalidade.

Em seu trabalho fundamentos do concreto armado Dr. Basto (2006, p.1) caracteriza o concreto como um material composto, constituído por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita), e ar, sendo que pode conter adições (cinza volante, pozolanas, sílica ativa, etc.) e aditivos químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas.

De forma simplificada pode-se caracterizar que a pasta é o cimento misturado com a água, a argamassa é a pasta misturada com a areia, e o concreto é a argamassa misturada com a pedra ou brita, também chamado concreto simples ou concreto sem armaduras (BASTOS, 2006,p.2).

De maneira resumida, pode-se assegurar que o concreto é uma pedra artificial que se adapta à inventividade construtiva do homem (PEDROSO, 2009).

As vantagens de trabalhar com estruturas de concreto está relacionada à sua fácil execução, não dependendo de mão de obra com muita especialização para ser realizada, utilização de equipamentos simples para obras correntes e equipamentos mais sofisticados para obras de grande porte. Apresenta estruturas com durabilidade apropriada a agentes agressivos quando o concreto é bem projetado, dosado e executado, apresenta também a possibilidade de adição de resíduos industriais, pozolona, e agregados reciclados, entre outros subprodutos (ISAIA, 2011, p.31).

Mesmo com suas inúmeras vantagens o concreto tem determinados pontos negativos, como a pouca resistência à tração, peso próprio alto, suscetibilidade a variações volumétricas, mas adotando os devidos cuidados no projeto e execução essas desvantagens podem ser minimizadas (ISAIA, 2011, p.32).

### **2.1.1 Propriedades do concreto fresco**

“O concreto apresenta duas fases distintas, sendo a primeira fase, denominado de concreto fresco, compreendendo um período de tempo muito curto, em geral da ordem de 1h a 5h” (HELENE E ANDRADE, 2010, p. 929). Sendo este intervalo de tempo referente a sua produção, transporte, lançamento e adensamento.

O atual estágio de desenvolvimento da tecnologia da construção tem exigido uma correspondente melhoria na qualidade do concreto (SOBRAL, 2000, p.5). Segundo Sobral em sua publicação para ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland, 200, p.5), estas exigências de melhorias na qualidade do concreto fazem referencia ao concreto endurecido, sendo que o concreto ainda no estado plástico interessa apenas a fase construtiva, porém sabe-se que suas duas fases estão relacionadas. Métodos de lançamento, adensamento, consistência, dimensões máximas dos agregados e afastamentos das barras das armaduras, são exemplos de cuidados que devem se ter com o concreto em seu estado fresco, para obtenção do concreto endurecido de alta qualidade.

### **2.1.2 Propriedades do concreto endurecido**

Compreendendo a segunda fase do concreto endurecido, inicia-se com a hidratação do cimento e conseqüentemente endurecimento do concreto, estende-se a toda vida da estrutura.

Pinheiro, Murzado, Santos (2004, p.2.1) classificam as principais propriedades mecânicas do concreto: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade. A partir de ensaios normatizados e executados em condições específicas, essas propriedades são determinadas. Geralmente, os ensaios são realizados para controle da qualidade e atendimento às normas e constatações de cálculos.

Em seus estudos sobre as propriedades do concreto endurecido Helene e Andrade (2010, p.930) ressalta que o engenheiro projetista/ calculista, estipula uma resistência á compressão, associada a um nível de confiança de 95%.

### **2.1.3 Massa específica**

De acordo com a NBR 6118(ABNT, 2017), os concretos estruturais devem ter massa específica normal, depois de secos em estufa, compreendida entre 2000 kg/m<sup>3</sup> e 2800 kg/m<sup>3</sup>. A norma também ressalta que não se conhecendo a massa específica real, para efeitos de cálculo pode-se utilizar para o concreto simples o valor de 2400 kg/m<sup>3</sup> e para o concreto armado e protendido 2500 kg/m<sup>3</sup>. Sendo que pode-se utilizar o valor de 2500 kg/m<sup>3</sup> para os concretos leves com argila expandida, desde que atendam os limites mínimos de resistência.

## **2.2 BAMBU**

Antes da utilização do concreto, a descoberta do aço e a junção de ambos, os materiais empregados em elementos mecânicos e estruturais variavam entre diferentes localizações, pois sua utilização dependia da disponibilidade e a escolha era também influenciada por aspectos culturais e estéticos. (KHOSROW GHAVAMI &A.B. MARIANO, p.1, 2005).

A madeira é um dos recursos mais antigos utilizado pelo homem em suas atividades diárias (KIRK-OTHMER, 1998).

Em sua pesquisa propriedades físicas do colmo inteiro do bambu da espécie guadua angustifolia, Khosrow Ghavami & a.b. Mariano (2005, p.1), afirmam que de forma rústica

os materiais eram processados e utilizados em seu estado bruto, envolvendo um intenso trabalho, sendo muito comum a utilização de materiais localmente disponíveis como a pedra, algodão, madeira, terra crua e fibras naturais.

Com o início da industrialização dos produtos e a concentração populacional nos grandes centros urbanos, os materiais tradicionais foram, aos poucos, sendo substituídos por materiais industrializados (conhecidos como convencionais). Exemplos são o cimento Portland e o aço (KHOSROW GHAVAMI & A.B. MARIANO, p.1, 2005).

Segundo Oscar Hidalgo Lopes o bambu já era utilizado como elemento construtivo há milênios, e na América do Sul foi usado primeiro pelos povos indígenas. No entanto com o desgaste ao longo do tempo, a maioria dessas construções não resistiram. Ainda hoje a utilização do bambu na construção civil ainda é considerada novidade.

O bambu auxilia na retirada de tonelada de gás carbono do ar atmosférico, pois a planta tem um alto consumo grande deste gás. O material que possui ainda, propriedades mecânicas compatíveis às do concreto armado (PEREIRA E BERARDO, 2007).

Atualmente vem crescendo o número de pesquisas com foco na avaliação do desempenho do bambu em relação a sua resistência e durabilidade. Tais características já forem submetidas a testes em laboratórios por diversos pesquisadores (PEREIRA, 2007).

O bambu pertence à família das Gramíneas (*Gramineae* ou *Poaceae*) Subfamília *Bambusidae* estando dividida em duas tribos; a primeira é a *Bambuseae* que possuem espécimes de grande porte, xilemáticos (colmos lenhosos), e a segunda é a *Olyreae* que possuem espécimes de pequeno porte (herbáceos). O bambu tem ainda classificação cientificamente na Ordem *Poales*, Subclasse *Commelinidae*, Classe *Liliopsida*, Divisão *Magnoliophyta*, Superdivisão *spermatophyta*, do Reino *Plantae* e Domínio *Eukaryota* (PEREIRA E BERARDO, 2007).

Segundo Oscar Hidalgo Lopes (2003), a origem do Bambu está o final do período Cretáceo e início do período Terciário, em torno de 65 milhões de anos atrás. No Equador Sítios arqueológicos mostram que há cerca de 5000 anos o Bambu já era utilizado na América do Sul.

De acordo com a FAO (2007) a Ásia é o maior produtor de bambu com 65% das reservas mundiais sendo que a Índia e a China detêm 70% dessa matéria prima.

O Brasil é o país que detém a maior diversidade de espécies e áreas de florestas de bambu da América (FILGUEIRAS E GONÇALVES, 2004).

O bambu é predominantemente encontrado em zonas temperadas e tropicais, onde há temperaturas elevadas e maior ocorrência de chuvas, tais condições favorecem o desenvolvimento de parte das espécies do Bambu (PEREIRA E BERALDO, 2007).

### 2.2.1 Características

Liese (1980) afirma que anatomicamente, o bambu é constituído por 40% de fibras, 50% de células parenquimosas e 10% de vasos. De acordo com Ghavami e Rodrigues (2000), a estrutura dos bambus pode ser considerada um material compósito constituído de fibras longas e bem alinhadas de celulose submergidas numa matriz de lignina. Suas fibras estão concentradas na espessura mais próximos da casca, dessa forma o material pode resistir às cargas do vento, que durante a vida do material são as mais constantemente solicitações.

Ferreira (1999) afirma que o corpo do bambu, caule, lenho ou vara, é o chamado “colmo”, caracterizado por entrenós distintos e nós bem demarcados, característica da família das gramíneas, comumente fistuloso (provido de cavidade central alongada).

Figura 1 – *Bambusa Vulgaris*



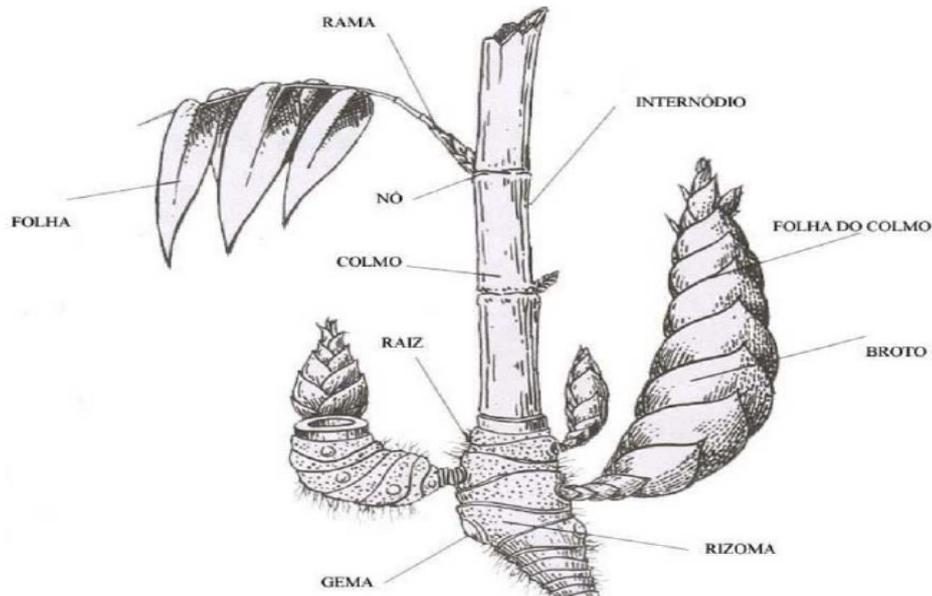
Fonte: (National Mission on Bamboo Applications – NMBA, 2004)

A estrutura de fibrosa do bambu, dispostas em feixes, se presta para esforços de tração axial, no entanto, sendo solicitado axialmente, devido suas fibras estarem submergidas em uma matriz de lignina, ocorre a ruptura por cisalhamento (CULZONI, 1986).

Figueira JR. (2011) apud Moreira (2011) afirmam que o que torna a extração do bambu sustentável é o fato de não se fazer o corte total de seus colmos, dessa forma cada plantação dura em torno de cem anos.

A figura 2 mostra partes comuns às espécies do Bambu.

**Figura 2 – Partes comuns às espécies do bambu**

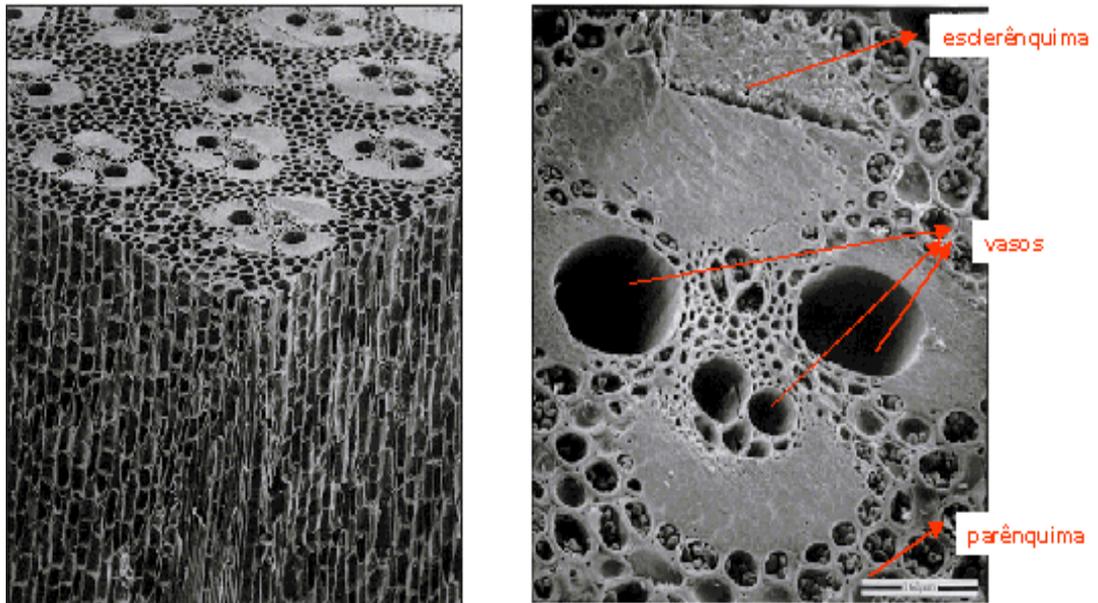


Fonte: (National Mission on Bamboo Applications – NMBA, 2004)

Em seu artigo *anatomy of bamboo* (1980), Liese evidencia que na parte externa os colmos de bambu se mostram longos e bastante flexíveis, e suas paredes possuem uma grande resistência à compressão, nem bambus maduros essa resistência pode chegar a ser maior que a do concreto. No entanto sua resistência à tração é a característica de maior destaque do bambu, podendo assim ser comparada à resistência do aço habitualmente usado na construção civil. Na parte externa, a superfície tem um composto de sílica e cera que são similares às cascas de árvores, e que proporciona uma camada protetora, retendo toda umidade interna e, proteção físico-mecânica da estrutura da planta.

Na parte interna, a composição do colmo do bambu está uma mistura de lignina e celulose: a lignina é uma substância normalmente encontrada nas paredes de células vegetais e que promove uma grande rigidez à planta, já a celulose é um polímero natural, de "cadeia longa", classificado como polissacarídeo. Este composto, lignina-celulose, está distribuído no colmo do bambu em grupos de fibras e vasos (LIESE, 1980).

**Figura 3 – Mesoestrutura e Microestrutura, respectivamente**



Fonte: (Liese, 1980).

Os vasos e veios encontrados na estrutura do bambu são incumbidos do transporte de nutrientes absorvidos pelas raízes para serem distribuídos para toda a planta. O corpo do bambu é bastante esbelto e alongado, e devido a estas características seus vasos e veios possuem um tecido de reforço (esclerênquima), que eleva eficientemente a resistência de sua estrutura (LIESE, 1980).

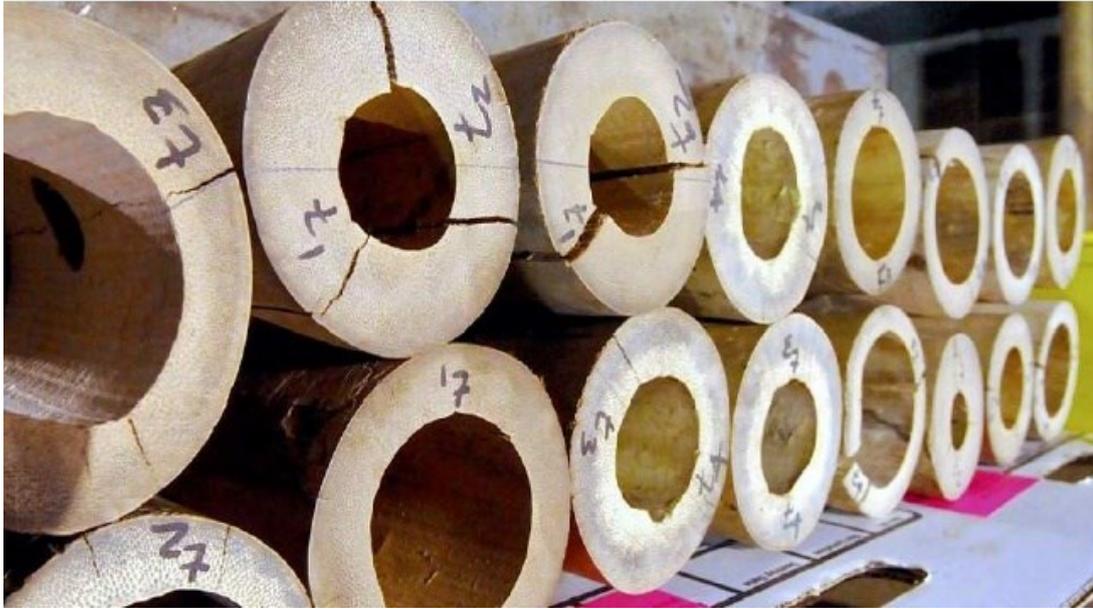
Nos colmos os conjuntos de vasos são os elementos que exibem uma maior variação ao longo da estrutura. A morfologia, as dimensões, a maneira e toda a rede vascular estão distribuídas e demonstram diferenças significativas. Assim como ao longo de todo corpo, os entrenós de um mesmo colmo de bambu, também têm variações de vasos (LIESE, 1980).

Segundo estudos realizados por Ghavami e Hombeeck (1981) onde, em ensaios laboratoriais de resistência a tensões, as partes de menor resistência e ruptura das dos colmos eram justamente nos nós, havendo assim a confirmação que é neste ponto em que as forças de tensão se concentram.

Entretanto, os nós conferem rigidez à estrutura, possibilitando-a resistir à flambagem lateral, uma vez que quase todo colmo tem uma forma longa e esguia. Ainda de acordo com estes estudos observou-se que nos bambus a parte que mais suportava cargas antes da ruptura é aquela mais próxima à base do colmo, em virtude à sua área de seção transversal, que é maior que no restante do colmo.

Dentre as inúmeras espécies já conhecidas de bambu as parte que mais se diferenciam são os colmo. O corpo destes espécimes possuem texturas, cores, extensão entrenós, alturas e diâmetros variados, e apresentam também distinções significativas em sua parte interna (GHAVAMI E MARINHO, 2005).

**Figura 4 – Varias espessuras de colmo de bambu**



Fonte: Gazette, 2018.

O uso do bambu em grande escala como material da construção civil pode ser viável do ponto de vista econômico e ecológico. Para possibilitar a industrialização deste material, fazem-se necessários estudos científicos sistemáticos, observando os processos de plantio, colheita, cura, tratamento e pós-tratamento. A obtenção de uma vasta quantidade de dados possibilita uma completa análise estatística das propriedades físicas e mecânicas do bambu. Somente a partir desses estudos, será possível estabelecer parâmetros sólidos de dimensionamento e o uso de processos industriais que viabilizariam o uso do bambu em grande escala (GHAVAMI E MARINHO, 2005).

### 2.3 FIBRAS NATURAIS

Originadas de processos naturais, ou seja, sem qualquer controle tecnológico, as fibras naturais possuem grande variabilidade em suas propriedades (SILVA, 2004).

Uma das principais características das fibras naturais é que algumas possuem consideráveis resistências à tração, é o caso das fibras de bambu (GUIMARÃES, 1987).

Os materiais de construção industrializados, mais comumente utilizados, possuem em suas composições insumos não renováveis que geram volumosos resíduos (BARBOSA 2005).

## 2.4 NORMATIZAÇÃO

As normas referentes ao concreto, sua fabricação, procedimentos e controle existem de forma abrangente e devem ser consultadas pelos profissionais que atuam na área, engenheiros e arquitetos, trabalhando direta ou indiretamente com estes materiais (HELENE; ANDRADE, 2010, p.927).

A norma NBR 6118 (ABNT, 2014) define procedimentos básicos para dimensionamento de estruturas de concreto simples, armado e protendido, cargas atuantes, durabilidade das estruturas de concreto, especificações do concreto em relação às condições de agressividade. A NBR 8953 (ABNT, 2015) especifica o concreto para fins estruturais por grupos de resistência à compressão.

NBR 5738 (ABNT, 2016) determina a moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto – Procedimental. NBR 5739 (ABNT, 2007) estabelece ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos - Método de ensaio – Procedimental. NBR 7222 (ABNT, 2010) estabelece regulamentações para determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.

De grande importância NBR 12655 (ABNT, 2015) estipula formas de preparo, controle e recebimento do concreto. Estabelece responsabilidades para a sua produção, critérios para seu recebimento e estocagem. Normatiza cálculos para dosagem e resistência característica, à compressão máxima adotada no projeto, em relação às condições de preparo do concreto.

### 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo é apresentado o processo de confecção dos corpos de prova para os testes mecânicos e visuais e a descrição do processo experimental.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS

Foram escolhidos os colmos de bambu fornecidos em empresa de trabalho artesanal especializada em bambu - Bambu Vime Decorações - na cidade de Anápolis-GO. Como observado na Figura 5. Os Colmos fornecidos pela empresa foram previamente assados logo as fibras utilizadas estavam desidratadas, característica peculiar utilizada a fim de blindar as fibras impedindo a interação da seiva ao concreto intervindo a relação água cimento.

**Figura 5 – Colmos de bambu assados e cortados.**



Fonte: Próprios autores, 2018.

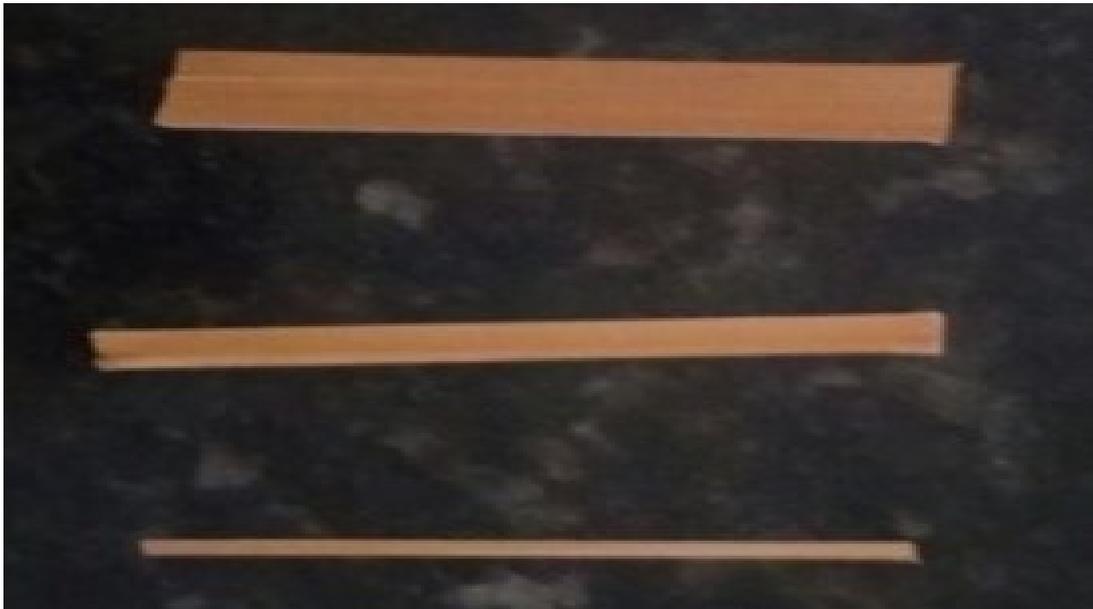
Medindo cerca de 50 cm de diâmetro os colmos assados foram cortados em quatro pedaços posteriormente divididos até alcançarmos pedaços de 7 cm, manualmente com o auxílio de uma faca, tendo como base a largura das fibras de aço material de origem Industrial. Como segue nas figuras abaixo.

**Figura 6 – Confeção manual fibras com auxílio de uma faca.**



Fonte: Próprios autores, 2018.

**Figura 7 – Divisões do colmo de bambu até espessura desejada.**



Fonte: Próprios autores, 2018.

**Figura 8 – Fibra de bambu e fibra de aço industrial**



Fonte: Próprios autores, 2018.

### 3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O experimento que protagonizou o estudo de caso deste trabalho foi conduzido no período de outubro de 2017 e janeiro de 2018, no laboratório CENTRO TECNOLÓGICO do Centro Universitário da Faculdade Evangélica de Anápolis, no município de Anápolis – GO (Figura 7). O local encontra-se na latitude  $16^{\circ} 19' 00''$ S e longitude  $48^{\circ} 57' 10''$ W, estando aproximadamente a 1017 m de altitude, apresentando um clima Aw, tropical de savana, megatérmico, no inverno apresenta menos pluviosidade que no verão, com temperatura média anual do ar de  $22,2^{\circ}\text{C}$ , precipitação média anual de 1441 mm, o mês mais seco é Junho e tem 7 mm de precipitação, a maioria da precipitação cai em Janeiro, com uma média de 245 mm. Dados esses relevantes para a caracterização do ambiente em que o experimento foi realizado.

**Figura 9 – Laboratório centro tecnológico da UniEvangélica**



Fonte: Próprios Autores, 2018.

Foi considerada para montagem do experimento a hipótese de que as fibras de bambu aumentariam a resistência mecânica do concreto convencional, conforme Correia et al (2015) em seu trabalho sobre Avaliação do Bioconcreto com Fibras Mineralizadas de Bambu.

Baseado nisso foi montado o plano experimental qualitativo de dois tratamentos (concreto convencional e concreto reforçado com fibras de bambu) para dois testes mecânicos (compressão axial e tração por compressão diametral), foi confeccionado vinte quatro corpos de prova para ter prova e contraprova de cada traço (Figura 8 e Figura 9).

**Figura 10 – Preparação dos corpos de prova**



Fonte: Próprios Autores, 2018.

**Figura 11 – Confeção dos corpos de prova**



Fonte: Próprios Autores, 2018.

E assim testar resistência axial a compressão e a resistência à tração por compressão diametral com idade de 7, 28 e 63 dias, conforme Tabela 1 abaixo.

**Tabela 1 – Número de corpo de provas para compressão axial**

<b>Resistências</b>	<b>Teste</b>	<b>Reforçado com fibras incorporadas</b>	<b>Convencional</b>
20 Mpa	Compressão axial	6	6
20 Mpa	Tração por compressão diametral	6	6

Fonte: Próprios Autores, 2018.

O processo de dosagem de concreto é importante para entendermos a influência do Cimento Portland e da água na resistência final do Concreto. Para o cálculo dos traços referente a resistência de 20 MPa utilizado o método de dosagem da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland).

Para realizar os cálculos pelo método ABCP primeiro é preciso conhecer as propriedades dos materiais que serão utilizados. O concreto simples é composto por cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água. O Cálculo é feito para 1 m<sup>3</sup> de concreto.

Pelo método ABCP, depois de obtidos os valores das massas específicas e massas unitárias dos materiais e tendo em mãos o fck e abatimento desejados, pode-se calcular o traço, procedimento este disponível no Apêndice A.

### **3.2.1 Equipamentos Utilizados**

Foram utilizados em todas as análises os seguintes instrumentos:

- Agitador mecânico de peneiras;
- Balanças;
- Balde;
- Bandejas metálicas retangulares;
- Câmara fria;
- Carro de mão;
- Cesto de arame com abertura de malha igual ou inferior a 3,35 mm;
- Concha;
- Corpo de prova 100x200 mm;

- Enxada;
- Escova;
- Estufa;
- Frasco aferido de 500 centímetros cúbicos;
- Funil de vidro;
- Haste de compactação metálica com superfície circular plana;
- Haste reta de aço, com 16 mm de diâmetro e 600 mm de comprimento;
- Molde tronco-cônico metálico de 40 mm de diâmetro superior, 90 mm de diâmetro inferior e 75 mm de altura, com espessura mínima de 1 mm;
- Molde tronco de cone com diâmetro inferior 200 mm e superior de 100 mm;
- Pá;
- Placa de base com dimensão de 500 mm;
- Peneiras serie normal e intermediaria com tampa e fundo de acordo com a NM-ISO 3310-1 e 2;
- Pincel;
- Prensa de compressão axial da Contenco;
- Recipiente cilíndrico metálico com alças;
- Tanque de água.

### **3.2.2 Caracterização dos materiais**

#### **3.2.2.1 Massa específica dos agregados segundo NBR NM 52:2009 e a NBR NM 53:2009**

Foi realizado a caracterização da massa específica para a areia e a brita 0 de acordo com as normas NBR NM 52:2009 e NBR NM 53:2009.

Para a massa específica da areia, uma amostra de 1 quilograma de areia foi colocada em um recipiente e coberta com água permanecendo em repouso por 24 horas, após este período a amostra foi retirada da água e colocada sobre uma superfície plana, onde secou naturalmente, sendo revolvida com frequência ver Figura 12.

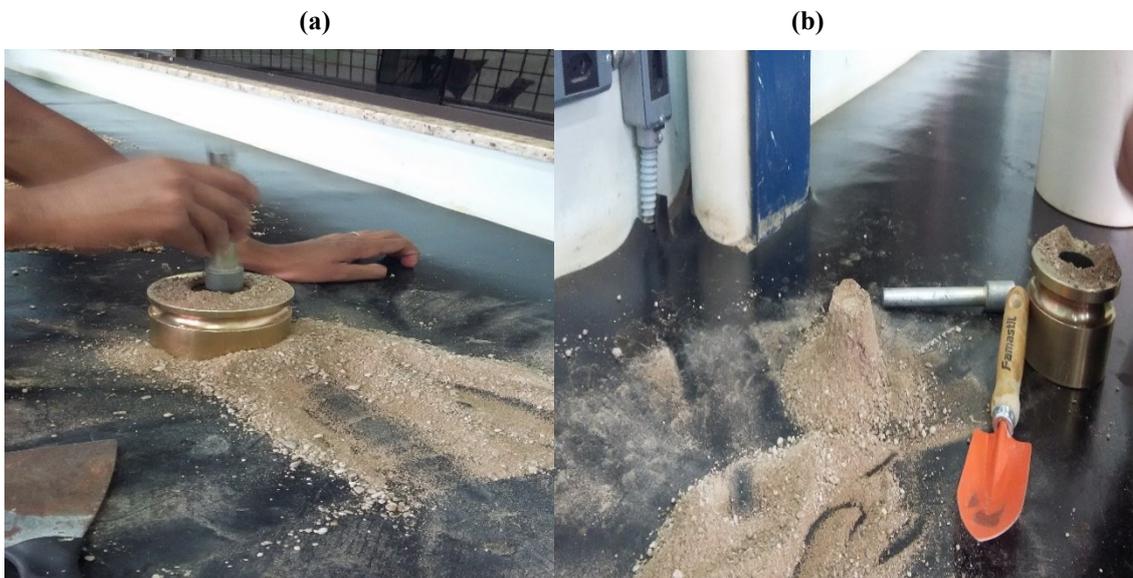
**Figura 12 – (a) Amostra de areia em água por 24 horas. (b) Amostra de areia após ser retirada da água e colocada sobre superfície plana para secar.**



Fonte: Próprios Autores, 2018.

O agregado foi colocado no molde tronco-cônico metálico de 40 mm de diâmetro superior, 90 mm de diâmetro inferior e 75 mm de altura, com espessura mínima de 1 mm; e sua superfície compactada suavemente com haste de compactação metálica, com 340 g de massa, tendo superfície de compactação circular plana de 25 mm de diâmetro; com 25 golpes, e então o molde foi levantado verticalmente para testar a umidade superficial do agregado, quando o cone do agregado desmoronar ao retirar o molde, neste momento o agregado terá chegado a condição de saturado superfície seca, tal teste assegura que o agregado tenha alguma umidade superficial, ver Figura 13.

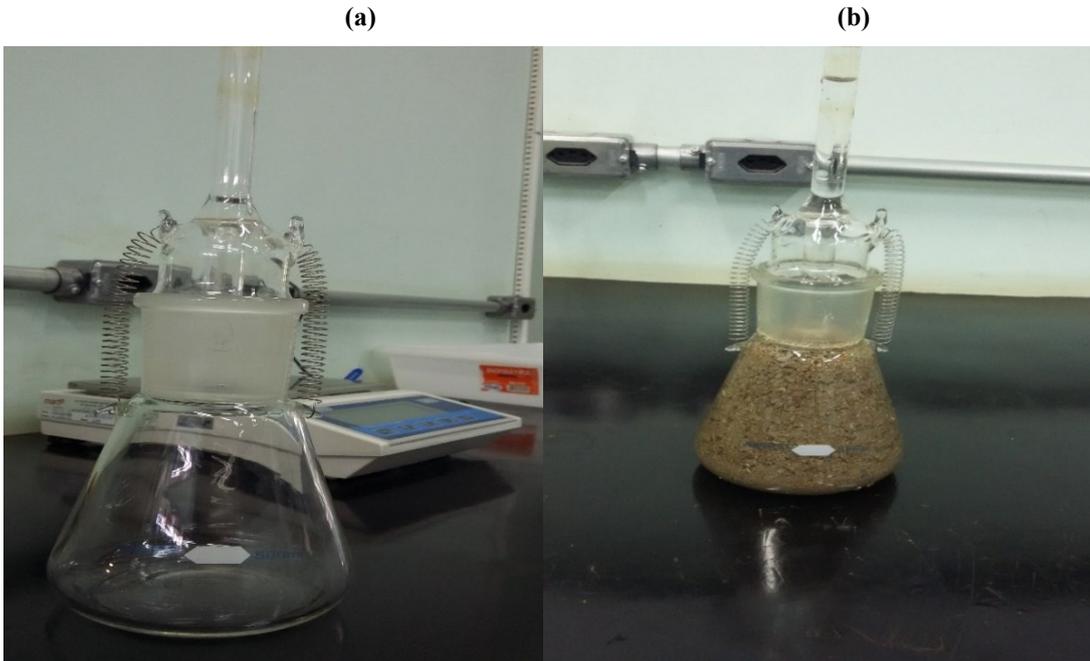
**Figura 13 – (a) Ensaio da areia no molde tronco-cônico. (b) Agregado após a retirada do molde.**



Fonte: Próprios Autores, 2018.

O procedimento consistiu em pesar 500 gramas de amostra (ms), colocá-la no frasco aferido de 500 centímetros cúbicos de capacidade e registrar a massa do conjunto (m1), depois encher o frasco com água até próxima da marca de 500 ml e movê-lo para eliminar as bolhas de ar, em seguida colocá-lo em banho mantido a temperatura constante de 21°C por 1 hora, ver figura 14.

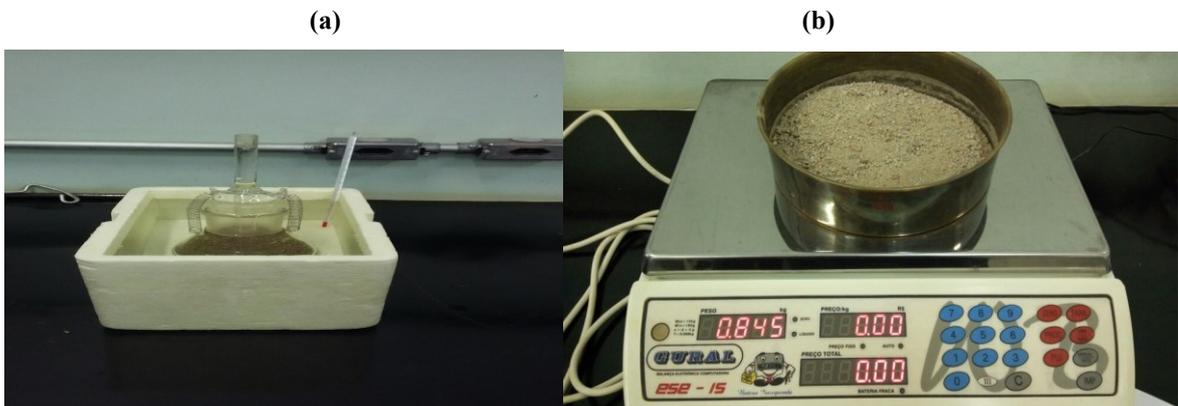
**Figura 14 – (a) Frasco aferido. (b) Frasco com agregado e água.**



Fonte: Próprios Autores, 2018.

Completar o frasco com água até a marca de 500 centímetros cúbicos e determinar a massa total ( $m^2$ ). Retirar o agregado miúdo do frasco e secá-lo na estufa a 105°C até massa constante, esfriar à temperatura ambiente e pesar ( $m$ ), ver Figura 15.

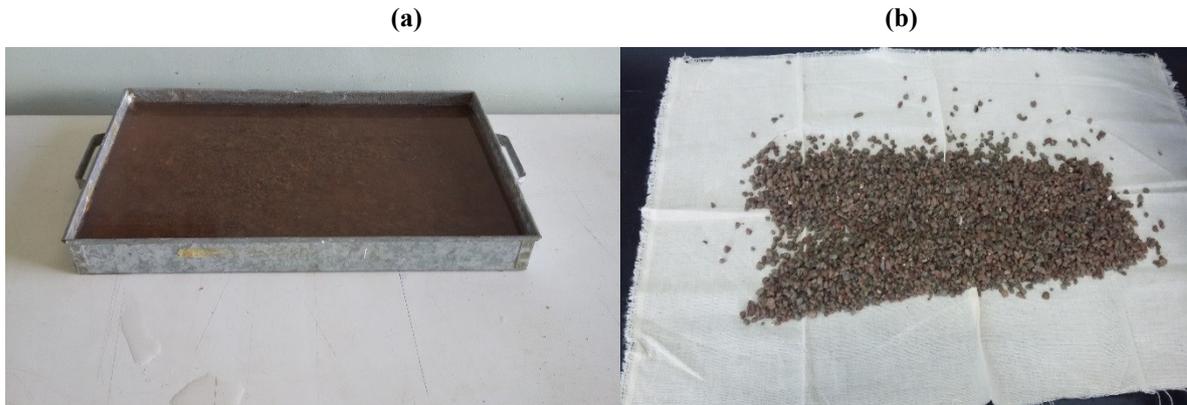
**Figura 15 – (a) Amostra em banho de 21°C por 1 hora. (b) Amostra depois de secar em estufa.**



Fonte: Próprios Autores, 2018.

Já para a massa específica da brita 0, foram separadas duas amostras de 2 quilogramas cada, após pesar colocou-se em um recipiente e cobriu com água permanecendo em repouso por 24 horas, retira-se a amostra da água e com um pano absorvente enxuga a amostra até que toda a água visível seja eliminada, mesmo que a superfície das partículas se apresente úmida, ver figura 16.

**Figura 16 – (a) Amostra de brita 0 em água por 24 horas. (b) Amostra de brita 0 após ser retirada da água e colocada sobre superfície plana para secar.**



Fonte: Próprios Autores, 2018.

Logo após ser enxugada, pesa-se a amostra ( $m_s$ ), e a coloca no cesto de arame e submerge em água e pesar em água ( $m_a$ ). Seca-se a amostra na estufa a  $105^{\circ}\text{C}$  até massa constante, esfriar até a temperatura ambiente por 1 a 3 horas e pesar novamente ( $m$ ), ver figura 17.

**Figura 17 – (a) Suporte para pesar a amostra submersa em água. (b) Amostra seca na estufa a  $105^{\circ}\text{C}$ .**



Fonte: Próprios Autores, 2018.

### 3.2.2.2 Massa unitária dos agregados segundo NBR NM 45:2006

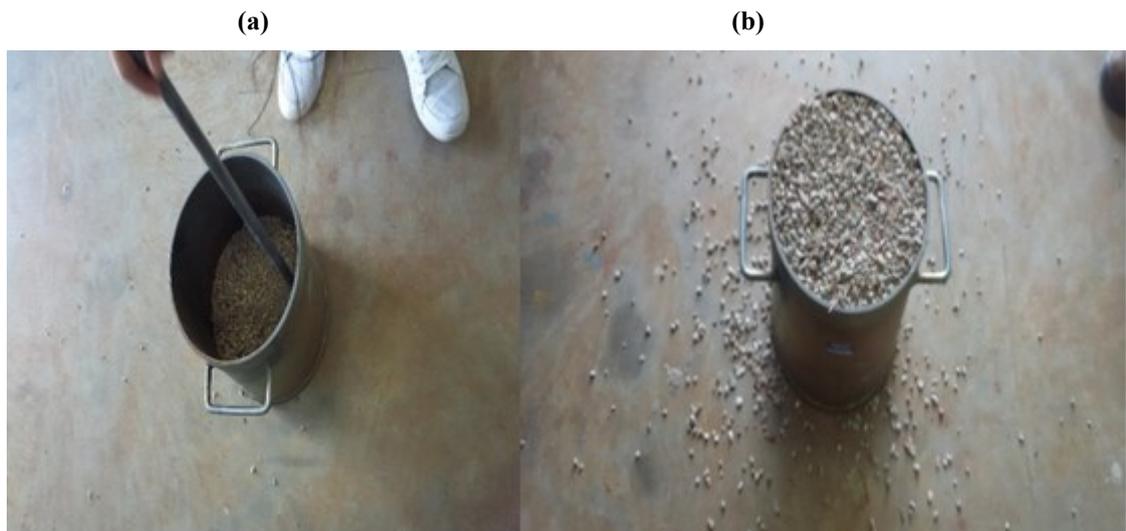
Assim como a massa específica para a massa unitária foi realizado a caracterização da areia e da brita 0 de acordo com a norma NBR NM 45 (ABNT, 2006)

A amostra de areia foi seca em estufa a 105°C por 24 horas, como o agregado possui dimensão máxima característica inferior a 37,5 mm foi empregado o “método A” da NBR NM 45:2006. Nesse método foi determinada e registrada a massa do recipiente cilíndrico vazio, com 27 centímetros de altura, 22 centímetros de diâmetro e volume de 0,01 metros cúbicos. A seguir, encheu-se o recipiente com o material até um terço de sua capacidade e o adensou com 25 golpes da haste de adensamento reta de aço, com 16 mm de diâmetro e 600 mm de comprimento, distribuídos uniformemente em toda a superfície do material.

Encheu novamente o recipiente até dois terços de sua capacidade e aplicou mais 25 golpes, por fim, terminou de encher totalmente o recipiente e aplicou mais 25 golpes. A camada superficial do agregado foi nivelada com uma espátula, de forma a rasá-la com a borda superior do recipiente. Foi registrada a massa do recipiente mais seu conteúdo.

O mesmo processo descrito para a areia foi realizado com a brita 0 para determinação de sua massa unitária, ver figura 18.

**Figura 18 – (a) Recipiente cilíndrico, haste de adensamento e areia usados no ensaio. (b) Recipiente com brita 0.**



Fonte: Próprios Autores, 2018.

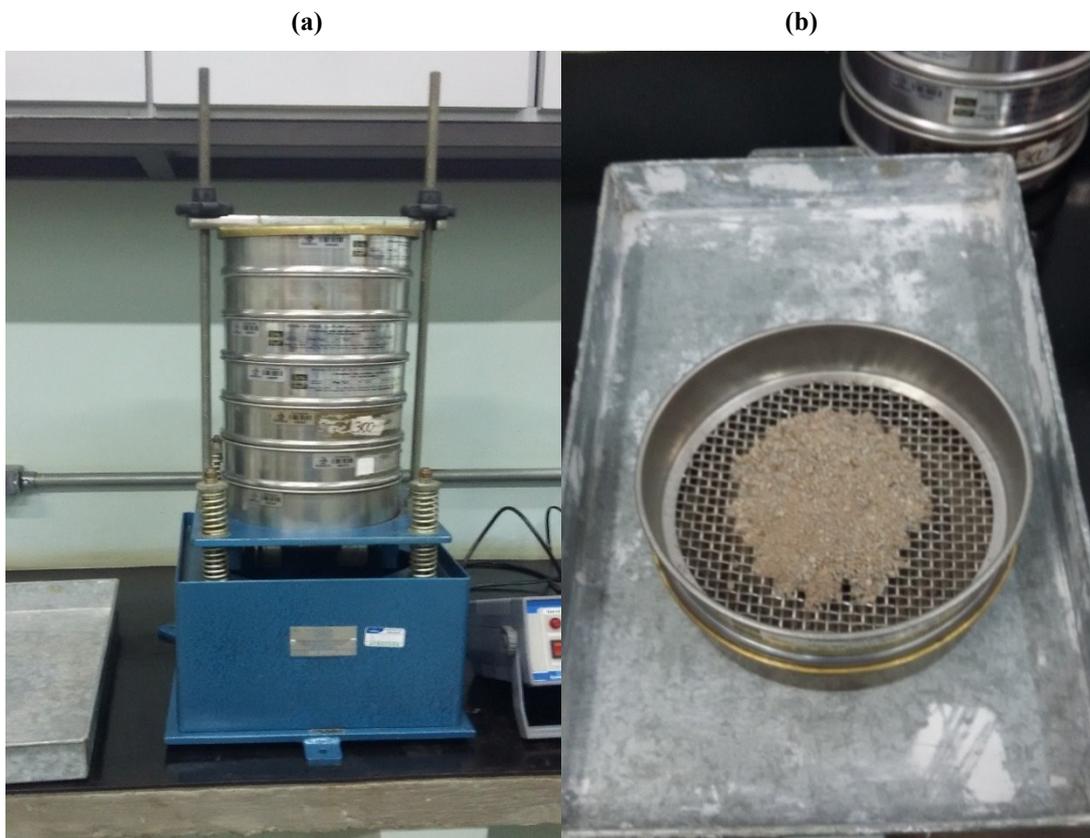
### 3.2.2.3 Determinação da composição granulométrica segundo a NBR NM 248:2003

Seguindo a NBR NM 248:2003 foi realizado o ensaio de granulometria para a brita 0 e areia.

Secou-se 1 kg de areia em estufa por 24 horas, que foi dividido em duas amostras de 500 gramas cada, cada amostra foi pesada após esfriar em temperatura ambiente e suas massas foram registradas ( $m_1$  e  $m_2$ ), as peneiras foram encaixadas formando um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente e provido de um fundo adequado para o conjunto.

Cada amostra foi ensaiada individualmente colocando a amostra na peneira superior do conjunto e colocando o conjunto no agitador mecânico por dois minutos cada peneira, após agita-las o material foi removido e colocado em uma bandeja circular, a malha foi escovada para retirar o material remanescente e pesou se o elemento retido em cada peneira. O procedimento deve ser repetindo para cada abertura de malha, ver figura 19.

**Figura 19 – (a) Conjunto de peneiras e agitador mecânico para ensaio de granulometria de agregado miúdo. (b) Porcentagem de areia retirada em uma das peneiras do conjunto.**



Fonte: Próprios Autores, 2018.

Para a brita 0 foi realizado o mesmo experimento descrito para a areia, mudando apenas o tamanho das peneiras e o agitador mecânico, e para cada amostra foi utilizado 2 quilogramas de agregado que foi colocado no peneirador por 1 minuto em cada peneira e registrado a massa retida em cada uma, ver figura 20.

**Figura 20 – (a) Brita 0 nas peneiras e agitador mecânico. (b) Conjunto de peneiras para ensaio granulométrico de agregado graúdo.**



Fonte: Próprios Autores, 2018.

#### 3.2.2.4 Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone segundo a NBR NM 67:1998

Para cada traço de concreto, produzido foi realizado o ensaio de abatimento do tronco de cone de acordo com a NBR NM 67:1998. Foi utilizado um molde de tronco cônico oco com as seguintes dimensões: diâmetro da base inferior de 200 mm, diâmetro da base superior de 100 mm e altura de 300 mm. Uma haste de compactação de seção circular, reta, feita de aço com diâmetro de 16 mm, comprimento de 600 mm e extremidades arredondadas. E para apoio do molde uma placa metálica, plana, quadrada com lados de dimensão não inferior a 500 mm e espessura igual ou superior a 3 mm.

Primeiro molhou-se o molde, a placa base e a haste, durante o preenchimento do molde com o concreto o operador se posicionou com os pés sobre as aletas do molde de forma a mantê-lo estável, o molde foi cheio em três camadas, cada uma com um terço da altura do molde e cada camada foi compactada com 25 golpes da haste de socamento, distribuídos uniformemente sobre cada camada.

Na camada superior colocou um excesso de concreto sobre a superfície do molde, após efetuar os golpes rasar a superfície do concreto com a haste de compactação. O molde foi retirado cuidadosamente, levantando-o na direção vertical em 10 segundos com movimento constante para cima. Logo após a retirada do molde, mediu-se o abatimento do concreto, através da diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo de prova desmoldado, ver figura 21.

**Figura 21 – (a) Molde tronco de cone e placa base. (b) Realização do ensaio de abatimento.**



Fonte: Próprios Autores, 2018.

O ensaio foi realizado para cada traço até atingir o abatimento esperado. O abatimento esperado pela NBR era de  $90 \pm 10$  mm, o abatimento obtido em cada traço foi de 80 mm, ver Figura 22.

**Figura 22 – Abatimento do concreto medido pela diferença entre a altura do molde e altura do eixo do corpo de prova desmoldado.**



Fonte: Próprios Autores, 2018.

### 3.2.2.5 Resistência à compressão axial em concretos segundo a NBR 5739:2007

O baixo custo, facilidade de execução, simplicidade e precisão do ensaio e sua importância na segurança das estruturas faz com que a resistência axial seja a propriedade mais avaliada para a verificação da qualidade de um concreto. Visto ainda que o concreto está submetido na maioria das estruturas a esforços que resultam em tensões de compressão.

A realização do ensaio é importante para manter uma padronização e qualidade do concreto e verificar a resistência real do traço produzido. Para o ensaio foram confeccionados os corpos de prova no laboratório.

Até a idade do concreto, os corpos de prova são mantidos na câmara úmida. O ensaio é realizado imediatamente após a sua remoção do local de cura. Foram rompidos nas idades de 7, 28 e 63 dias. As faces dos pratos de carga foram limpas e secas antes do corpo de prova ser colocado no centro do prato inferior. A carga do ensaio foi aplicada continuamente e sem choques, com velocidade de carregamento 0,3MPa/s a 0,8MPa/s. A resistência à compressão, todos os dados e gráficos são dados pelo programa do computador.

A NBR 5738:2015, esclarece, em seu escopo, a função para qual foi criada, regulamentando os procedimentos para moldagem e cura dos corpos de prova, estando estes

em formato cilíndrico ou prismático. Os corpos de prova deste trabalho foram confeccionados em moldes cilíndricos, portanto, neste tópico, discorre-se apenas sobre os procedimentos aplicados a esta forma. Assim, os moldes utilizados para execução dos corpos de prova cilíndricos devem ser de aço ou material não absorvente ou reagente ao cimento Portland, de forma que sejam suficientemente resistentes, mantendo sua forma original durante a operação de moldagem. Ainda sobre a confecção dos moldes dos corpos de prova cilíndricos, a altura deles deve ser o dobro de seu diâmetro e os diâmetros ter 10, 15, 20, 25, 30, ou 45 cm.

A porção de concreto a ser empregado na preparação dos corpos de prova deve ser confeccionada em concordância com a ABNT NBR NM 33 e eles deverão ser moldados em cilindros cuja dimensão seja, no mínimo, três vezes maior do que a dimensão do agregado graúdo a ser utilizado na confecção do concreto. Para posterior referência, a NBR citada afirma que devem ser registrados “a data, a hora de adição da água de mistura, o local de aplicação do concreto, a hora da moldagem e o abatimento obtido”.

Para moldagem dos corpos de prova, os moldes e suas bases devem ser untados com uma fina camada de óleo mineral ou correspondente lubrificante não reagente ao cimento Portland. Segundo a ABNT NBR 5738 (2015, p.3):

A superfície de apoio dos moldes deve ser rígida, horizontal, livre de vibrações e outras perturbações que possam modificar a forma e as propriedades do concreto dos corpos de prova durante sua moldagem e início de pega.

Antes de introduzir o concreto dentro dos moldes deve se efetuar uma nova mistura da porção de concreto, garantindo a sua uniformidade. O concreto deve ser introduzido em camadas, a quantidade de camadas e o número de golpes devem ser determinados de acordo com o tipo do corpo de prova.

O rasamento deverá ser efetuado com o auxílio de régua metálica ou colher de pedreiro adequada. Os corpos de prova deverão permanecer durante 24 horas sobre superfície horizontal rígida, sem qualquer perturbação e cobertos com material não reativo e não absorvente para que não ocorra perda de água do concreto.

Após ser observado o prazo de cura inicial descrito acima, estes podem ser transportados ao laboratório onde deverão ser submetidos ao tipo de cura correspondente aos corpos de prova moldados para comprovar a qualidade e a uniformidade do concreto durante a construção. Eles terão resistência à compressão testada de acordo com os quesitos para seus corpos de prova.

Para a determinação da consistência do concreto pelo método de abatimento do tronco de cone, utilizamos a NBR 67, de 1998, ainda em vigência, que determina “o método aplicável aos concretos plásticos e coesivos”.

A porção de concreto a ser utilizada para a determinação de sua consistência deve representar todo o lote de concreto. O molde a ser utilizado no ensaio deve ser em formato tronco de cone oco, em que o diâmetro da base inferior possuirá 200 mm, o diâmetro da base superior 100 mm e altura 300 mm; deve ser confeccionado em metal, possuir seu interior liso e espessura igual ou maior que 1,5 mm.

A NBR NM 67 (1998, p.3) diz que:

As bases superior e inferior devem ser abertas e paralelas entre si, formando ângulos retos com o eixo do cone. O molde deverá ser provido, em sua parte superior, de duas alças, posicionadas a dois terços de sua altura, e ter aletas em sua parte inferior para mantê-lo estável.

Para o correto procedimento do teste de abatimento do tronco de cone devemos umedecer, respectivamente, o molde e a placa da base a serem utilizados, após devemos preencher rapidamente todo o molde com o concreto, em três camadas, cada camada igual a um terço da altura do molde, observando que o operador do ensaio deve fixar os pés sobre as aletas do tronco cone, permitindo que este se mantenha estável.

Ao todo são ministrados 25 golpes em cada camada de concreto através de haste de compactação. A NBR NM 67 (1998, p.3) legisla que a haste de compactação deverá ser “de seção circular, reta, feita de aço ou outro material adequado, com diâmetro de 16 mm, comprimento de 600 mm e extremidades arredondadas”. A compactação das camadas deverá ocorrer de forma que “os golpes apenas penetrem na camada anterior”.

O preenchimento da camada superior deve estar em excesso, para que se possa rasar a superfície, com desempenadeira em movimentos rolantes. O molde de concreto deve ser retirado entre 5s a 10s em movimento constante na direção vertical, evitando qualquer movimento de torção lateral. Ainda segundo a NBR NM 67 (1998, p.4):

Imediatamente após a retirada do molde, medir o abatimento do concreto, determinando a diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo-de prova, que corresponde à altura média do corpo-de-prova desmoldado, aproximando aos 5 mm mais próximos.

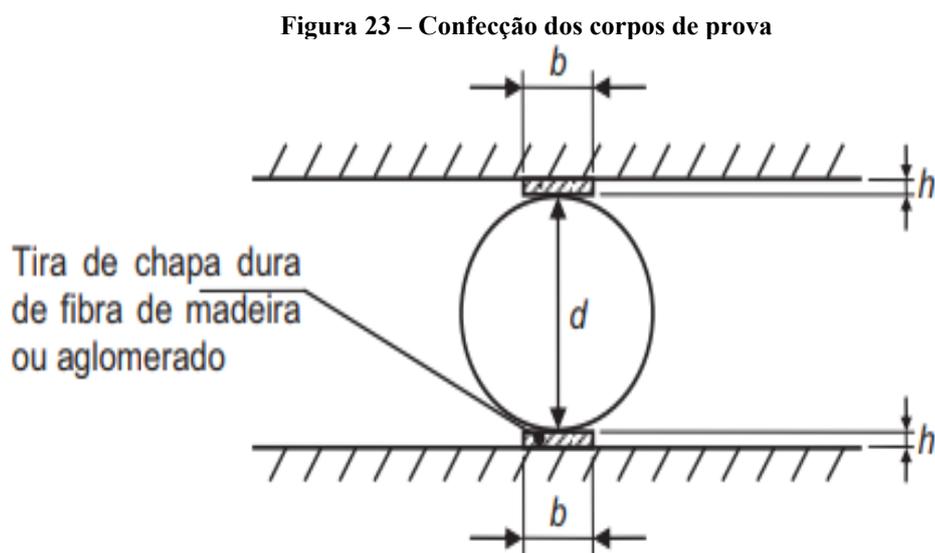
### 3.2.2.6 Resistência à tração por compressão diametral em concretos segundo a NBR 7222:2011

A NBR 7222, de 2011, explica de forma sucinta e de fácil entendimento, a função para qual foi criada, prescrevendo os métodos para determinação da resistência à tração por compressão diametral. Segundo a ABNT 7222 (2011,p2).”As diretrizes estabelecidas nesta Norma para o ensaio de corpos de prova moldados são igualmente válidas, sempre que aplicáveis.”

De forma similar ao procedimento de ruptura para obtenção da resistência à compressão axial em concretos segundo a NBR 5739:2007 a obtenção da resistência à tração por compressão diametral em concreto segundo a NBR 7222:2011, obedece as mesmas normas já citadas quanto á :

- ABNT NBR 5738, Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova;
- ABNT NBR NM 67, Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

O posicionamento dos corpos de prova e aparelhagem utilizada para ruptura é normatizado pela NBR 7222:2011, sendo que podem ser utilizados dispositivos auxiliares que facilitem o posicionamento do corpo de prova na máquina de ensaios. Figura 10.



Fonte: ABNT NBR 7222 (2011, p 3).

O posicionamento dos corpos de prova cilíndricos na máquina de ensaio e normatizado pela NBR 7222 (2011, p4) item 5.2.

Colocar o corpo de prova de forma que o plano axial definido por geratrizes diametralmente opostas, que devem receber o carregamento, coincida com eixo de aplicação de carga. Colocar, entre os pratos da máquina e os corpos de prova em ensaio, às duas tiras de chapa dura de fibra de madeira ou aglomerado, definidas em 3.4. As tiras de madeira devem ser usadas para apenas uma determinação. Ajustar os pratos da máquina até que seja obtida uma compressão capaz de manter em posição o corpo de prova.

## 4 RESULTADOS

Para fins de compreensão e cumprimento dos objetivos propostos neste trabalho serão apresentados os resultados obtidos.

### 4.1 CARACTERIZAÇÕES DOS MATERIAIS

Realizados os ensaios no laboratório do Centro Universitário da UniEvangélica, Anápolis-GO e os posteriores cálculos de acordo com as normas já citadas foram obtidos os seguintes resultados:

#### 4.1.1 Agregado miúdo (areia)

Considerando a amostra da areia a primeira caracterização foi a de massa unitária, os dados obtidos na análise seguem na Tabela 2.

**Tabela 2 – Dados para cálculo da massa unitária do agregado miúdo.**

Massa unitária	
Recipiente vazio	6,5 kg
Diâmetro recipiente	0,22 m
Altura recipiente	0,27 m
Amostra 1	18,00 kg
Amostra 2	17,95 kg
Amostra 3	17,95 kg

Fonte: Próprios Autores, 2018.

Segundo a norma da ABNT (2006) NBR NM 45 a massa unitária é obtida pela equação (1) a seguir:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (1)$$

Onde,

$\rho_{ap}$  é a massa unitária do agregado, em quilogramas por metro cúbico;

$m_{ar}$  é a massa do recipiente mais o agregado, em quilogramas;

$m_r$  é a massa do recipiente vazio, em quilogramas;

$V$  é o volume do recipiente, em metros cúbicos.

O volume do recipiente foi obtido por meio da fórmula do volume do cilindro conforme Equação (2):

$$V = \pi r^2 h \quad (2)$$

Onde  $r$  é o raio do recipiente e  $h$  a altura ambos em metros

Que resultou em um volume de  $V = 0,010 \text{ m}^3$ .

Com o volume e o peso das amostras obteve as massas unitárias, apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3 – Massa unitária do agregado miúdo.**

Massa unitária	
Amostra 1	1150,00 kg/m <sup>3</sup>
Amostra 2	1145,00 kg/m <sup>3</sup>
Amostra 3	1145,00 kg/m <sup>3</sup>
Média	1146,67 kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Próprios Autores, 2018.

Os dados obtidos para cálculo da massa específica conforme normas da ABNT NBR NM 52:2009 seguem na Tabela 4.

**Tabela 4 – Dados para cálculo da massa específica do agregado miúdo**

Massa específica	
MS	500 g
M1	886 g
M2	1125,2 g
M	470 g
Água a 24,5°	$\rho_a = 0,99716 \text{ cm}^3$

Fonte: Próprios Autores, 2018.

O cálculo da massa específica do agregado seco é obtido por meio das Equação (3):

$$d_1 = \frac{m}{V - V_a} \quad (3)$$

Onde,

$d_1$ , é a massa específica aparente do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico;

$m$ , é a massa da amostra seca em estufa, em gramas;

$V$ , é o volume do frasco, em centímetros cúbicos;

$V_a$ , é o volume de água adicionada ao frasco, de acordo com a Equação (4), em centímetros cúbicos:

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} \quad (4)$$

Onde,

$m_1$ , é a massa do conjunto (frasco + agregado), em gramas;

$m_2$ , é a massa total (frasco + agregado + água), em gramas;

$\rho_a$ , é a massa específica da água, em gramas por centímetro cúbico.

Já a massa específica do agregado saturado superfície seca é obtido pela Equação (5):

$$d_2 = \frac{m_s}{V - V_a} \quad (5)$$

Onde,

$d_2$ , é a massa específica do agregado saturado superfície seca, em gramas por centímetro cúbico;

$m_s$ , é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

$V$ , é o volume do frasco, em centímetros cúbicos;

$V_a$ , é o volume de água adicionada ao frasco, em centímetros cúbicos.

Já a massa específica é obtida pela Equação (6) a seguir:

$$d_3 = \frac{m}{(V - V_a) - \left( \frac{m_s - m}{\rho_a} \right)} \quad (6)$$

Onde,

$d_3$ , é a massa específica do agregado, em gramas por centímetros cúbicos;

$m$ , é a massa da amostra seca em estufa, em gramas;

$V$ , é o volume do frasco, em centímetros cúbicos;

$V_a$ , é o volume de água adicionado ao frasco, em centímetros cúbicos;

$m_s$ , é a massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

$\rho_a$ , é a massa específica da água, em gramas por centímetro cúbico.

Os resultados calculados para a massa específica da areia reciclada de acordo a ABNT NBR NM 52:2009 estão na tabela 5.

**Tabela 5 – Massa específica do agregado miúdo.**

<b>Massa específica</b>	
Va	239,88 cm <sup>3</sup>
d1	1,81 g/cm <sup>3</sup>
d2	1,92 g/cm <sup>3</sup>
d3	2,043 g/cm <sup>3</sup>

Fonte: Próprios Autores, 2018.

O teste de Granulometria foi realizado conforme a norma NBR NM 248:2003 os dados obtidos para os cálculos seguem abaixo na Tabela (6) para a amostra 1 de 500g:

**Tabela 6 – Granulometria amostra 1 do agregado miúdo.**

<b>Abertura da malha</b>	<b>Material retido</b>	<b>% retida</b>	<b>% acumulada</b>
4,75mm	2,0g	0,4	0,4
2,36mm	63,6g	12,72	13,12
1,18mm	91,8g	18,36	31,48
600mm	112,8g	22,44	53,92
300mm	112,9g	22,58	76,50
150mm	66,2g	13,24	89,74
Fundo	51,3g	10,26	100

Fonte: Próprios Autores, 2018.

Na Tabela (7) para a amostra 2 de 500 g:

**Tabela 7 – Granulometria amostra 2 do agregado miúdo.**

<b>Abertura da malha</b>	<b>Material retido</b>	<b>% retida</b>	<b>% acumulada</b>
4,75mm	3,0g	0,6	0,6
2,36mm	92,5g	18,5	19,1
1,18mm	108,6g	21,72	40,82
600mm	116,7g	23,34	64,16
300mm	96,4g	19,28	83,44
150mm	45,6g	9,12	92,56
Fundo	37,2g	7,44	100

Fonte: Próprios Autores, 2018.

O cálculo de porcentagem retida é realizado conforme a Equação (7) a seguir:

$$\% \text{ Retida} = \frac{\text{material retido}}{500} \cdot 100 \quad (7)$$

Tendo a Tabela (8) como média das amostras

**Tabela 8 – Granulometria média das amostras 2 e e agregado miúdo.**

<b>Abertura da malha</b>	<b>% Média Retida</b>	<b>% Média Acumulada</b>
4,75mm	0,5	0,5
2,36mm	15,61	16,11
1,18mm	20,04	36,15
600mm	22,89	59,04
300mm	20,93	79,97
150mm	11,18	91,15
Fundo	8,85	100

Fonte: Próprios Autores, 2018.

Conforme a norma o módulo de finura da areia é de 2,83.

#### **4.1.2 Agregado graúdo (Brita 0)**

Analisando a amostra da brita 0 inicialmente foi caracterizado massa unitária, as informações obtidas na análise seguem na Tabela 9.

**Tabela 9 – Dados para cálculo da massa unitária da brita 0.**

<b>Massa unitária</b>	
Recipiente vazio	6,5 kg
Diâmetro	0,22 m
Altura	0,27 m
Amostra 1	17,40 kg
Amostra 2	17,75 kg
Amostra 3	17,95 kg

Fonte: Próprios Autores, 2018.

Conforme a norma da ABNT (2006) NBR NM 45 a massa unitária é encontrada pela equação (1) citada no item 4.1.1. O volume do recipiente foi calculado pela fórmula do

volume do cilindro de acordo com a Equação (2). Que resultou em um volume de  $V = 0,010 \text{ m}^3$ .

Tendo o volume e o peso das amostras obteve-se as massas unitárias, apresentadas na Tabela 10.

**Tabela 10 – Massa unitária brita 0.**

<b>Massa unitária</b>	
Amostra 1	1090,00 kg/m <sup>3</sup>
Amostra 2	1125,00 kg/m <sup>3</sup>
Amostra 3	1145,00 kg/m <sup>3</sup>
Média	1120,00 kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Próprios Autores, 2018.

Os valores encontrados para o cálculo da massa específica seguindo a norma da ABNT NBR NBR NM 53:2009 seguem na Tabela 11.

**Tabela 11 – Dados para cálculo da massa específica da brita 0.**

<b>Massa específica</b>	
Ms1	2571,4g
Ma1	1391 g
M1	2336,5 g
Ms2	3021,2 g
Ma2	1642 g
M2	2817,8 g

Fonte: Próprios Autores, 2018.

O cálculo da massa específica do agregado seco é obtido por meio das Equação (8):

$$d = \frac{m}{m_s - m_a} \quad (8)$$

Onde,

$d$ , é a massa específica do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico;

$m$ , é a massa ao ar da amostra seca, em gramas;

$m_a$ , é a massa em água da amostra, em gramas.

Ja a massa específica do agregado na condição saturado superficie seca é calculada pela Equação (9):

$$d_s = \frac{m_s}{m_s - m_a} \quad (9)$$

Onde,

$d_s$ , é a massa específica do agregado na condição saturado superfície seca, em gramas por centímetro cúbico;

$m_s$ , é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

$m_a$ , é a massa em água da amostra, em gramas.

A massa específica aparente do agregado é dada por meio das Equação (10):

$$d_a = \frac{m}{m_s - m_a} \quad (10)$$

Onde,

$d_a$ , é a massa específica aparente do agregado seco, em gramas por centímetro cúbico;

$m$ , é a massa ao ar da amostra seca, em gramas;

$m_s$ , é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas;

$m_a$ , é a massa em água da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas

A absorção de água é calculada utilizando a Equação (11):

$$A = \frac{m_s - m}{m} \cdot 100 \quad (11)$$

Onde,

$A$ , é a absorção de água, em porcentagem;

$m$ , é a massa ao ar da amostra seca, em gramas;

$m_s$ , é a massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas.

Com os cálculos da massa específica da brita 0 foram obtidos os valores, Tabela 12.

**TABELA 12 – MASSA ESPECÍFICA BRITA 0.**

<b>Massa específica</b>		
	<b>Amostra 1</b>	<b>Amostra 2</b>
<b>d</b>	1,98 g/cm <sup>3</sup>	2,04 g/cm <sup>3</sup>
<b>ds</b>	2,178 g/cm <sup>3</sup>	2,19 g/cm <sup>3</sup>
<b>da</b>	2,47 g/cm <sup>3</sup>	2,40 g/cm <sup>3</sup>
<b>A</b>	10,05%	7,2%

Fonte: Próprios Autores, 2018.

O teste de Granulometria foi realizado conforme a norma NBR NM 248:2003 os dados obtidos para os cálculos seguem na Tabela (13) para a amostra 1 de 2,00 kg:

**Tabela 13 – Granulometria amostra 1 da brita 0.**

<b>Abertura da malha</b>	<b>Material retido</b>	<b>% retida</b>	<b>% acumulada</b>
37,5mm	0 g	0	0
25mm	0 g	0	0
19mm	0 g	0	0
12,5mm	0 g	0	0
9,5mm	0 g	0	0
4,75mm	820 g	41	41
2,36mm	775 g	38,75	79,75
Fundo	405 g	20,25	100

Fonte: Próprios Autores, 2018.

Ja a Tabela (14) é para a amostra 2 de 2,00 kg:

**Tabela 14 – Granulometria amostra 2 da brita 0.**

<b>Abertura da malha</b>	<b>Material retido</b>	<b>% retida</b>	<b>% acumulada</b>
37,5mm	0 g	0	0
25mm	0 g	0	0
19mm	0 g	0	0
12,5mm	0 g	0	0
9,5mm	0 g	0	0
4,75mm	815 g	40,75	40,75
2,36mm	785 g	39,25	80
Fundo	400 g	20	100

Fonte: Próprios Autores, 2018.

O cálculo de porcentagem retida é realizado conforme a Equação (12) a seguir:

$$\% \text{ Retida} = \frac{\text{material retido}}{2000} \cdot 100 \quad (12)$$

Tendo a Tabela (15) como média das amostras

Tabela 15 – Granulometria média das amostras 1 e 2 brita 0.

Abertura da malha	% Média Retida	% Média Acumulada
37,5mm	0 g	0 g
25mm	0 g	0 g
19mm	0 g	0 g
12,5mm	0 g	0 g
9,5mm	0 g	0 g
4,75mm	40,875 g	40,875 g
2,36mm	39 g	79,875 g
Fundo	20,125 g	100 g

Fonte: Próprios Autores, 2018.

Conforme a norma o módulo de finura da brita 0 é de 1,21.

#### 4.2 ESCRITA DO TRAÇO

Utilizando os dados da caracterização dos agregados, inicialmente foram calculados traços conforme as normas da ABCP (Apêndice A) - o primeiro de concreto convencional e o segundo de concreto reforçado com fibras de bambu (CRFB), ambos dimensionados para uma resistência inicial de 20 MPa. Visto que esta resistência está entre o exigido em grande parte dos projetos estruturais (OLIVEIRA, 2001). Pelo método da ABCP, considerando os fatores de cada concreto e um desvio padrão para 20 MPa de 5,5 MPa (concreto classe C10 a C25) e foi obtido um feq de 29,07 MPa (tensão média de dosagem aos 28 dias).

Uma significativa característica do concreto que determina a sua tendência para ser empregado é a sua consistência, que em relação a tecnologia do concreto, pode ser definida como a maior ou menor capacidade do concreto de se deformar sob a ação da sua própria massa (KIAHARA, CENTURIONE, 2005, p.295). A trabalhabilidade do concreto é influenciada por fatores intrínsecos ao concreto, como a sua relação água/materiais secos, tipo e consumo de cimento; traço(1/m<sup>2</sup>); teor de argamassa, tamanho, textura e forma dos agregados. Sendo assim, segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1996) o abatimento do tronco de cone é o método de ensaio definido pela normalização brasileira para determinação da consistência do concreto fresco, em detrimento de tal fato estipulado um abatimento de 90 ± 10 mm.

Foi utilizado o cimento CP II Z 32 (Ciplan), material este, determinado devido as condições oferecidas pela instituição de pesquisa. Após a realização dos cálculos, resultou

para 20 MPa um traço de 1: 1,66: 2,2: 0,53 Kg (Cimento:Areia:Brita:Água). Para a realização do traço de concreto incorporado com fibras de bambu foi utilizado o mesmo cálculo para o concreto convencional com a adição de 250 g das fibras de bambu de forma experimental, ver figura 24.

**Figura 24 – Peso em gramas das fibras de bambu de forma experimental.**



Fonte: Próprios Autores, 2018.

A medida máxima e mínima do abatimento é definida pelo calculista, em função das propriedades desejadas de trabalhabilidade. Os procedimentos necessários para execução do Slump Test foram observados. O ensaio realizado alcançou no Slump Test o valor de 80 mm para todos os traços.

Os corpos de provas foram confeccionados no Centro Tecnológico da Unievangelica, no dia 06 de Dezembro de 2017. Os traços foram produzidos no carrinho de mão, a não produção na betoneira justifica-se, pois poderia quebrar as fibras desconfigurando características do material e um possível má mistura do material resultaria em um baixo englobamento da argamassa as fibras, primeiro colocou-se o agregado graúdo, o agregado miúdo e metade da água calculada no traço base, após misturar os agregados adicionou-se os 250g de fibras de bambu logo depois se colocou o cimento e foi sendo adicionado água até atingir a fluidez desejada no slump test, ver figura 25.

**Figura 25 – Confeção no carrinho de mão do traço.**



Fonte: Próprios Autores, 2018.

Com o concreto pronto, a próxima etapa é montar os corpos de prova, o molde usado foi o 100x200 mm, o molde deve ser untado por dentro com óleo desmoldante, para que os corpos de prova possam ser removidos, primeiro coloca-se metade da altura do molde de concreto e adensa com a haste de compactação aplicando 12 golpes, em seguida preenche o restante do molde colocando um excesso de concreto e compacta novamente com mais 12 golpes, depois rasa a superfície do concreto até se igualar ao molde. Após monta-los é necessário etiqueta-los e deixar secar por 24 horas, ver figura 26.

**Figura 26 – (a) Primeira camada de concreto sendo compactada no molde de 100x200 mm. (b) Corpos de prova prontos e etiquetados.**



Fonte: Próprios Autores, 2018.

#### 4.3 ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL E TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Apos desenformar os corpos de prova, eles foram para a camara fria até atingir as idades de rompimento, ver figura 27,28 e 29.

**Figura 27 – Corpos de prova na camara fria.**



Fonte: - Laboratório Centro Tecnológico da Unievangélica, 2017.

**Figura 28 – (a) Rompimento dos corpos de prova em prensa de compressão axial. (b) Corpos de prova após ser submetido a compressão axial.**

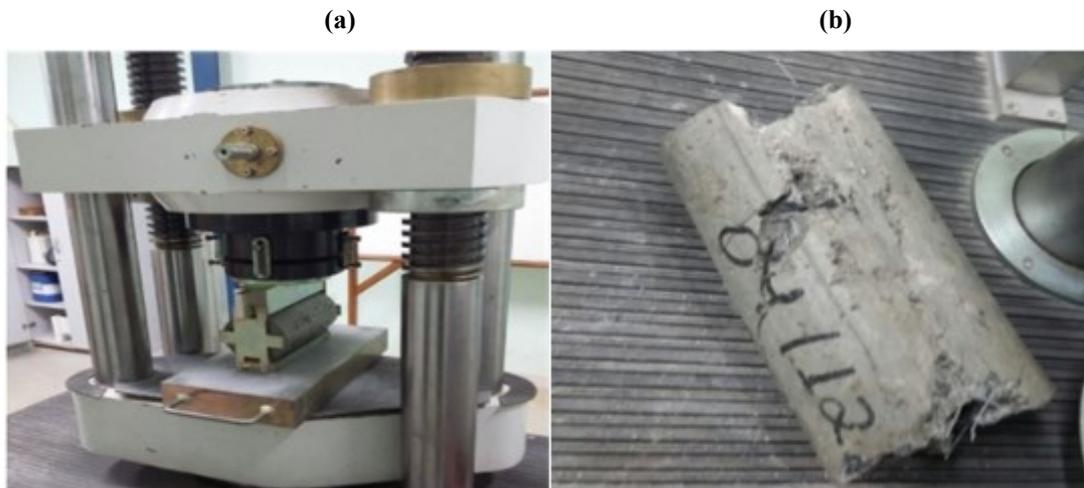
(a)

(b)



Fonte: Próprios Autores, 2018.

**Figura 29 – (a) Rompimento dos corpos de prova em prensa de tração por compressão diametral. (b) Corpos de prova após ser submetido a tração por compressão diametral.**



Fonte: Próprios Autores, 2018.

As idades de rompimento foram aos 7, 28 e 63 dias, sendo confeccionados quatro corpos de prova para cada idade, para podermos obter prova e contraprova de cada resultado, para os testes de compressão axial e tração para compressão diametral. Na tabela 16 são apresentados todos os valores obtidos para prova e contraprova para o teste de compressão axial.

**Tabela 16 – Todos os resultados para o ensaio de compressão axial, prova e contraprova de acordo com as idades de ruptura.**

	<b>Idade de Ruptura</b>	<b>Tensão ruptura (Mpa)</b>	<b>Carga ruptura (Kgf)</b>
Concreto Convencional	7	16,4	13,110
	7	17,1	13,690
	28	20,4	16,320
	28	21,3	17,027
	63	23,5	18,786
	63	24,1	19,255
CRFB	7	16,8	13,438
	7	17,5	14,011
	28	20,9	16,715
	28	21,8	17,453
	63	24,1	19,255
	63	24,7	19,747

Fonte: Próprios Autores, 2018.

A tabela 17 apresenta todos os resultados obtidos de prova e contraprova para o teste de compressão diametral.

**Tabela 17 – Todos os resultados para o ensaio de tração para compressão diametral, prova e contraprova de acordo com as idades de ruptura.**

	<b>Idade de Ruptura</b>	<b>Tensão ruptura (Mpa)</b>	<b>Carga ruptura (Kgf)</b>
Concreto Convencional	7	2,0	6,280
	7	2,1	6,594
	28	2,4	7,630
	28	2,3	7,312
	63	2,6	8,266
	63	2,4	7,630
CRFB	7	2,2	6,782
	7	2,3	7,122
	28	2,6	8,139
	28	2,5	7,800
	63	2,8	8,817
	63	2,6	8,139

Fonte: Próprios Autores, 2018.

Para a idade de 7 dias, o rompimento foi realizado no dia 12 de dezembro de 2017 e obtiveram-se os seguintes resultados médios de prova e contraprova para o ensaio de compressão axial para o concreto convencional e o concreto reforçado com fibras de bambu (CRFB) conforme a Tabela 18. Media dos valores para o ensaio de tração para compressão diametral para ambos concretos de acordo com a tabela 19. Observa-se que os corpos de provas de concreto incorporado com fibra de bambu apresentaram valores de resistência acima quando comparados aos de concreto convencional.

**Tabela 18 – Ensaio de compressão axial concreto convencional e concreto reforçado com fibras de bambu (CRFB) para a idade de 7 dias.**

	<b>Idade de ruptura</b>	<b>Tensão ruptura (Mpa)</b>	<b>Carga ruptura (Kgf)</b>
Concreto Convencional	7	16,75	13,400
CRFB	7	17,20	13,725

Fonte: Próprios Autores, 2018.

**Tabela 19 – Ensaio de tração para compressão diametral concreto convencional e concreto com fibras de bambu (CRFB) para a idade de 7 dias.**

	<b>Idade de Ruptura</b>	<b>Tensão ruptura (Mpa)</b>	<b>Carga ruptura (Kgf)</b>
Concreto Convencional	7	2,05	6,437
CRFB	7	2,20	6,952

Fonte: Próprios Autores, 2018.

Para a idade de 28 dias, o rompimento foi realizado no dia 02 de janeiro de 2018 e obtiveram-se os seguintes resultados médios entre prova e contraprova, para o ensaio de

compressão axial para o concreto convencional e o concreto reforçado com fibras de bambu (CRFB) conforme a Tabela 20. O ensaio de tração para compressão diametral para ambos concretos de acordo com a tabela 21.

**Tabela 20 – Ensaio de compressão axial concreto convencional e concreto reforçado com fibras de bambu (CRFB) para a idade de 28 dias.**

	<b>Idade de ruptura</b>	<b>Tensão ruptura (Mpa)</b>	<b>Carga ruptura (Kgf)</b>
Concreto Convencional	28	20,85	16,674
CRFB	28	21,40	17,084

Fonte: Próprios Autores, 2018.

**Tabela 21 – Ensaio de tração para compressão diametral concreto convencional e concreto com fibras de bambu (CRFB) para a idade de 28 dias.**

	<b>Idade de Ruptura</b>	<b>Tensão ruptura (Mpa)</b>	<b>Carga ruptura (Kgf)</b>
Concreto Convencional	28	2,5	7,948
CRFB	28	2,7	8,478

Fonte: Próprios Autores, 2018.

Para a idade de 63 dias, o rompimento foi realizado no dia 06 de fevereiro de 2018 e obtiveram-se os seguintes resultados médios entre prova e contraprova, para o ensaio de compressão axial para o concreto convencional e o concreto reforçado com fibras de bambu (CRFB), conforme a Tabela 22. O valor médio de prova e contraprova para o ensaio de tração para compressão diametral para ambos concretos de acordo com a tabela 23.

**Tabela 22 – Ensaio de compressão axial concreto convencional e concreto reforçado com fibras de bambu (CRFB) para a idade de 63 dias.**

	<b>Idade de ruptura</b>	<b>Tensão ruptura (Mpa)</b>	<b>Carga ruptura (Kgf)</b>
Concreto Convencional	63	23,8	19,025
CRFB	63	24,4	19,501

Fonte: Próprios Autores, 2018.

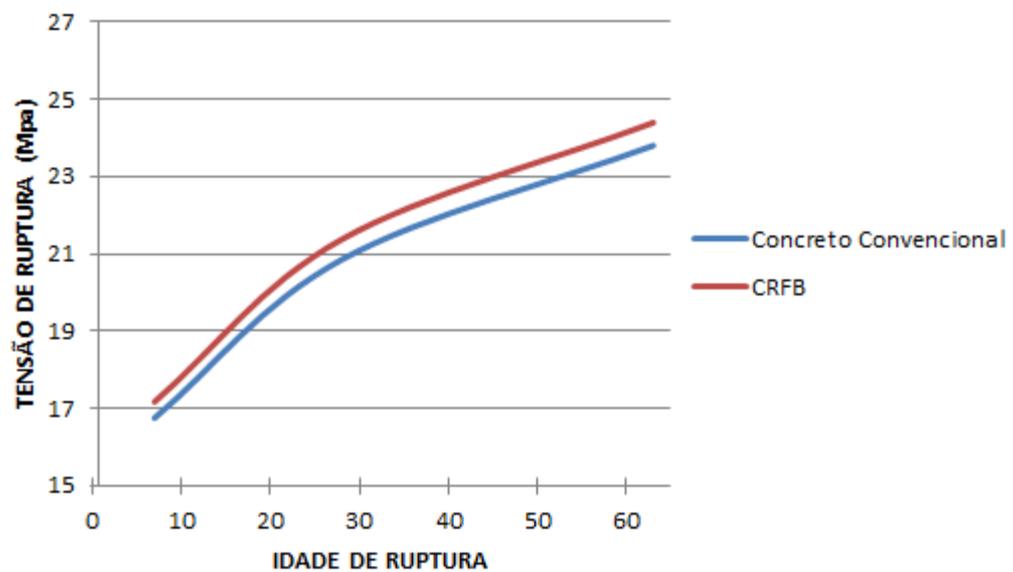
**Tabela 23 – Ensaio de tração para compressão diametral concreto convencional e concreto com fibras de bambu (CRFB) para a idade de 63 dias.**

	<b>Idade de ruptura</b>	<b>Tensão ruptura (Mpa)</b>	<b>Carga ruptura (Kgf)</b>
Concreto Convencional	63	2,5	7,948
CRFB	63	2,7	8,478

Fonte: Próprios Autores, 2018.

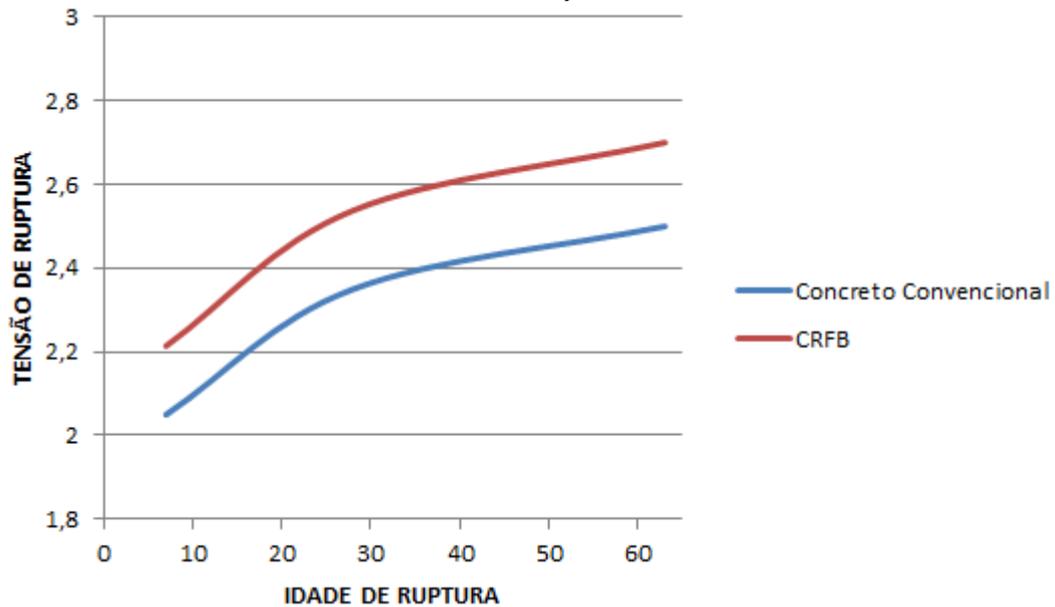
Segue a abaixo os gráficos para melhor visualização dos resultados, médias dos valores de prova e contraprova, de ruptura por compressão axial, ver figura 30, e ruptura de tração por compressão diametral, ver figura 31. Os gráficos Tensão de Ruptura x Idade, foram confeccionados em planilhas Excel a partir dos dados obtidos pelos laudos dos testes realizados no laboratório centro tecnológico da UniEvangélica, pelo programa de prensa de compressão axial e tração por compressão diametral da contenco, 2018.

**Figura 30 – Gráfico comparativo da resistência à compressão axial do concreto convencional e do concreto reforçado com fibras de bambu.**



Fonte: Próprios Autores, 2018.

**Figura 31 – Gráfico comparativo da resistência à tração por compressão diametral do concreto convencional e do concreto reforçado com fibras de bambu.**



Fonte: Próprios Autores, 2018.

Correia et al (2015) em seu trabalho sobre Avaliação do Bioconcreto com Fibras Mineralizadas de Bambu, com um traço de 30 Mpa obteve os resultados abaixo, ver figura 32.

**Figura 32 – Determinação da resistência à compressão axial e tração por compressão diametral em corpos cilíndricos.**

Traços	Teor de Fibras (%)	Resistência à Compressão (MPa)		Resistência à Tração por Compressão Diametral (MPa)	
		7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
B0	-	31,10	36,17	3,30	3,60
B1	1,0	37,70	42,16	3,88	3,94
B2	2,0	34,30	43,20	3,68	3,95
B3	2,5	22,40	28,40	2,87	2,92

Fonte: Correia et al (2015).

Comparando com os valores obtidos neste trabalho para este traço, observa-se semelhança nos resultados com teor de fibra de 2,0%. Vale ressaltar que não foi realizado um estudo estatístico, portanto não se pode afirmar que tal resistência é real para todas as fibras de

diversas espécies. Logo, com os dados obtidos, é sugerido hoje aplicar o concreto reforçado com fibras de bambu na confecção de blocos para alvenaria de vedação. Segundo a NBR 6136, os blocos são comercializados em classes de resistência que variam desde 4,5MPa até 16MPa.

Como base no trabalho de Correia et al (2015), a utilização de um teor de 1,0% a 2,0% de fibras de bambu em relação ao volume total do traço de concreto apresenta uma tendência de crescimento de resistência à tração e à compressão Neste trabalho por se tratar de experimento experimental a descrição do volume não foi tema do objetivo mais sim a comparação do comportamento mecânico do concreto reforçado com fibras de bambu incorporada (CRFB) com o concreto convencional.

Observou-se um aumento de resistência à compressão e à tração de aproximadamente 3,0% nas matrizes científicas incorporados com fibras de bambu.

Assim, pode-se notar que o concreto produzido com bambu incorporado obteve melhores resultados, visto que o desempenho mecânico e aumento de resistência foi de aproximadamente 3,0%.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de fibras vegetais é tema de estudo em várias instituições de pesquisa, por abranger uma temática ecológica que é de grande valor, pois é ambientalmente eficaz em uma sociedade que, consome insumos em alta demanda e utiliza energias e materiais naturais já em processo de escassez.

Haja visto que este trabalho constitui uma linha de pesquisa onde foram comparadas várias outras fibras incorporadas no concreto. Tendo então, neste caso analisado somente o ganho de resistência em relação ao concreto convencional, pode-se observar um ganho de resistência entre a compressão axial e compressão diametral, ambas dentro do comprovado pelo referencial teórico aqui apresentado.

Sendo, os resultados obtidos neste trabalho são promissores, analisando os aumentos das resistências mecânicas dos corpos de prova quando adicionados ao concreto convencional, porém os materiais e tecnologias na construção civil devem garantir estabilidade, técnicas, viabilidade econômica e durabilidade, algo que não foi tema de estudo deste trabalho, garanti as características estatísticas da fibra de bambu utilizada. Como, as propriedades físicas do bambu, como o comprimento do colmo, distância entre os nós, diâmetro, espessura da parede, peso específico, dependem de fatores variantes e externos com: espécie utilizada, qualidade do solo, clima local e técnicas de cultivo.

Analisam-se todas as informações obtidas neste experimente e pode-se dizer que o concreto reforçado com fibras vegetais de bambu é uma técnica economicamente viável, se comparadas com o aço que é um material consideravelmente de custo elevado. Tornando um material alternativo, porém de qualidade não inferior aos convencionais, enfatiza-se à importância de mais estudos sobre o tema. É importante ressaltar a dificuldade em fabricar a fibra de Bambu, ponto este negativa quando se pensa em grandes produções. Já analisando o aspecto ambiental as fibras de bambu apresentam bons resultados mecânicos e são sustentáveis.

### 5.1 PROPOSTAS PARA FUTUROS ESTUDOS

Como possíveis trabalhos futuros, pode-se apontar:

- Obtenção e preparo das fibras de bambu para produção em alta escala;

- Garantir as propriedades físicas das fibras de bambu como o peso específico diâmetro dos colmos e espessuras das paredes de forma estatística, garantido qualidade e dados confiáveis para um possível dimensionamento e utilização.
- Possíveis utilização de fibras de bambu incorporado ao concreto em materiais pré-fabricados como: telhas, blocos e painéis cimentíssimos.

## REFERÊNCIAS

AGOPYAN, Vahan; HOLMER, Savastano Jr. **Fibras Vegetais como Material de Construção**. Instituto Brasileiro de Concreto (IBRACON). 2010. Capítulo 49 23f.

ANJOS M.A.S; Galvani K.; Barbosa N.P. **Uso de polpa de bambu como reforço de matriz cimentícias**. ABMTENC. 2014.8f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **BT-106**: Guia Básico de Utilização do Cimento Portland. São Paulo, 2002. Disponível em: [http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106\\_2003.pdf](http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf). Acesso em: 7 mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 33**: Concreto - Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 1998. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/jannethblue/nbrnm331980concretoemdeconcretofrescoantiganbr57501992>. Acesso em: 7 mar. 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52**: Agregado miúdo -Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 67**: Concreto -Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. 3. ed. Rio de Janeiro, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR NM-ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738**: concreto – corpo de prova. São Paulo, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. 2. ed. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação.** 2. ed. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://www.areasovitoria.com.br/download/NBR%207211.pdf>>. Acesso em: 29 ago.2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento.** 3. ed. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <[http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/NBR%2012655%20-%2015\\_aula.pdf](http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/NBR%2012655%20-%2015_aula.pdf)>. Acesso em 31 ago. 2016.

**BASTOS P.S.S. Propriedades do concreto armado.** 2006.

Disponível em: < [wwwp.feb.unesp.br/pbastos](http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos) > aceso em: 03 dez.2017.

**BERALDO L.A.; AZZINI A. Barreira acústica de bambu: uma avaliação preliminar.** 2004.

Disponível em: < [http://www.elecs2013.ufpr\\_artigo\\_028.pdf](http://www.elecs2013.ufpr_artigo_028.pdf) > aceso em: 01 dez.2017.

**CULZONI, R. A. M.; Dissertação Mestrado: Caraterísticas dos bambus e sua utilização como material alternativo no concreto.** Rio de Janeiro: PUC-Rio, 1986.

**COUTTS, R. S. P., Cimento reforçado com fibra e concreto.** Londres, 1992.

**CORREIA et al. Avaliação do biocretocom fibras mineralizadas de bambu.** 2015.

Disponível em: < <http://www.prp2.ueg.br/06v1/conteudo/pesquisa/ini-cien/eventos/sic2008/fronteira/flashsic/animacao/VISIC/arquivos/resumos/resumo08.pdf> > aceso em: 02 dez.2017.

**FAO – Organização das Nações Unidas para a agricultura e alimentação.** Setores produtivos do agronegócio debatem inovação para a sustentabilidade socioeconômica ambiental. 2017.

Disponível em: < <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/es/c/1035189/> > acesso em: 16 fev.2018.

**FANCZAK, Cibele Cristine Mello; PREVEDELLO, Felipe Zahdi Raffo. Estudo comparativo entre dois tipos de aditivos para um mesmo traço em concreto auto adensável.** 2012. 72f. Dissertação de Mestrado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

**FERREIRA, A. B. de H. Dicionário Aurélio Eletrônico Século XXI,** Versão 3.0 . Editora Nova Fronteira Novembro de 1999.

**FILGUEIRAS, T. S.; GONÇALVES, A. P. A Checklist of the Basal Grasses and Bamboos in Brazil (Poaceae).** The Journal of the Amercian Bamboo Society, v.18, n.1, p.7-18, 2004.

GAZETTE, Pittsburgh Post-Gazette. Disponível em: <[www.post-gazette.com](http://www.post-gazette.com)>, Acesso: 14 mai. 18.

GHAVAMI, Khosrow, BARBOSA, Normando Perazzo. **BAMBU**. Instituto Brasileiro de Concreto (IBRACON). 2010. capítulo 50.34f.

GHAVAMI, K.; HOMBEECK, R.V. **Application of bamboo as a construction material. Part I- Mechanical properties & water - repellent treatment of bamboo, Part II- Bamboo reinforced concrete beams**. In: Latin American Symposium on Rational Organization of Building Applied to Low Cost Housing, São Paulo, 1981. Proceedings... São Paulo: IPT/CIB, 1981, v.1.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. **Construções Rurais e Ambiência - Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie Guadua angustifolia**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, On-line version ISSN 1807-1929. vol.9 no.1 Campina Grande, PB. Jan./Mar. 2005. Disponível em: . Acesso em 07 ago. 2012.

GHAVAMI, K. & MARINHO, A.B. **Determinação das propriedades dos bambus das espécies: Mosó, Matake, Guadua angustifolia, Guadua tagoara e Dencrocalamus giganteus para utilização na engenharia**. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2001. 40 p.

GHAVAMI, K.; RODRIGUES, B. M. **Propriedades Geométricas e Mecânicas de Colmos dos Bambus para Aplicação em Construções**. 2000.  
Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662005000100016](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662005000100016) > aceso em: 15 dez.2017.

HELENE P., Andrade T. **Concreto de Cimento Portland**. Instituto Brasileiro de Concreto (IBRACON). 2010. 944f.

ISAIA, Geraldo Cechella. **Tecnologia do Concreto**. Instituto Brasileiro de Concreto (IBRACON). 2010. 39f.

JOSE, Antunes de oliveira e Sousa. **Concreto: Material Construtivo Mais Consumido do Mundo**. Instituto Brasileiro de Concreto (IBRACON). 2009. 80f.

KHOSROW G.; ALBANISE B. M. **Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie Guadua angustifolia**. 2005.

Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662005000100016](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662005000100016) > aceso em: 02 dez.2017.

LIESE, W. **Anatomy of bamboo**. In: Bamboo research in Asia, 1980,

Ottawa. Proceedings...Ottawa: IDRC, 1980.

LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms**. Technical Report. International Network for Bamboo and Rattan, Beijing, Eindhoven, New Delhi, 1998.

OSCAR, Hidalgo Lopes. **Bambu - O presente dos Deuses**. S.A The Author. Edição N° 01. Bogotá – Colômbia. Editor -. 2003. 270p

PEDROSO, Fabio Luiz. Concreto: **As Origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. Instituto Brasileiro de Concreto (IBRACON). 2009. 06f.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO A. L. **Bambu de corpo e alma**- Editora Canal 6. Bauru- SP. 2007.

PEREIRA, M. A. **Bambu: espécies, características e aplicações**. Editora da UNESP. Bauru, São Paulo, 2001. 58 p.

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D. MURZADO, Sandro P. Santos.

**Características do Concreto**. USP. 2004.

Disponível em: < <http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec702/EESC/Concreto.pdf>>

acesso em: 02 dez.2017.

RIGUEIRA JR., I., Apud MOREIRA, L. E. **Bambu Para Toda Obra**. Boletim UFMG N° 1730 - Ano 37, 21 de março de 2011. Disponível em:< [www.ufmg.br/online](http://www.ufmg.br/online)>. Acesso em: abril de 2018.

SOBRAL, Hernani Sálvio. Propriedades do concreto Fresco. Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Edição N° 6. São Paulo – SP. Editor ABCP. 2000. 16p

## APÊNDICE A – Cálculo do traço do concreto pelo método da ABCP

O primeiro passo é o cálculo da resistência média aos 28 dias –  $F_{cj}$  – a partir do desvio padrão.

$$F_{cj} = F_{ck} + 1,65 \cdot S_d \quad (1)$$

Em que:

$F_{cj}$  = resistência média do concreto à compressão a j dias de idade, em MPa;

$F_{ck}$  = resistência característica do concreto à compressão, em MPa;

$S_d$  = desvio-padrão da dosagem, em MPa;

$S_d = 4,0$  MPa concreto classe C10 a C80.

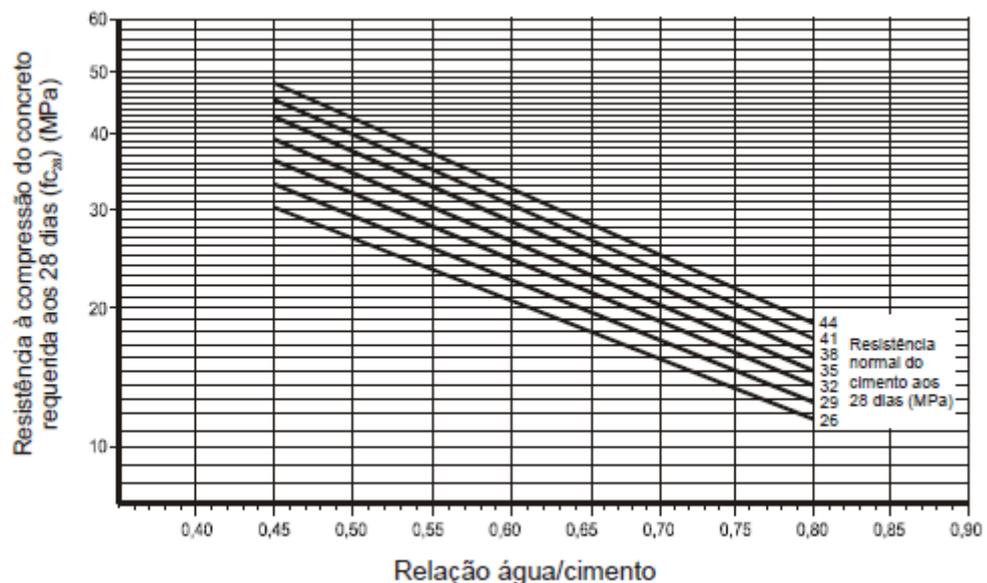
$S_d = 5,5$  MPa concreto classe C10 a C25.

$S_d = 7,0$  MPa concreto classe C10 a C15.

Segundo passo - Fixação da relação água/cimento (a/c)

O valor da relação água/cimento é estimado com base na curva de Abrams, que por sua vez, deve ser determinado em função do tipo de cimento.

Figura 1 - Gráfico para determinação da relação água cimento (a/c) em função da resistência do concreto e do cimento aos 28 dias de idade.



Fonte: Rodrigues, 1990 apud Boggio, 2000.

Considerando a dificuldade em expressar o consumo de água na mistura por meio de uma lei matemática, Rodrigues,1990 apresenta como estimativa inicial do consumo de água por metro cúbico de concreto, os valores constantes no Tabela 1 (BOGGIO, 2000).

**Tabela 1 - Estimativa do consumo de água por metro cubico de concreto em função do diâmetro máximo característico do agregado e do abatimento da mistura.**

Abatimento do tronco de cone	Dimensão máxima característica do agregado				
	9,5mm	19mm	25mm	32mm	38mm
40 a 60 mm	220 l/m <sup>3</sup>	195 l/m <sup>3</sup>	190 l/m <sup>3</sup>	185 l/m <sup>3</sup>	180 l/m <sup>3</sup>
60 a 80 mm	225 l/m <sup>3</sup>	200 l/m <sup>3</sup>	195 l/m <sup>3</sup>	190 l/m <sup>3</sup>	185 l/m <sup>3</sup>
80 a 100 mm	230 l/m <sup>3</sup>	205 l/m <sup>3</sup>	200 l/m <sup>3</sup>	200 l/m <sup>3</sup>	190 l/m <sup>3</sup>

Fonte: Rodrigues, 1990 apud Boggio,2000.

Terceiro passo é a estimativa do consumo de cimento. O fator água/cimento nada mais é do que uma fração, que divide o peso da água pelo peso do cimento, conforme abaixo:

$$A/C = \frac{C_a}{C_c} \quad (2)$$

Quarto passo é a estimativa de consumo de agregados

A Tabela 2, cujos valores foram determinados experimentalmente pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), apresenta os volumes compactados a seco de agregado graúdo, por metro cúbico de concreto, em função do Diâmetro Máximo característico do agregado graúdo ( $\phi_{\text{máx.}}$ ) e do Módulo de Finura (MF) do agregado miúdo.

**Tabela 2 - Volume compactado seco (V<sub>pc</sub>) do agregado graúdo por metro cubico de concreto.**

(Continua)

Módulo de finura da areia	Dimensão máxima característica do agregado graúdo ( $\phi_{\text{máx.}}$ )				
	9,5 mm	19 mm	25 mm	32 mm	38 mm
1,8	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
2,0	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
2,2	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
2,4	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
2,6	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
2,8	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
3,0	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725

(Conclusão)

Módulo de finura da areia	Dimensão máxima característica do agregado graúdo ( $\phi_{m\acute{a}x.}$ )				
	9,5 mm	19 mm	25 mm	32 mm	38 mm
3,2	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
3,4	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
3,6	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Rodrigues, 1990 apud Boggio,2000.

Quinto passo é a estimativa do consumo de agregado miúdo, para 1,0 metro cúbico de concreto, o volume do agregado é dado pela equação abaixo:

$$V_m = 1 - \left( \frac{P_c}{\gamma_c} + \frac{P_{ag}}{\gamma_{ag}} + \frac{P_a}{\gamma_a} \right) \quad (4)$$

$$\gamma = \frac{P(kg)}{V(m^3)} \quad (5)$$

A escrita do traço é feita na sequência:

**Cimento:Areia:Brita:Água (Kg)**