



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
GOIÁS
CÂMPUS ANÁPOLIS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
DA MOBILIDADE – TCC 02**

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE
EM CONCRETOS COM ADIÇÃO DE CINZA E FIBRA DE BAGAÇO DE CANA-DE-
AÇÚCAR**

GABRIELA SILVA DE MEDEIROS

**ORIENTADOR(A): Prof. Dr. Thiago Eduardo Pereira Alves.
CO-ORIENTADOR(A): Prof. Dr. Paulo Francinete Silva Júnior.**

PUBLICAÇÃO:

**ANÁPOLIS
2022**

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Gabriela Silva de Medeiros.

Matrícula: 20171060130100

Título do Trabalho: Estudo da resistência à compressão e módulo de elasticidade em concretos com adição de cinza e fibra de bagaço de cana-de-açúcar.

Autorização - Marque uma das opções

- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

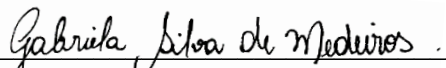
- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Anápolis, 04 /02/2022.


Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais.

GABRIELA SILVA DE MEDEIROS

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE
EM CONCRETOS COM ADIÇÃO DE CINZA E FIBRA DE BAGAÇO DE CANA-DE-
AÇÚCAR**

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil da Mobilidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Anápolis, como requisito para conclusão de curso.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Eduardo Pereira Alves.

ANÁPOLIS, 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

MEDEIROS, Gabriela Silva de

M488e Estudo da resistência à compressão e módulo de elasticidade em concretos com adição de cinza e fibra de bagaço de cana-de-açúcar / Gabriela Silva de Medeiros – Anápolis: IFG, 2022.
53 p. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Eduardo Pereira Alves.

Co-Orientador: Prof. Dr. Paulo Francinete Silva Júnior.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás: Câmpus Anápolis – Engenharia Civil da Mobilidade, 2022.

1. Engenharia Civil. 2. Concreto especial. 3. Materiais sustentáveis. 4. Resíduos sucroalcooleiros 5. Sustentabilidade. I. ALVES, Thiago Eduardo Pereira orien. II. SILVA JÚNIOR, Paulo Francinete co-orient. III. Título.

CDD 624.1

GABRIELA SILVA DE MEDEIROS

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE
EM CONCRETOS COM ADIÇÃO DE CINZA E FIBRA
DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR.**

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil
da Mobilidade do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Anápolis,
como requisito para conclusão de curso.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Eduardo Pereira Alves.

APROVADO EM 28 / 01 / 2022.

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Thiago E. P. Alves

**THIAGO PEREIRA ALVES, D. Sc. (IFG)
(ORIENTADOR)**

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Paulo Francinete Silva Junior

**PAULO FRANCINETE SILVA JUNIOR, D. Sc. (IFG)
(CO - ORIENTADOR)**

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Maria Tâmara M. G. Silva

**MARIA TÂMARA DE MORAIS GUIMARÃES SILVA, Dra. Sc. (IFG)
(EXAMINADORA INTERNA)**

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Sérgio Azevedo Coelho

**SÉRGIO AZEVEDO COELHO, M. Sc. (IFG)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

Documento assinado eletronicamente por:

- Maria Tamara de Moraes Guimaraes Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 31/01/2022 08:40:49.
- Paulo Francinete Silva Junior, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/01/2022 17:17:12.
- Sergio Azevedo Coelho, TECNICO DE LABORATORIO AREA, em 28/01/2022 16:24:54.
- Thiago Eduardo Pereira Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/01/2022 16:06:19.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 28/01/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 240446

Código de Autenticação: a4557bc5a8



ANÁPOLIS, 2022

" A sustentabilidade consiste em construir pensando no futuro"
(Renzo Piano)

DEDICATÓRIA

Dedicado à Deus e a todas as
pessoas que fizeram e fazem parte da minha vida.
Em especial meus pais, figuras de persistência e determinação,
que me deram força para chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me conduzir nesta jornada, me fornecendo muita paciência, calma, persistência, sabedoria e acima de tudo força e fé para prosseguir em minha trajetória até aqui.

Agradeço aos meus pais Divino Periquito e Sandra Cirilo, que sempre estiveram ao meu lado e não pouparam luta e suor para dar à sua filha uma educação digna e de qualidade. Sou grata também, a todos os ensinamentos, princípios morais e éticos, humildade, temência a Deus e todos os outros atributos ensinados durante toda a minha infância até o presente momento. Ensinamentos esses, que ficarão guardados em minha memória e que me tornaram a mulher que sou hoje. Da mesma forma, sou grata à minha família que me apoiou durante toda a minha vida.

Quero também oferecer esse trabalho à memória de minha madrinha Nilda Cirilo, que infelizmente não habita mais entre nós. Essa dedicatória marca todo o respeito e admiração que tenho por ela, pois essa mulher foi sinônimo de persistência e força e sei que lá do céu ela está olhando por mim e está muito feliz por minha conquista. Sem dúvida, sei como ela queria me ver formada. Pois é madrinha, com a finalização deste trabalho e do cumprimento de toda a carga horária, chegou o tão sonhado diploma de engenharia que eu tanto falava para a senhora.

Sou grata também aos meus grandes amigos que se tornaram irmãos, Bruno Victor e Letícia Cristina, por todo o apoio, suporte, persistência e força para prosseguir e vencer todos os desafios enfrentados no decorrer de todos esses anos de curso, os quais foram muito bem aproveitados no ponto de vista acadêmico, como também, em relação ao ponto de vista de crescimento pessoal.

Agradeço a meu namorado Isaac Yves, que nunca recusou apoio, incentivo e carinho. Obrigada meu amor por suportar todo o meu estresse, ansiedade e entender minha ausência.

A todos os meus professores do curso de Engenharia Civil da Mobilidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Anápolis, pela excelência da qualidade técnica, moral e pessoal de cada um.

Deixo um agradecimento especial ao meu orientador Thiago Eduardo e coorientador Paulo Francinete, pelo incentivo, persistência, apoio e dedicação ao meu projeto de pesquisa. Sou muito grata pela confiança depositada em mim e por me trazer a serenidade e resiliência perante aos desafios enfrentados durante todo o processo.

Por fim, venho agradecer aos funcionários do Instituto Federal de Goiás que contribuíram de forma direta e indireta para com minha formação e a conclusão deste trabalho.

RESUMO

O emprego de rejeitos sucroalcooleiros ao concreto proporciona alterações em suas propriedades, como por exemplo, o aumento da resistência à compressão. Sendo assim, este trabalho almeja avaliar a resistência à compressão e o módulo de elasticidade em concretos com a adição de fibra e cinza do bagaço de cana-de-açúcar de forma simultânea e individual. Para o alcance do objetivo proposto neste trabalho, foram realizadas as seguintes etapas: levantamento bibliográfico para coleta de informações a respeito da adição de fibra e cinza ao concreto; caracterização e preparação dos materiais, tendo como referência as normativas vigentes e referenciais bibliográficos e, por fim, a realização dos ensaios de compressão e módulo de elasticidade no concreto com as adições de 1% de fibra e 3,5% de cinza do bagaço de cana-de-açúcar. Foi apurado, por meio de ensaios, que as adições desses dois rejeitos ao concreto proporcionaram um aumento de sua resistência em relação ao concreto de referência (sem adição). Sendo que, o uso simultâneo desses resíduos, promoveu um aumento de resistência à compressão de 43,96%, obtendo o melhor resultado em relação à resistência à compressão quando comparado aos demais traços tanto com adições individuais da fibra e cinza de bagaço de cana-de-açúcar quanto ao traço de referência. Já em relação ao módulo de elasticidade, não foi averiguada uma alteração significativa em concretos com a adição simultânea ou individual destes resíduos. Logo, diante aos resultados satisfatórios coletados nesta pesquisa, pode se afirmar que o concreto desenvolvido é um material tecnicamente viável e sustentável.

Palavras-chave: Concreto especial; Material sustentável; Sustentabilidade; Materiais alternativos; Resíduos sucroalcooleiros.

ABSTRACT

The use of sugar-alcohol waste to concrete provides changes in its properties, such as an increase in compressive strength. Therefore, this work aims to evaluate the compressive strength and modulus of elasticity in concrete with the addition of fiber and sugarcane bagasse ash simultaneously and individually. In order to reach the objective proposed in this work, the following steps were carried out: bibliographic survey to collect information about the addition of fiber and ash to concrete; characterization and preparation of materials with reference to current regulations and bibliographic references and, finally, the performance of compression tests and modulus of elasticity in concrete with the additions of 1% fiber and 3.5% sugarcane bagasse ash. It was found that the additions of these two residues to the concrete provided an increase in its strength in comparison to the reference concrete (without addition). The simultaneous use of these residues promoted an increase in compressive strength of 43.96%, obtaining the best result in terms of compressive strength when compared to the other traits, both with individual additions of fiber and sugarcane bagasse ash in the reference trace. Regarding the modulus of elasticity, no significant change was found in concrete with the simultaneous or individual addition of these residues. Therefore, given the satisfactory results collected in this research, it can be said that the concrete developed is technically viable and sustainable material.

Keywords: Special concrete; Sustainable material; Sustainability; Alternative materials; Sugar and alcohol residues.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

CBC - Cinza do Bagaço de Cana-de-açúcar.

DMC - Dimensão Máxima Característica.

EDS - Espectroscopia de Energia Dispersiva de Raio X.

FBC - Fibra do Bagaço de cana-de-açúcar.

LabMic- Laboratório Multiusuário de microscopia de alta resolução.

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura.

MF - Módulo de Finura.

NBR - Norma Brasileira.

NM - Norma Mercosul.

PIB - Produto Interno Bruto.

UFG - Universidade Federal de Goiás.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Metodologia de preparação e tratamento da FBC.....	25
Figura 02 - Metodologia de preparação da CBC.....	26
Figura 03 - Metodologia de preparação do agregado miúdo.....	27
Figura 04 - Metodologia para a determinação da massa específica da FBC.....	28
Figura 05 - Metodologia para moldagem dos corpos de prova.....	31
Figura 06 - Metodologia do ensaio de compressão do concreto.....	32
Figura 07 - Metodologia do ensaio de módulo de elasticidade do concreto.....	32
Figura 08 - FBC natural, lavada, e tratada.....	33
Figura 09 - CBC recebida e preparada.....	35
Figura 10 - Microscopia FBC.....	39
Figura 11 - Microscopia CBC.....	42
Figura 12 - Resultados do abatimento em cm do concreto com traço adotado.....	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Absorção de água FBC com e sem tratamento.....	35
Gráfico 02 - Determinação da umidade crítica e do coeficiente de inchamento.....	36
Gráfico 03 - Curva granulométrica do agregado miúdo (média).....	37
Gráfico 04 - Curva granulométrica do agregado graúdo (média).....	38
Gráfico 05 - Espectro de energia dispersiva da FBC.....	40
Gráfico 06 - Curva granulométrica – CBC – Amostra 1.....	41
Gráfico 07 - Curva granulométrica – CBC – Amostra 1.....	41
Gráfico 08 - Espectro de energia dispersiva da CBC.....	43
Gráfico 09 - Gráfico comparativo das resistências à compressão do concreto	46
Gráfico 10 - Gráfico comparativo dos módulos de elasticidade do concreto.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Absorção de água FBC sem tratamento.....	33
Tabela 02 - Absorção de água FBC com tratamento.....	34
Tabela 03 - Coeficiente de inchamento do agregado miúdo.....	36
Tabela 04 - Composição granulométrica do agregado miúdo.....	37
Tabela 05 - Composição granulométrica do agregado graúdo.....	38
Tabela 06 - Composição granulométrica da CBC.....	41
Tabela 07 - Resistência à compressão do concreto em 7 dias e 28 dias.....	44
Tabela 08 - Crescimento percentual de resistência das adições em relação ao concreto de referência.....	45
Tabela 09 - Crescimento percentual de resistência das adições em relação às idades.....	46
Tabela 10 - Módulo de elasticidade do concreto em 7 dias e 28 dias	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1 OBJETIVOS.....	18
1.1.1 Objetivo geral.....	18
1.1.2 Objetivos específicos.....	18
2. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	18
2.1.1 Capítulo 01 – Introdução.....	18
2.1.2 Capítulo 02 - Revisão bibliográfica.....	19
2.1.3 Capítulo 03 – Metodologia.....	19
2.1.4 Capítulo 04 - Apresentação e análise dos resultados.....	19
2.1.5 Capítulo 05 – Considerações finais.....	19
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1. A RELEVÂNCIA DO CONCRETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	19
3.2. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO	20
3.3. CONCRETOS ESPECIAIS E SUA APLICABILIDADE PARA COM A SUSTENTABILIDADE.....	20
3.4. O SETOR AGROINDUSTRIAL E SUA GERAÇÃO DE RESÍDUOS.....	21
3.5. RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS E SUA APLICABILIDADE PARA UMA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL.....	22
3.6. USO DA CINZA DE CANA-DE-AÇÚCAR E SUA INFLUÊNCIA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E MÓDULO DE ELÁSTICIDADE DO CONCRETO	23
4. METODOLOGIA.....	24
4.1.PREPARAÇÃO E TRATAMENTO DA FBC.....	24
4.2.PREPARAÇÃO E TRATAMENTO DA CBC.....	26
4.3.CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	26
4.3.1 Caracterização do agregado miúdo	26
4.3.2 Caracterização do agregado graúdo	28
4.3.3 Caracterização da FBC.....	28

4.3.4 Caracterização da CBC.....	29
4.4. DEFINIÇÃO DOS PERCENTUAIS DE CBC E FBC.....	29
4.5.DEFINIÇÃO DO TRAÇO.....	29
4.6.MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA.....	30
4.7.ENSAIO DE COMPRESSÃO NO CONCRETO.....	31
4.8. ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO.....	32
5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	33
5.1 TRATAMENTO E PREPARAÇÃO DA FBC.....	34
5.2 PREPARAÇÃO DA CBC.....	35
5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	35
5.3.1 Caracterização do agregado miúdo	35
5.3.2 Caracterização do agregado graúdo	37
5.3.3 Caracterização da FBC.....	39
5.3.4 Caracterização da CBC.....	40
5.4 TRAÇO DO CONCRETO.....	43
5.5 ENSAIO DE COMPRESSÃO.....	44
5.6 ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	46
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	49
REFERÊNCIAS.....	50

1. INTRODUÇÃO

O setor do agronegócio é relevante na economia brasileira e gera riqueza contribuindo com cerca de 22% do produto interno bruto (PIB) do país (CANAL AGRO, 2020). Contudo, esse setor econômico gera um quantitativo excessivo de resíduos agroindustriais que, em muitas situações, não possuem um descarte correto desses rejeitos, contribuindo assim para a degradação do meio ambiente.

Mediante ao alto quantitativo de geração de rejeitos aliado a falta de uma solução adequada para o descarte dos mesmos, o setor agroindustrial ligado à área sucroalcooleira se destaca, pois são produzidos altos teores de rejeitos ligados ao processo produtivo de açúcar e etanol (FILHO; MARTINS, 2017). Tendo como referência esse alto quantitativo de rejeitos de fibra do bagaço de cana-de-açúcar (FBC) e da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC), foram constatados vários estudos vinculados à adição ou mesmo à substituição percentual dos insumos convencionais do concreto por esses resíduos. A fim de contribuir para a absorção desses rejeitos, como também trazer melhorias tais como aumento da resistência e durabilidade do concreto com esse tipo de adição.

O setor de pesquisa de materiais alternativos vem realizando experimentos relacionados à adição deste tipo de resíduo ao concreto. Em um estudo foi constatado que o módulo de elasticidade de um concreto com cinza de bagaço de cana-de-açúcar teve valores superiores à sua contraparte sem adição de cinzas (JAGADESH; RAMACHANDRAMURTHY; MURUGESAN, 2018). Já em experimentos com adição da fibra de cana-de-açúcar foi constatado na pesquisa que esse rejeito não apresentou certa mudança significativa quando comparado com o concreto sem adição de fibra (OLIVEIRA; GOUVEIA; TEIXEIRA, 2014). Na bibliografia não foi encontrado o desempenho do concreto em relação ao módulo de elasticidade quando há a adição simultânea de FBC e CBC.

Em relação a utilização de cinza e bagaço de cana mostrou possuir efeitos positivos na resistência à compressão do concreto. Foi observada que a proporção entre os materiais de agregado e a cinza/fibra alterou significativamente a mudança na resistência à compressão (CASTALDELLI et al., 2016). Estudos relacionados à compressão do concreto com a adição simultânea desses rejeitos não foram encontrados na bibliografia.

O presente trabalho faz análises do comportamento do concreto em relação a resistência à compressão e ao módulo de elasticidade com a adição de 3,5% de CBC e 1% de FBC e do uso simultâneo das proporções de CBC e FBC. Cabe salientar que essa adição percentual foi em relação a massa de cimento.

Em relação às análises, as mesmas ocorreram por meio dos resultados obtidos em ensaios normalizados de compressão e módulo de elasticidade em corpos de prova cilíndricos.

Portanto, esse trabalho visa avaliar o comportamento do concreto com adição de FBC e CBC em relação à resistência à compressão e ao módulo de elasticidade, a fim de se obter dados comparativos do concreto com e sem adição desses rejeitos. Ainda, é importante salientar a relevância de tal análise, pois não foram propostos na literatura estudos referentes ao comportamento de concretos com adição simultânea de FBC e CBC. Por isso, tal experimento poderá contribuir nos estudos acerca do comportamento do concreto em relação à resistência à compressão e ao módulo de elasticidade.

1.1 OBJETIVOS

Segue uma breve descrição a respeito dos objetivos vinculados a esse trabalho.

1.1.1 **Objetivo geral**

O objetivo geral desta pesquisa está vinculado à análise do comportamento do concreto com adição de FBC e CBC em relação a resistência à compressão do concreto e ao módulo de elasticidade.

1.1.2 **Objetivos específicos**

Com o intuito de se atingir o objetivo principal do trabalho, são considerados objetivos específicos:

- Coleta de informações a respeito da dosagem do concreto com o emprego de adições de FBC e CBC;
- Caracterização e tratamento dos insumos a serem utilizados na confecção do concreto;
- Definição do traço de referência e dos percentuais de adição de FBC e CBC.

2. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho de conclusão de curso está composto por 5 capítulos, onde tais capítulos estão estruturados da seguinte maneira:

2.1.1 **Capítulo 01 - Introdução:**

Neste capítulo é descrito de forma sucinta as informações acerca do tema, tais como, informações pertinentes a respeito do setor agroindustrial e da sua geração de resíduos e suas consequências ao meio ambiente, uso de adições de FBC e CBC e suas contribuições para as propriedades do concreto abordadas neste estudo. É discutido

também, a relevância e justificativa da temática proposta neste trabalho que se pretende realizar.

2.1.2 Capítulo 2 - Revisão bibliográfica:

Neste capítulo consta todo o levantamento das informações pertinentes ao tema proposto. Com um referencial teórico embasado em dissertações, teses, livros e artigos nacionais e internacionais. Com o intuito de se situar a respeito dos estudos e pesquisas realizados pela comunidade científica e alcançar o conhecimento e dados necessários para o entendimento da temática aqui abordada. Bem como, os possíveis procedimentos e planejamentos a serem realizados tendo como referência toda a fundamentação coletada.

2.1.3 Capítulo 3 - Metodologia:

Neste capítulo consta a metodologia empregada para o desenvolvimento do trabalho.

2.1.4 Capítulo 04 – Apresentação e análise dos resultados:

Neste capítulo são apresentados e discutidos todos os resultados e considerações que foram levantados neste trabalho.

2.1.5 Capítulo 05 – Considerações finais:

Neste capítulo constam todas as conclusões e possíveis descobertas feitas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A RELEVÂNCIA DO CONCRETO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.

No setor estrutural da construção civil, uma das razões do concreto possuir uma alta aplicabilidade é em razão de sua trabalhabilidade e resistência. Visto que, dispõe em seu estado fresco de um comportamento de se deformar sob uma tensão aplicada e se manter na forma estabelecida quando é cessada essa tensão. Em virtude dessa propriedade, é possível a criação de peças com formas e dimensões variadas, resistentes aos esforços solicitantes demandados das construções (ISAIA, 2011).

Outro aspecto notório no concreto que justifica sua alta aplicabilidade no setor construtivo é o baixo custo e facilidade de aquisição do insumo para a obra, em decorrência de seus constituintes (cimento, água, areia e brita) serem acessíveis no que se refere a custo e exploração. Sem dúvida, que o valor e facilidade são fatores plausíveis de escolha de insumos para a obra (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Sendo assim, é evidente a importância do concreto seja na questão financeira, estrutural e comportamental no setor da engenharia civil.

3.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO.

A resistência à compressão do concreto é um dos parâmetros mais importantes a ser avaliado. Essa propriedade está vinculada à qualidade e eficiência do concreto quando submetido a tensões. Tal resistência está correlacionada à integridade da estrutura da pasta de cimento, ou seja, a presença de poros e descontinuidades que acarretam na diminuição da resistência do concreto. Outro fator que pode interferir na diminuição da resistência, é a microfissuração causada entre o agregado e a interface da pasta de cimento. O fator principal que deve ter maior atenção, durante o processo de produção do concreto é a relação água / cimento que está diretamente vinculada com a sua resistência, devido ao fato de que esta relação determina a porosidade da pasta de cimento e, conseqüentemente, afeta o seu comportamento de resistibilidade (NEVILLE; BROOKS, 2013). A quantificação dessa resistência do concreto é medida por meio de ensaios normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Norma Brasileira (NBR) 5739 (ABNT, 2018).

Em um projeto estrutural a capacidade de resistência do concreto perante as tensões impostas é imprescindível, o que torna a verificação dessa propriedade relevante. Mas cabe salientar, que sempre há uma deformação associada à tensão das cargas solicitantes em uma estrutura. Portanto, a relação entre tensão e deformação é um fator que também deve, atentar-se durante a elaboração de um projeto estrutural (NEVILLE, 2016). Essa associação é determinada por meio da razão entre tensão e deformação do material no sistema elástico (capacidade do material em voltar ao estado normal quando cessada a tensão), no qual se nomeia de módulo de elasticidade do concreto. Tal propriedade varia em função do traço, agregados, adensamento e cura do concreto (SCHNEIDER, 2020), a metodologia para a determinação desse módulo segue as orientações estabelecidas pela ABNT NBR 8522-1 (ABNT, 2021a).

3.3 CONCRETOS ESPECIAIS E SUA APLICABILIDADE PARA COM A SUSTENTABILIDADE.

O concreto proporcionou à construção civil uma maior versatilidade, durabilidade e eficiência em obras ligadas à infraestrutura. Entretanto, mediante a crescente demanda relacionada às melhorias nas propriedades do concreto, uma maior durabilidade e resistência pode ser adquirida com a mistura de materiais especiais ao concreto. Assim sendo, por meio da inserção de novos aditivos e adições minerais ao concreto, surge o que denominamos de concretos especiais.

Em concretos especiais, experimentos ligados às adições de insumos alternativos como garrafa PET, borracha, vidro, casca de arroz e cinza e fibra vegetais, podem contribuir para uma redução do impacto ambiental. Principalmente porque, o uso desses insumos alternativos promove a reciclagem dos mesmos reduzindo, assim, o alto quantitativo desses rejeitos no ambiente, como também, melhorias ao concreto. Logo, o uso de tais resíduos ao concreto se torna relevante para localidades que produzem diariamente um quantitativo altíssimo de resíduos.

3.4 O SETOR AGROINDUSTRIAL E SUA GERAÇÃO DE RESÍDUOS.

Mesmo com toda a geração de riqueza e desenvolvimento econômico promovido pelo setor agroindustrial, infelizmente é gerada uma alta quantidade de resíduos ligados ao processo produtivo. Um estudo ligado à área ambiental e sanitária aponta que a agroindústria brasileira é responsável por um quantitativo alto de resíduos e que a maioria desses rejeitos não são reaproveitados e são descartados de forma inadequada, o que pode acarretar na degradação e contaminação do meio ambiente (GOMES VIANA; SILVA CRUZ, 2016).

A produção de rejeitos ligados a usinas sucroalcooleiras é consideravelmente grande, sendo que no processo de produção do etanol são gerados rejeitos de folhas, palhas, bagaço e vinhaça. Segundo GOMES VIANA e SILVA CRUZ (2016) :

(...) A vinhaça é um subproduto de alta importância para a lavoura, pois é rico em sais minerais, mas também é um agente poluidor do ambiente. Se não for tratada e utilizada corretamente, pode poluir rios e o solo, causando danos à fauna e às populações que habitam esses ecossistemas. A produção de 1 L de álcool produz cerca de 14 L de vinhaça. O processamento de 100 toneladas de cana-de-açúcar rende, nas usinas de produção de álcool, em média 91 m³ de vinhaça.

As indústrias de produção de celulose também são responsáveis por uma produção elevada de rejeitos de madeira tais como fibras e cinzas (RODRIGUES, 2004). Em indústrias ligadas ao processamento de grãos e frutas a produção de rejeitos de palha, bagaço, cascas e sementes também é consideravelmente grande. A produção agrícola do arroz é um exemplo, a geração de palha e casca que são concebidas nesse processo equivale a 20% ou 25% do peso desse grão (MATOS, 2014). Tendo essas informações a respeito da alta produção de resíduos e descarte inadequado desses resíduos no meio ambiente são necessários estudos que promovam a reutilização de tais rejeitos, a fim de, contribuir para o desenvolvimento sustentável, preservação do meio ambiente e das fontes não renováveis.

3.5 RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS E SUA APLICABILIDADE PARA UMA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL.

Com a alta geração de resíduos provindos do setor agroindustrial e o descarte incorreto dos mesmos, aliado ao aumento do valor monetário dos insumos referentes à produção do concreto, a procura de materiais alternativos se torna realidade, o que promoveu estudos referentes a adição desses rejeitos na produção de um concreto “verde”, pois com a aplicação destes resíduos na produção pode levar à melhoria da resistência do concreto (RAHEEM; IKOTUN, 2020).

Estudos relacionados à incorporação de cinzas no concreto provindas da queima de espigas de milho, mostram que essas cinzas tem elevado teor de sílica de 66,38% (ADESANYA; RAHEEM, 2009a), o que permite a utilização da mesma como material pozolânico (diminuição da permeabilidade do concreto ao longo do tempo), podendo ser misturado com cimento no local durante a produção do concreto ou misturado com clínquer durante a confecção de misturas na fábrica (RAHEEM; IKOTUN, 2020). Contudo, a adição dessa cinza afeta a consistência do concreto, que requer mais água para ser trabalhável, devido a finura do material, que possui uma elevada área específica. Em um estudo, foi mostrado que o cimento misturado com a cinza de espigas de milho apresentou um maior ganho percentual de resistência do que o concreto com insumos usuais. (ADESANYA; RAHEEM, 2009b). Experimentos relacionados ao emprego da cinza do bagaço de cana-de-açúcar no concreto apontam também o comportamento pozolânico desse insumo alternativo, mas cabe atentar que para atingir essa característica deverá haver um controle da temperatura de calcinação do bagaço de cana de açúcar a uma temperatura de 600 °C com uma taxa de aquecimento de 10 °C / minuto resulta em uma sílica amorfa (CORDEIRO; TOLEDO FILHO; FAIRBAIRN, 2009). Foi também avaliado o uso da cinza como incorporação de material de enchimento em concreto autocompactante e teve como resultado um bom desempenho em relação ao nível de força de auto compactação tornando o emprego desse rejeito aplicável (MORETTI; NUNES; SALES, 2018).

Em pesquisas relacionadas à reutilização de dejetos, foi estudada a utilização da fibra natural de sisal em blocos de concreto estruturais onde foi observado que houve um aumento de vazios e ar incorporado, em relação a resistência às tensões de tração as fibras vieram como reforço estrutural eficiente e cabe atentar também, que houve um ganho de capacidade de deformação, fazendo com que a aplicação desse tipo de rejeito torne eficiente em relação a ductilidade. E ainda foi observado, que a dimensão da fibra colabora para a resistência dos

blocos em concreto, mediante a uma melhor acomodação destas fibras nesses blocos (IZQUIERDO, 2011).

Um estudo recente de 2021, feito no Egito a respeito da incorporação de fibras de bagaço de cana de açúcar em tijolos de cimento, objetivaram avaliar a adição de fibra para redução de custos em insumos ligados à produção desses tijolos. Em relação ao desempenho dos tijolos com essa adição houve a melhoria da resistência (MICHEAL; MOUSSA, 2021).

Mediante as pesquisas aqui apresentadas a respeito da utilização de fibras e cinzas de rejeitos agroindustriais é evidente a relação entre sustentabilidade e melhoria no desempenho do concreto com esse tipo de adição alternativa. Em vista disso, estudos com essa temática possuem alta diversidade devido às infinitudes de combinações de adição de resíduos que poderão ser estudadas. As descobertas de diversas propriedades com experimentos futuros devem ser incentivadas, como também, o papel sustentável em relação à redução do quantitativo de resíduos, que são descartados de forma errônea no meio ambiente.

3.6 USO DA CINZA DE CANA-DE-AÇÚCAR E SUA INFLUÊNCIA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E NO MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO.

A resistência à compressão é um parâmetro imprescindível à avaliação da qualidade do concreto, sendo relacionado à segurança e estabilidade estrutural.

A utilização de cinza e bagaço de cana mostrou possuir efeitos positivos na resistência à compressão do concreto. Foi observada que a proporção entre os materiais de agregado e a cinza/fibra alterou significativamente a mudança na resistência à compressão. Neste estudo, análises de termogravimetria, pH e condutividade elétrica corroboraram na avaliação da força mecânica do concreto. Por fim, foi observada uma resistência à compressão superior no concreto modificado com fibra e cinza de cana-de-açúcar em relação à sua contraparte não modificada (CASTALDELLI et al., 2016). Em outro foi observada que a adição de 10 a 30% de cinzas na produção do concreto condensou a mistura e reduziu seu conteúdo de ar (JURA; ULEWICZ, 2021).

O módulo de elasticidade também é um parâmetro muito importante no desenvolvimento de estruturas de concreto e está relacionado com a flexibilidade e maleabilidade do concreto. O módulo de elasticidade, promove uma maior resistência do concreto às avarias relacionadas à sua deformação por tensões.

Em um estudo foi avaliado, a adição de cinzas mostrou pouca mudança tanto no módulo de elasticidade quanto na resistência à compressão em uma pré-mistura de concreto de ultra alta performance (ultra-high performance concrete). Assim sendo, o material barato e mais acessível

vindo de resíduos agroindustriais foi capaz de desempenhar a mesma performance de materiais de concreto de alta performance, que possuem um custo mais elevado (ALSALMAN et al., 2017).

Portanto, foi possível avaliar a partir das conclusões destes estudos que a adição de bagaço e cinza de cana tem alto potencial de benefícios em relação ao custo e performance do concreto alternativo.

4 METODOLOGIA

4.1 PREPARAÇÃO E TRATAMENTO DA FBC.

A FBC utilizada neste trabalho foi coletada na Usina Jalles Machado localizada em Goianésia-Goiás. Após a coleta do material esse foi devidamente preparado, por meio da lavagem em água corrente, secagem ao ar, peneiramento mecânico e tratamento químico com silicato de sódio e sulfato de zinco.

Para retirada de impurezas presentes no material a FBC foi lavada em água corrente em pequenas porções na peneira de 4,8 mm, até estas se apresentarem visualmente limpas, em seguida espalhadas sob uma lona e seca ao ar livre.

Após a conclusão desta etapa, foi realizado o peneiramento da FBC em um agitador mecânico nas peneiras de 4.8 mm, 2 mm e fundo respectivamente durante 5 minutos. O comprimento médio adotado para o projeto de pesquisa foi de 10 mm a 30 mm, ou seja, foram utilizadas as FBC retidas nas peneiras de 4,8 e 2 mm e o material retido no fundo descartado.

Finalizada a etapa de peneiramento, iniciou-se o processo de tratamento da FBC com o intuito de promover uma camada de proteção na fibra à matriz cimentícia e diminuir a absorção de água na fibra (impermeabilização). Tal tratamento químico foi definido em acordo aos referenciais teóricos, tendo como consideração os resultados, materiais e procedimentos mais viáveis para a pesquisa. O processo de execução desta etapa, baseou-se inicialmente na imersão completa das fibras em uma solução de 5% de silicato de sódio (NaSiO_3) por uma hora e posterior secagem superficial com auxílio de um pano limpo, seguido por uma nova imersão, agora na solução de 30% de sulfato de zinco (ZnSO_4) por um período de uma hora e nova secagem superficial com um pano e finalizado com secagem em estufa.

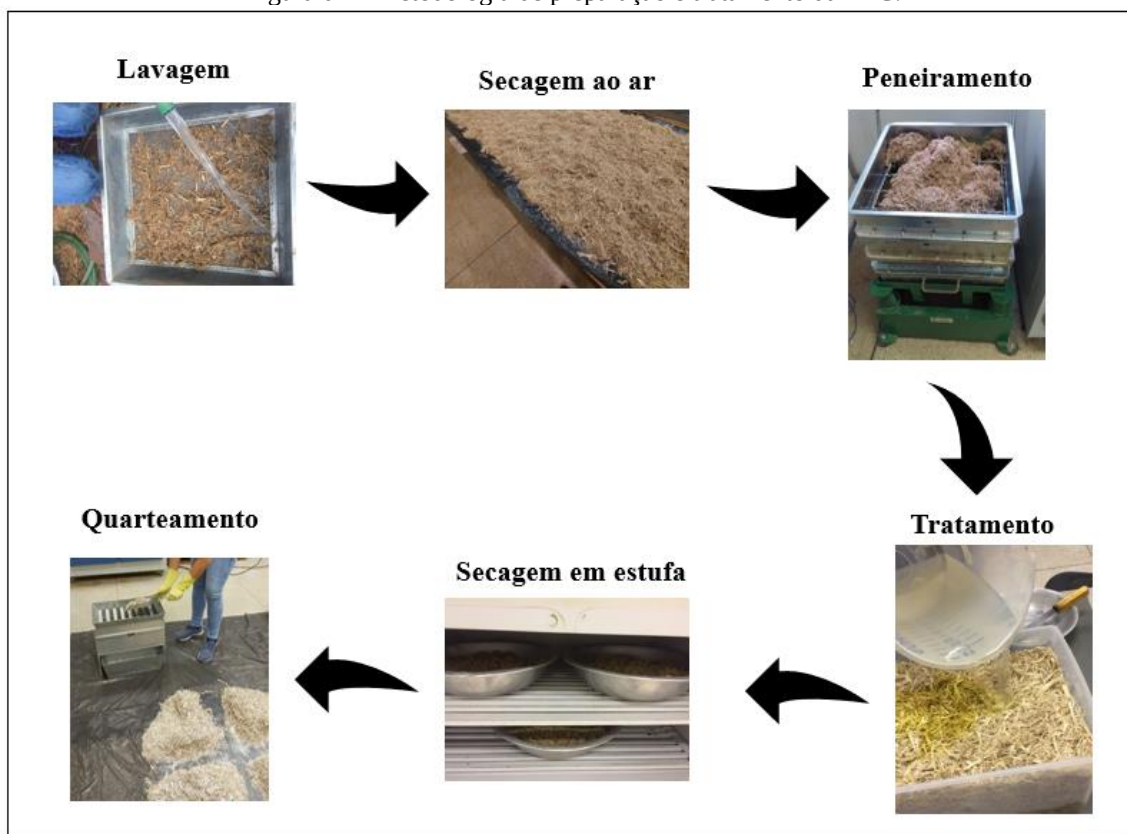
A preparação desta solução empregada na FBC consistiu na dissolução de tais elementos aqui descritos em água destilada. Após o tratamento e secagem em estufa, foi coletada uma amostra da mesma para a realização de um ensaio de absorção de água, a fim de, determinar se o tratamento aplicado foi satisfatório ou não.

O ensaio de absorção de água consistiu em mergulhar uma massa conhecida de FBC (sem tratamento) em água e outra tratada por igual em pré determinado período de tempo, seguida de secagem superficial e nova medição da massa, para que fosse possível determinar a quantidade de água que é absorvida pela fibra natural e pela fibra tratada.

Nessa perspectiva, as metodologias para a preparação, tratamento e medição da absorção de água das fibras aqui descritas, foram baseadas e adaptadas de referenciais teóricos, principalmente de Ramirez Sarmiento (1996), considerando a inexistência atual de normativas para esse material.

Por fim, após a FBC ser tratada e seca, seguindo as recomendações da norma NBR 16915 (ABNT, 2021b) foi realizada a separação de amostras por meio de um separador mecânico. A figura 01 abaixo mostra de forma simplificada e resumida toda a metodologia descrita:

Figura 01 – Metodologia de preparação e tratamento da FBC.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Após o tratamento dessas fibras, foi retirada uma pequena amostra de FBC para ser realizada microscopia eletrônica de varredura (MEV) e uma espectroscopia de energia dispersiva de raio X (EDS). A fim de, analisar sua morfologia, microestrutura, composição e cristalinidade da amostra. Cabe atentar que, tal análise foi feita no Laboratório Multiusuário de microscopia de alta resolução (LabMic) da Universidade Federal de Goiás (UFG) em Goiânia.

4.2 PREPARAÇÃO DA CBC.

A CBC utilizada nesta pesquisa também foi coletada na Usina Jalles Machado, o processo de preparação deste material consistiu na secagem em estufa, quarteamento e armazenamento das amostras em sacos plásticos.

Primeiramente foi realizado o processo de secagem em estufa por 48 horas para a secagem completa do material. Em seguida, essa CBC foi quarteada de acordo com a NBR 16915(ABNT, 2021b). O procedimento é relevante, pois o material utilizado não possui um controle técnico de sua queima e tal amostra também pode ter sido coletada em diferentes localidades do forno, o que possibilita características e comportamentos diferentes. Logo, a aplicação do quarteamento visou homogeneizar a amostra de CBC a ser trabalhada.

Cabe atentar que, após realizado o quarteamento da amostra de CBC, essa foi pesada e armazenada em amostras individuais. Essa prática, teve como objetivo a homogeneização das amostras durante a sua utilização das amostras, evitando erros na coleta pela deposição do material menos fino no fundo, o que gera prejuízo à reprodutibilidade. A figura 02 abaixo mostra de forma sucinta a metodologia aplicada nesta etapa.

Figura 02 – Metodologia de preparação da CBC.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Logo após, foi retirada uma pequena amostra de CBC para ser realizada uma MEV e uma EDS. Com o intuito de analisar a sua morfologia, microestrutura, composição e cristalinidade da amostra. Cabe atentar que, tal análise foi feita pelo LabMic na UFG.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.

4.3.1 Caracterização do agregado miúdo.

Anteriormente à caracterização do agregado miúdo, foi realizado o peneiramento manual na peneira de malha de 4,75 mm e o material passante nesta foi seco na estufa a 105 °

C durante o período de 24 horas. Realizada essa etapa, o material foi quarteado por um separador mecânico de acordo com a normativa NBR 16915 (ABNT, 2021b). A figura 03 a seguir, mostra a metodologia descrita:

Figura 03 – Metodologia de preparação do agregado miúdo.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Realizado esse procedimento, foi feito o ensaio de absorção de água no agregado miúdo seguindo a normativa NBR 16916 (ABNT, 2021c). Foram obtidos os seguintes dados: peso 01 (amostra mais peso do recipiente) = 706,6g, peso 02 (areia + água + mais peso do frasco) = 1011,3g e peso 03 (após a secagem ao final do ensaio) = 497,4g. Os dados foram inseridos na fórmula indicada na normativa e determinaram a absorção de água do agregado miúdo.

Posteriormente, foram realizados os cálculos obtendo a massa específica do agregado seco e a massa específica do agregado saturado superfície seca. Essa determinação teve como referência a norma NBR 16916 (ABNT, 2021c) que trata da definição da massa específica e massa específica aparente do agregado miúdo.

Finalizada essa etapa, foi possível traçar o gráfico da curva de inchamento de acordo com as adições de água para cada teor de umidade. A metodologia para a determinação do inchamento foi de acordo com a NBR 6467 (ABNT, 2006) que trata a respeito da determinação do inchamento de agregado miúdo.

Finalizada essa etapa, foi realizado o ensaio que determina a massa unitária e o índice de vazios de acordo com a normativa NBR 16972 (ABNT, 2021d). Primeiramente foi pesado o recipiente que continha uma massa de 3,240 kg e medido o seu volume, tendo o valor de 15,130 dm³. Seguindo a metodologia da norma, obteve-se os resultados para massa unitária média na condição solta e na condição compacta.

Em seguida, o agregado miúdo foi adicionado a uma série de peneiras sucessivas com aberturas e ordenamento conforme descrito na normativa NBR NM (Norma Mercosul) 248

(ABNT,2003) . Adiante, a série de peneiras foram encaminhadas para um agitador mecânico e com as massas retidas em cada peneira, foi determinada a composição granulométrica do agregado miúdo.

4.3.2 Caracterização do agregado graúdo.

De maneira semelhante ao agregado miúdo, houve o quarteamento das amostras de agregado graúdo, conforme a NBR 16915 (ABNT, 2021b). Após a realização deste quarteamento, foi determinada a granulometria do material conforme o estabelecido na NM 248 (ABNT,2003), onde foram pesadas duas amostras com 5000 gramas e conforme as indicações estabelecidas em norma se obteve a classificação de brita para o agregado graúdo utilizado na pesquisa.

Após determinada a granulometria do material foi determinada a massa específica, massa específica aparente e absorção de água seguindo as orientações e metodologias contidas na NBR 16917(ABNT, 2021e).

Posteriormente foi determinada a massa unitária e o índice de vazios em acordo com a normativa NBR 16972 (ABNT, 2021d).

4.3.3 Caracterização da FBC.

Em relação à caracterização da FBC, foi determinada a massa específica da fibra natural e tratada por volume de líquido deslocado. Para a determinação desse índice físico, a FBC foi adicionada (em seu estado natural e tratada) em provetas de vidro que continham álcool e a partir do volume deslocado de álcool foi determinada a massa específica da FBC. A figura 04 abaixo demonstra o procedimento descrito:

Figura 04 – Metodologia para a determinação da massa específica da FBC.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Cabe salientar, que as leituras foram realizadas imediatamente após a adição das fibras

ao álcool conforme recomendado na referência adotada. Essa metodologia foi baseada e adaptada de referenciais teóricos, principalmente de Ramires Sarmiento (1996), devido ao fato de não haver normativas de caracterização deste material.

4.3.4 Caracterização da CBC.

Em relação à caracterização da CBC, foi realizado primeiramente o ensaio de granulometria, tendo como referência a normativa NM 248 (ABNT, 2003). Contudo, para essa etapa foi necessária uma adaptação. Foi ajustado o quantitativo de massa utilizada para 150 gramas, devido o material apresentar uma menor densidade.

Em razão da facilidade de dispersão da CBC, houve uma maior cautela em relação ao trabalho com a mesma para se obter o mínimo de perdas possível. O material foi ensaiado conforme as diretrizes normativas da norma aqui descrita.

Posteriormente, foi realizado o ensaio de determinação da massa específica conforme NBR 16605 (ABNT, 2017). Nesse processo, foi adicionado no frasco de *Le Chatelier* o querosene e posteriormente a cinza. Após isso, seguindo a metodologia estipulada em norma foi determinada a massa específica.

Por fim, foi determinada a massa unitária da CBC tendo como referência a normativa NBR 16972 (ABNT, 2021d).

4.4 DEFINIÇÃO DOS PERCENTUAIS DE CBC E FBC.

A princípio, para o trabalho de conclusão de curso seria estabelecido a escolha de diferentes proporções de adição de CBC e FBC e com isso se faria uma análise fatorial com essas diferentes proporções. Todavia, ficou estabelecido o estudo com 1% de FBC, 3,5% de CBC e a adição simultânea dos dois materiais nessas mesmas proporções, devido ao tempo proposto para a realização do trabalho, aos vários ensaios realizados envolvendo a escolha do traço de um concreto viável e o quantitativo de material tratado disponível.

4.5 DEFINIÇÃO DO TRAÇO.

Para a escolha do traço, teve-se como parâmetro o experimento de *slump test*, referenciado na normativa determinada pela NBR 16889 (ABNT, 2020) e por meio de testes empíricos.

Foram realizados com o tronco cônico vários ensaios de consistência, cujo processo executivo está baseado na aplicação de três camadas de concreto na cavidade do tronco e aplicados 25 golpes com haste metálica em cada camada. Em seguida, foi feita a retirada deste

tronco cônico e foi medida a altura do concreto em relação ao tronco cônico. Dessa forma, teve-se o abatimento em mm deste concreto. Realizadas várias tentativas empíricas com diferentes tipos de traços, foi determinado um traço padrão para a moldagem dos corpos de prova. Esse traço padrão foi de 1 de cimento para 1,75 de areia para 2,25 de brita para uma relação de água/cimento de 0,55. Tal traço aqui descrito foi estabelecido de acordo com a experiência laboratorial realizada in loco onde foi fixado um teor de argamassa de 55% e um fator de proporção entre cimento e agregados de 4 (fator M).

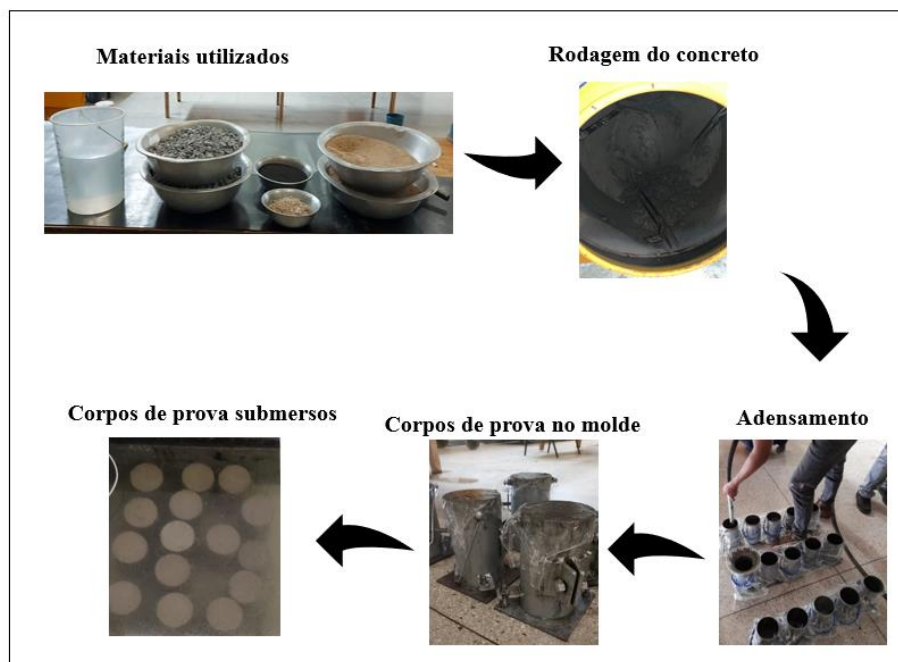
4.6 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA.

Após a determinação do traço e das respectivas porcentagens de CBC e FBC. Foi iniciada a etapa de moldagem dos corpos de prova a serem utilizados nos ensaios posteriores. Para a moldagem de corpos de prova, foi utilizada a normativa NBR 5738 (ABNT, 2016).

Com a determinação do quantitativo de material (cimento, areia, brita, água, CBC e FBC) determinados em função do volume e traço, os insumos foram colocados em bacias metálicas e posteriormente pesados. Após finalizada essa etapa, a betoneira utilizada no trabalho foi umidificada previamente antes da rodagem. Pesados os materiais e com a betoneira ainda estando úmida, foi adicionada a brita, o cimento e um terço da água (para o concreto com adição de CBC, o resíduo foi colocado nesse momento). Após adicionados, a betoneira foi ligada durante dois minutos. Logo após, foi realizada a raspagem das laterais com o auxílio de uma pá de pedreiro e adicionada a areia e o restante da água seguida de rodagem por mais sete minutos. Passada essa etapa, foi feita outra raspagem lateral e novo ciclo de rodagem por mais sete minutos, (para o concreto com adição de FBC, o resíduo foi colocado nesse momento) seguido de nova pausa para raspagem e outra rodagem por um minuto.

Com a massa de concreto pronta, foram moldados e adensados os corpos de prova em moldes cilíndricos com diâmetros de cem milímetros e comprimento de duzentos milímetros de acordo com a normativa aqui descrita. Após adensados e tendo sua superfície rasada com o auxílio de uma pá de pedreiro, foi adicionado papel filme na superfície desses moldes com o intuito de promover a cura por igual de todo o corpo de prova. Aguardadas as 24 horas contadas desde a rodagem do concreto, esses corpos foram desmoldados e encaminhados para um tanque com solução saturada de cal. Esses corpos de prova ficaram submersos no tanque até a chegada das idades de sete dias e vinte e oito dias para serem ensaiados. A figura 05 abaixo, mostra de forma sucinta o que foi realizado nessa etapa:

Figura 05 – Metodologia para moldagem dos corpos de prova.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

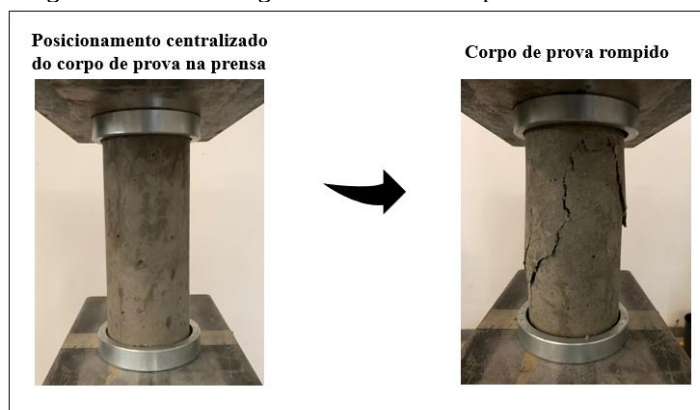
Cabe atentar que, nessa etapa foram moldados um quantitativo total de 48 corpos de prova sendo 12 corpos de prova para cada traço (traço de referência, traço com 1% de FBC, traço com 3,5% de CBC e traço com 1% de FBC e 3,5% CBC) considerando triplicatas para cada idade escolhida para ensaios posteriores. É importante salientar que tais percentuais de CBC e FBC adotados foram escolhidos mediante ao experimentação prática no laboratório.

4.7 ENSAIO DE COMPRESSÃO NO CONCRETO.

Chegada as idades de sete e vinte e oito dias dos corpos de prova, estes foram retirados do tanque com solução saturada de cal e posteriormente tiveram as superfícies secas com o auxílio de um pano limpo. Posteriormente foram encaminhados para a realização do ensaio de compressão, onde a metodologia aplicada foi em acordo com a normativa NBR 5739 (ABNT, 2018).

Após secos os corpos de prova, estes foram encaminhados para a prensa hidráulica do laboratório. Cabe salientar que foi utilizado um conjunto de Neoprene nas superfícies superior e posterior dos corpos de prova, a fim de se ajustar a superfície dos mesmos com a superfície da prensa. O ensaio foi realizado com as triplicatas de cada traço e idades aqui descritas. Abaixo, a figura 06 mostra a etapa descrita:

Figura 06 – Metodologia do ensaio de compressão do concreto.

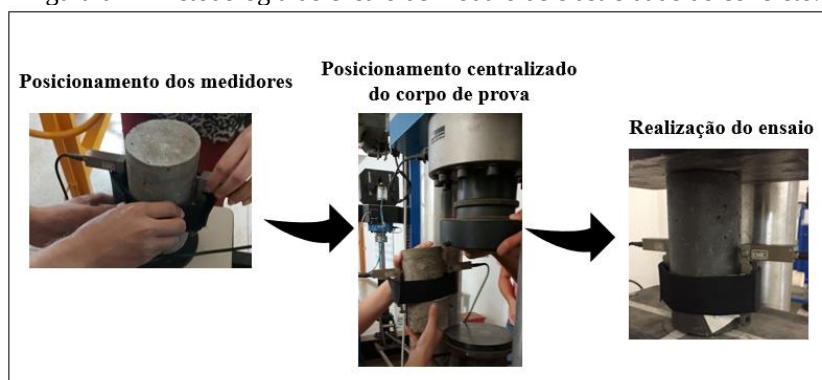


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

4.8 ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO.

Após realizado o ensaio de compressão do concreto, foi iniciado o ensaio de módulo de elasticidade tendo como referência a normativa da NBR 8522-1 (ABNT, 2021a). Primeiramente o corpo de prova a ser ensaiado foi retirado do tanque e sua superfície foi seca com o auxílio de um pano. Logo após, foram colocados os medidores de deslocamento de forma oposta e em mesmo nível em relação um ao outro. Cabe atentar que para a escolha do local de instalação dos aparelhos, foi dada a preferência a um local com superfície o mais lisa possível (sem broca). Posicionados esses aparelhos, o corpo de prova foi colocado na prensa e foi dado início ao ensaio que foi baseado no carregamento e descarregamento do corpo de prova para a determinação do módulo de elasticidade. A figura 07 a seguir mostra a etapa descrita:

Figura 07 – Metodologia do ensaio de módulo de elasticidade do concreto.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 TRATAMENTO E PREPARAÇÃO DA FBC.

Como descrito anteriormente na metodologia, a FBC recebida foi preparada e tratada. Abaixo a figura 08 que mostra a fibra recebida, lavada e tratada:

Figura 08 – FBC natural, lavada e tratada.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Ao observar a imagem acima é notável a mudança na aparência da FBC. A FBC recebida apresentava muitos finos que foram eliminados com a lavagem e peneiramento. A respeito do tratamento da FBC, também foi notada uma mudança visual onde a fibra apresentou uma coloração mais clara do que a fibra natural. Essa coloração é resultado do tratamento realizado.

A respeito do tratamento, foi realizado um ensaio de absorção para a verificação da eficácia. Abaixo seguem as tabelas 01 e 02 que mostram numericamente os dados obtidos em relação à absorção da FBC sem tratamento e com tratamento:

Tabela 01 – Absorção de água FBC sem tratamento.

Tempo de imersão em H2O (min)	Peso da amostra (20 g)+H2O (g)	Peso de H2O absorvida (g)
1	44	24
2	46	26
3	46,5	26,5
4	47,1	27,1
5	48,2	28,2
10	48,5	28,5
15	49,6	29,6
20	50,1	30,1
25	51,3	31,3
30	52,7	32,7
60	53,2	33,2
120	55,6	35,6
180	57	37

Tempo de imersão em H2O (min)	Peso da amostra (20 g)+H2O (g)	Peso de H2O absorvida (g)
1440 (24 horas)	69	49
2880 (48 horas)	76	56
4320 (72 horas)	79	59

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

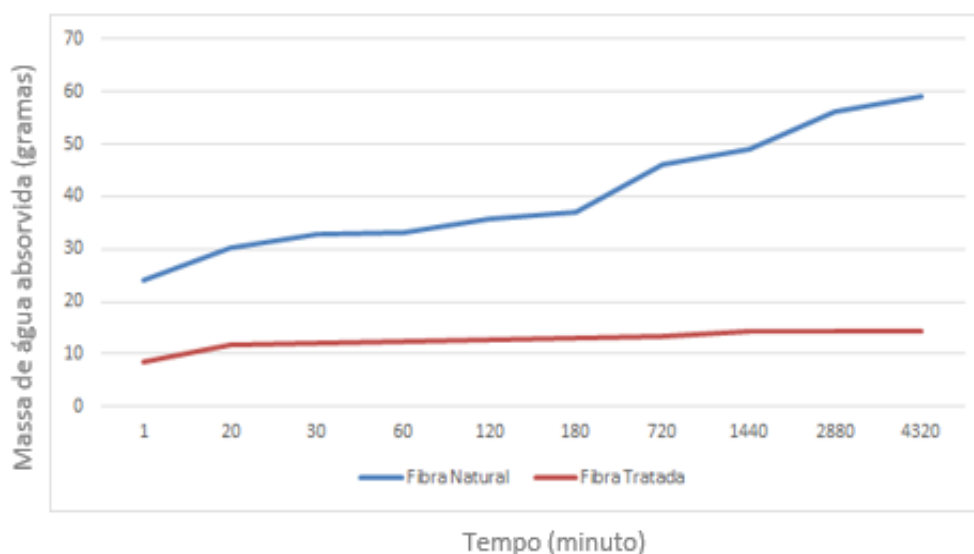
Tabela 02 – Absorção de água FBC com tratamento.

Tempo de imersão em H2O (min)	Peso da amostra (20 g)+H2O (g)	Peso de H2O absorvida (g)
1	28,5	8,5
2	28,9	8,9
3	29,4	9,4
4	30,6	10,6
5	30,9	10,9
10	31,2	11,2
15	31,3	11,3
20	31,8	11,8
25	31,9	11,9
30	32	12
60	32,3	12,3
120	32,6	12,6
180	32,9	12,9
720 (12 horas)	33,5	13,5
1440 (24 horas)	34,3	14,3
2880 (48 horas)	34,5	14,5
4320 (72 horas)	34,5	14,5

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Analisando as tabelas 01 e 02 acima é possível notar que após 1 minuto de imersão, a fibra natural ficou saturada absorvendo mais água que a sua própria massa e chegando após 72 horas de imersão a quase o triplo desse valor. Enquanto a fibra tratada absorveu menos da metade de sua massa após 72 horas de imersão. Em termos percentuais, o teste de absorção de água mostrou uma redução de 65,26% na absorção de água para fibras tratadas com 5% de silicato de sódio (NaSiO₃) e 30% de sulfato de zinco (ZnSO₄). Portanto, esse valor é superior à faixa mínima de redução da absorção de água entre 50% e 60% indicada por uma pesquisa relacionada a FBC (SARMIENTO, 1996). Isso mostra que o tratamento foi satisfatório. O gráfico 01 abaixo mostra de maneira mais clara os dados contidos nas tabelas anteriores (tabelas 01 e 02). Esse gráfico demonstra visualmente a diferença de água absorvida da FBC com e sem tratamento ao longo do tempo de ensaio.

Gráfico 01 – Absorção de água FBC com e sem tratamento.

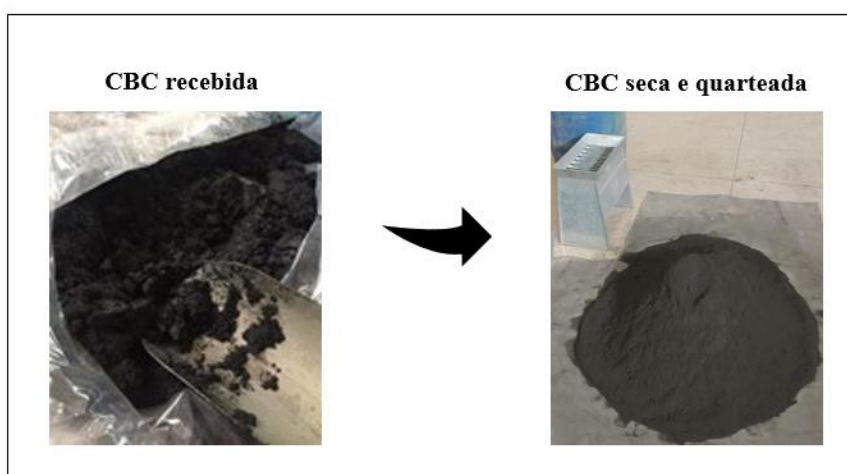


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

5.2 PREPARAÇÃO DA CBC.

A metodologia aqui descrita, a respeito da cinza, foi devido à CBC recebida estar saturada, uma vez que, após a queima, os funcionários da empresa jogam água para evitar a sua dispersão. Nesse sentido, o material foi seco em estufa. Abaixo segue a figura 09 que mostra a cinza antes e após a preparação:

Figura 09 – CBC recebida e preparada.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.

5.3.1 Caracterização do agregado miúdo.

Após empregada a metodologia para a determinação de absorção de água no agregado miúdo, foi empregada a fórmula que consta na NBR 16916 (ABNT, 2021c). Aplicada à fórmula, foi obtido um resultado de 0,52% de absorção de água. A determinação da massa específica seca de 2,55 g/cm³ e da massa específica na condição saturada superfície seca de 2,56 g/cm³ foi obtida utilizando a fórmula também contida na NBR 16916 (ABNT, 2021c).

Seguindo a NBR 6467 (ABNT, 2006) que trata a respeito da determinação do inchamento de agregado miúdo. Tendo a metodologia de cálculo desta norma como referência e as adições de água para cada teor de umidade, obtiveram-se os dados referentes ao coeficiente de inchamento do agregado miúdo contidos na tabela 03 abaixo:

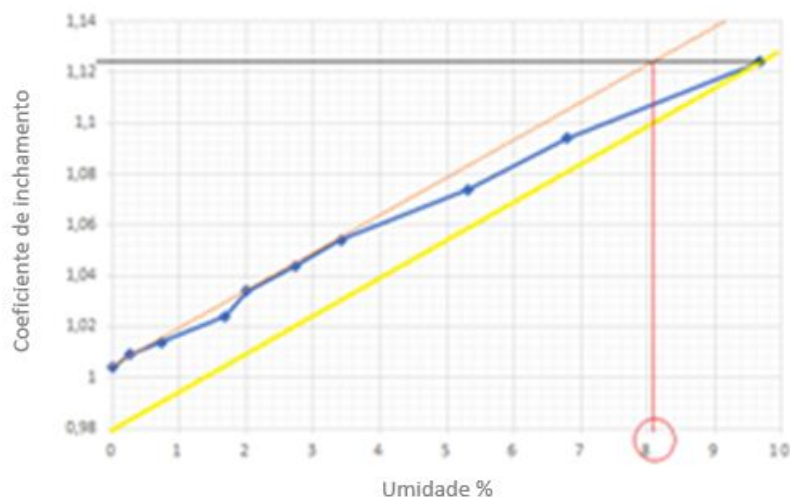
Tabela 03 – Coeficiente de inchamento do agregado miúdo.

Estado	Teor	Coeficiente de inchamento
Seco	0 %	1,004
Úmido	0,5 %	1,009
Úmido	1 %	1,014
Úmido	2 %	1,024
Úmido	3 %	1,034
Úmido	4 %	1,044
Úmido	5 %	1,054
Úmido	7 %	1,074
Úmido	9 %	1,094
Úmido	12%	1,124

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Os dados acima possibilitaram a criação do gráfico de inchamento, obtendo-se a umidade crítica de 8,2 % e o coeficiente de inchamento médio de 1,126. Esses dados podem ser visualizados no gráfico 02 abaixo:

Gráfico 02 – Determinação da umidade crítica e do coeficiente de inchamento.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

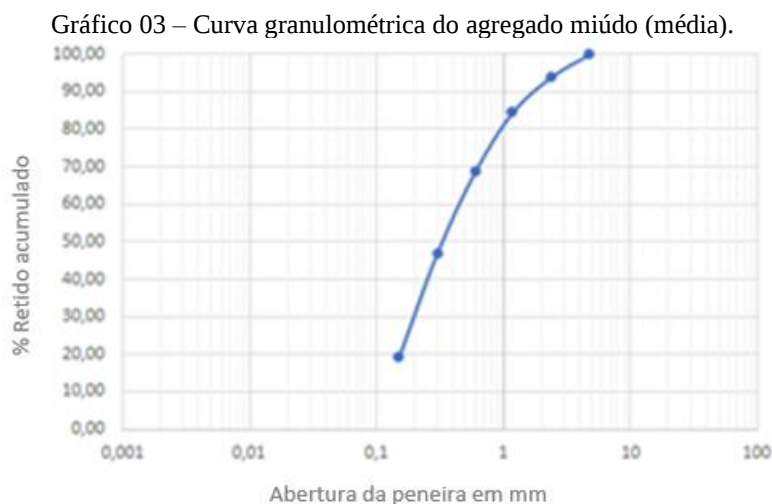
Realizada toda a metodologia descrita segundo a norma NBR 16972 (ABNT, 2021d), obteve-se os seguintes resultados: para massa unitária média na condição solta igual a 1,502 Kg/dm³ e na condição compacta igual a 1,551 kg/dm³.

Conforme a NM 248 (2003), foi determinada a composição granulométrica do agregado miúdo. Os dados obtidos estão apresentados na tabela 04 e no gráfico 03 abaixo:

Tabela 04 – Composição granulométrica do agregado miúdo.

Primeira determinação					Segunda determinação					% Retida Acumulada média
Peneira (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Ret. Acum.	% que passa	Peneira (mm)	Massa retida (g)	% Ret.	% Ret. Acum.	% que passa	
4,75	0,2	0,07	0,067	99,93	4,75	0,22	0,07	0,07	99,93	0,07
2,4	16,27	5,42	5,490	94,58	2,4	19,01	6,34	6,41	93,66	5,95
1,18	26,26	8,75	14,243	91,25	1,18	30,51	10,17	16,58	89,83	15,41
0,6	46,12	15,37	29,617	84,63	600	48,29	16,10	32,68	83,90	31,15
0,3	67,06	22,35	51,970	77,65	300	63,95	21,32	53,99	78,68	52,98
0,15	84,31	28,10	80,073	71,90	150	82,15	27,38	81,38	72,62	80,73
Fundo	59,27	19,76	100	80,24	Fundo	55,31	18,44	99,81	81,56	100
Total	299,49	100	-	-	-	299,44	100	-	-	-
MF = 1,81 e DMC = 4,75 mm					MF = 1,91 e DMC = 4,75 mm					

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

5.3.2 Caracterização do agregado graúdo.

Segundo a NM 248 (2003) que trata a respeito da determinação da composição granulométrica dos agregados, foram pesadas duas amostras com 5000g e o ensaio foi realizado conforme indicações da norma, obtendo-se a classificação de brita zero, como o esperado. Os resultados obtidos estão expressos na tabela 05 e no gráfico 04 a seguir:

Tabela 05 –. Composição granulométrica do agregado graúdo.

Primeira determinação					Segunda determinação				
Peneira	Massa retida (g)	% retido	% retido acumulado	% passante	Peneira	Massa retida (g)	% retido	% retido acumulado	% passante
19	0	0	0	0	19	0	0	0	0
12,5	3272	65,482	65,48	34,518	12,5	3220,6	64,426	64,43	35,574
9,5	1529,2	30,604	96,08	69,396	9,5	1631,2	32,631	97,06	67,369
6,3	167,5	3,352	99,43	96,648	6,3	127,6	2,553	99,61	97,447
4,8	19,1	0,382	99,81	99,618	4,8	9	0,18	99,79	99,82
2,4	4,5	0,09	99,9	99,91	2,4	3,5	0,07	99,86	99,93
Fundo	4,5	0,09	100	99,91	Fundo	7	0,14	100	99,86
MF: 5,60 e DMC: 19,0					MF: 5,61 e DMC: 19,0				

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Segundo a NBR 16917 (2021) que trata a respeito de agregados e estabelece os parâmetros para a determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água, foram realizados os procedimentos e cálculos conforme indicações estabelecidas em norma, obtendo-se a massa específica do agregado seco igual a $2,67 \text{ g/cm}^3$, na condição saturada superfície seca igual a $2,69 \text{ g/cm}^3$ e massa específica aparente igual a $2,72 \text{ g/cm}^3$. Os valores para a absorção de água da amostra 01 e da amostra 02 foram respectivamente 0,70% e 0,80%.

Em seguida, segundo a NBR 16972 (2021) que trata a respeito de agregados e estabelece os parâmetros para a determinação da massa unitária e do índice de vazios, iniciamos com a obtenção da massa do recipiente, que foi de 3,76 kg e o volume do recipiente de $2,00 \text{ dm}^3$. Realizando os procedimentos conforme descritos em norma, obteve-se a massa unitária média

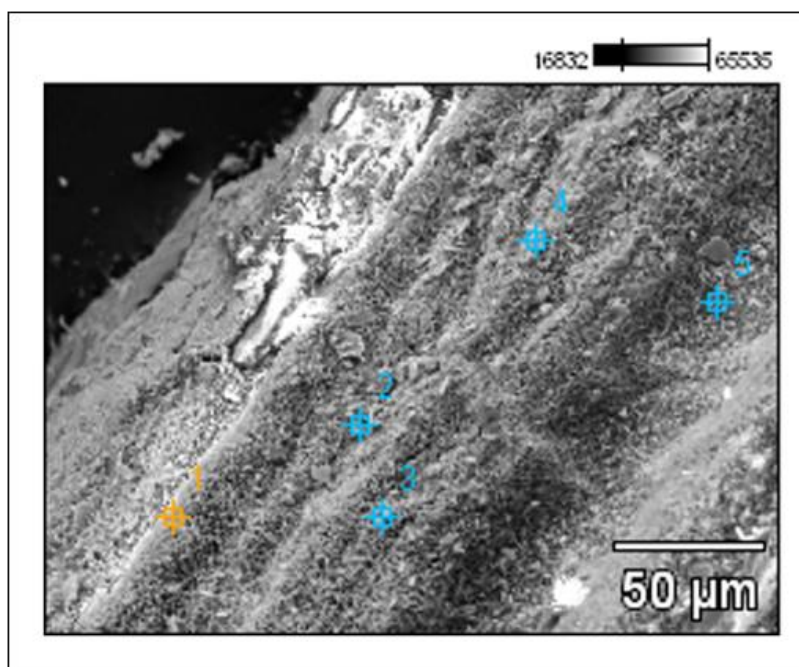
na condição solta igual a 1,540 kg/dm³ e a massa unitária média na condição compacta igual a 1,613 kg/dm³.

5.3.3 Caracterização da FBC.

Considerando os bons resultados do tratamento da FBC, foi determinada a massa específica da fibra natural e tratada por volume de líquido deslocado. Nesse sentido, os resultados obtidos foram de 0,5 g/cm³ para fibra natural e de 0,83 g/cm³ para fibra tratada. Assim, é possível perceber que a massa específica da fibra natural é menor e isso demonstra que os resultados condizem com a realidade, visto que, foi possível perceber a alteração da textura externa da fibra e a mesma massa de fibra natural e fibra tratada apresentavam volumes diferentes. Dessa forma, o volume de fibra tratada era menor que o da fibra natural.

A respeito da análise referente à morfologia, microestrutura, composição e cristalinidade da FBC, foi notado que na FBC houve a presença da camada do tratamento realizado comprovando a sua eficácia. A figura 10 abaixo, mostra o resultado da microscopia feita na FBC tratada:

Figura 10 – Microscopia da FBC .

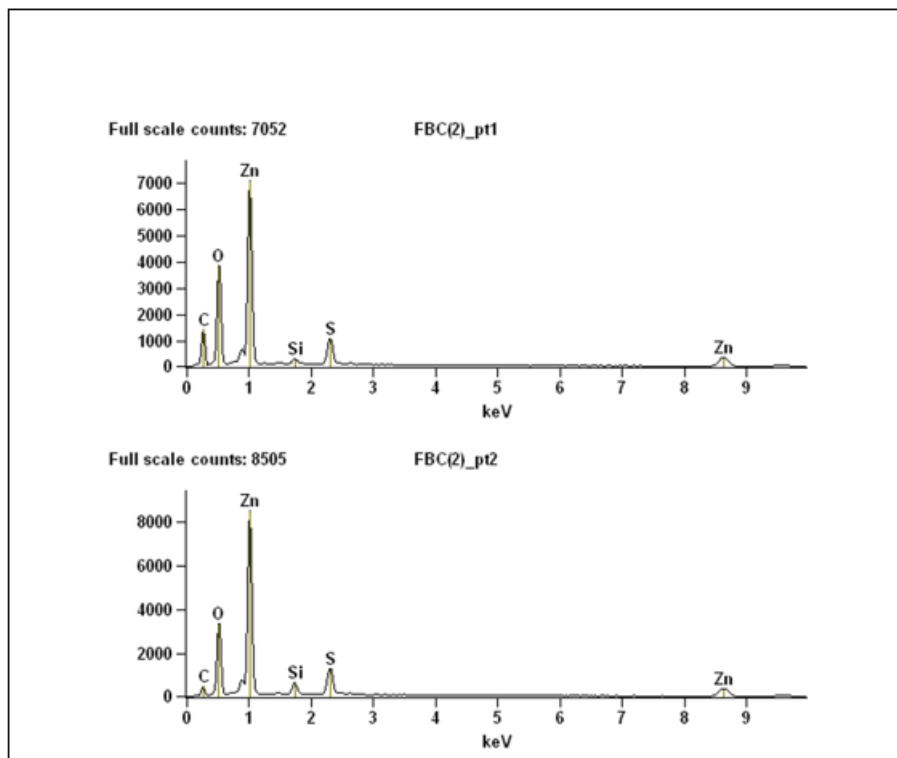


Fonte: LABMIC UFG (2022)

Na imagem, os pontos numerados acima mostram a presença de cristalinidade, ou seja, a presença da composição química envolvida no tratamento da FBC. No gráfico 05 abaixo é

visível qual a composição química está presente e se pode notar uma concentração alta de zinco, referente ao tratamento realizado.

Gráfico 05 – Espectro de energia dispersiva da FBC.



Fonte: LABMIC UFG (2022)

Cabe destacar também a presença de silício que pode sugerir uma possível atividade pozolânica (DINIZ, 2018) o que pode sugerir um aumento de resistência no concreto com a adição desse resíduo.

5.3.4 Caracterização da CBC.

Em relação à granulometria da CBC, o procedimento foi realizado conforme a NM 248 (2003). Seguindo a normativa, obtiveram-se os dados referentes à composição granulométrica da CBC. A tabela 06 abaixo mostra os dados obtidos:

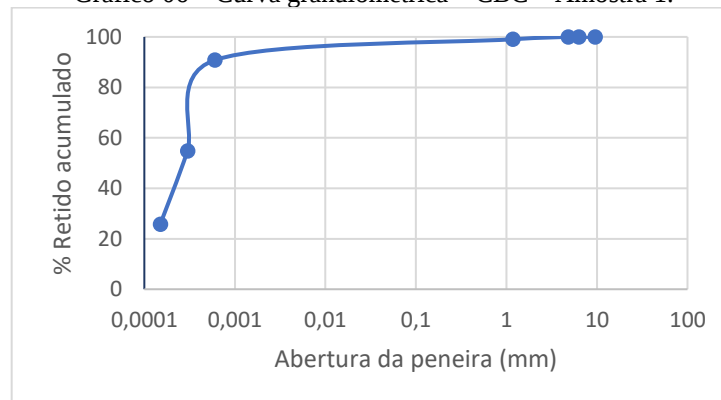
Tabela 06 – Composição granulométrica da CBC.

Amostra 1					Amostra 2				
Pen. # (mm)	Massa Retida	% Retida	%Retida Acumulada	% que passa	Pen. # (mm)	Massa Retida	% Retida	%Retida Acumulada	% que passa
9,5	0	0	0	100	9,5	0	0	0	100
6,3	0	0	0	100	6,3	0	0	0	100
4,8	0	0	0	100	4,8	0	0	0	100
1,18	1,4	0,93	0,93	99,07	1,18	1,8	1,25	1,25	98,75
600 μ	12,4	8,27	9,2	90,8	600 μ	13	9,02	10,26	89,74
300 μ	53,9	35,93	45,13	54,87	300 μ	53,6	37,17	47,43	52,57
150 μ	43,6	29,07	74,2	25,8	150 μ	40,3	27,95	75,38	24,62
Fundo	38,7	25,8	100	0	Fundo	35,5	24,62	100	0
	150	100				144,2	100		

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

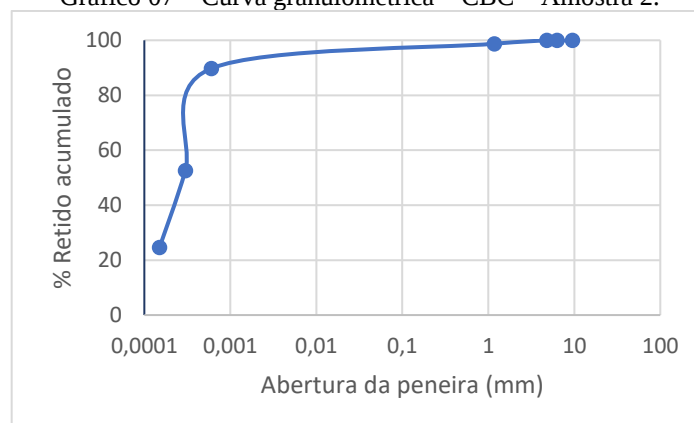
Dessa forma, o DMC das amostras 01 e 02 foram igualmente 1,18 e o MDF 1,34 e 1,29 respectivamente. A seguir os gráficos 06 e 07 mostram a granulometria das duas amostras, onde pode notar que o material trabalhado é fino e apresenta uma boa distribuição de granulometria, o que pode acarretar em uma melhor preenchimento de vazios no concreto que tiver essa cinza como adição.

Gráfico 06 – Curva granulométrica – CBC – Amostra 1.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Gráfico 07 – Curva granulométrica – CBC – Amostra 2.



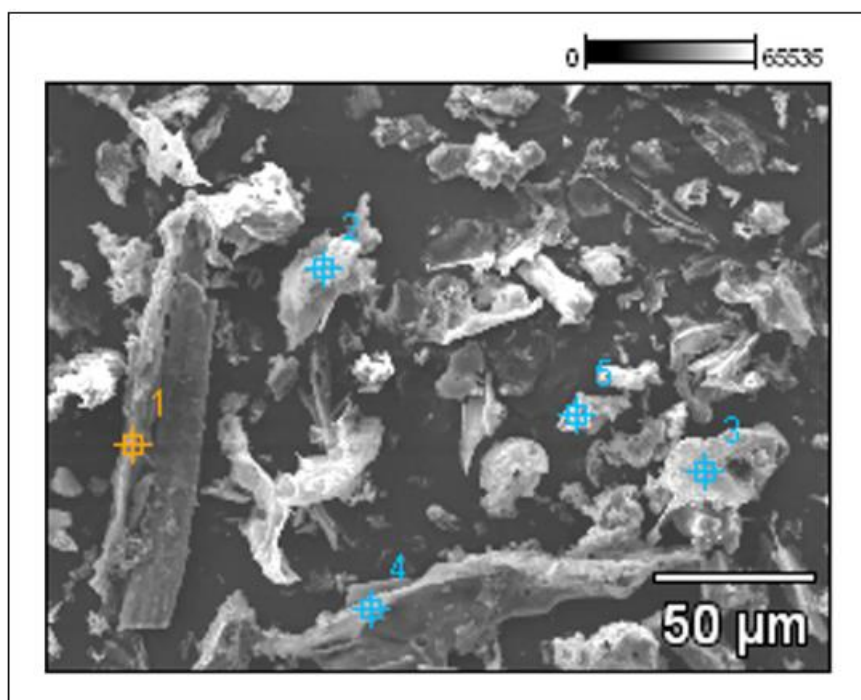
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Posteriormente, foi realizado o ensaio de determinação da massa específica conforme NBR 16605 (ABNT, 2017), obtendo-se como resultado $1,68 \text{ g/cm}^3$.

Em seguida, o ensaio de determinação da massa unitária, com algumas adaptações na NBR 16972 (ABNT, 2021d) devido ao material e aos equipamentos disponíveis no Instituto, obtendo-se a massa específica na condição solta e na condição compacta, respectivamente, iguais a $0,14 \text{ kg/dm}^3$ e $0,17 \text{ kg/dm}^3$.

Em relação à análise referente a morfologia, microestrutura, composição e cristalinidade da CBC, foi notado que a CBC possui uma composição amorfa e pontos cristalinos. A figura 11 abaixo, mostra o resultado da microscopia feita na CBC tratada:

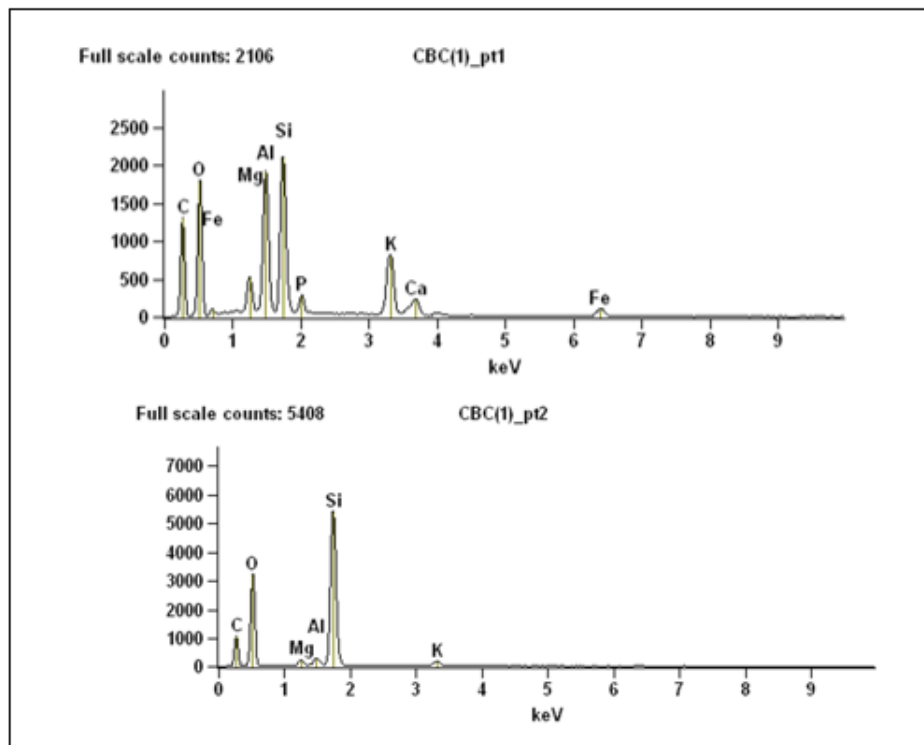
Figura 11 – Microscopia da CBC .



Fonte: LABMIC UFG (2022)

Os pontos numerados na figura acima mostram a presença de cristalinidade, ou seja, a presença de uma composição química. No gráfico 08 abaixo é visível qual composição química está presente e pode-se notar uma concentração alta de silício e outros minerais:

Gráfico 08 – Espectro de energia dispersiva da CBC.



Fonte: LABMIC UFG (2022).

Cabe ressaltar que a presença de ferro constatada no espectro de energia é oriunda da moagem feita por esferas metálicas durante o moinho dessa CBC na usina o que indica que a presença desse composto não faz parte da composição do resíduo. A quantidade considerável de silício encontrada na cinza sugere uma tendência de atividade pozolânica (DINIZ, 2018), ou seja, a predisposição de desenvolvimento de concretos com maior resistência mecânica com redução da porosidade e permeabilidade do concreto tornando-o mais durável (SANTANA et al., 2018).

5.4 TRAÇO DO CONCRETO.

Como descrito na metodologia, a escolha do traço adotado é resultante de experimentações vinculadas a vários ensaios de *slump tests* com diferentes traços adotados até se atingir um abatimento de concreto desejado, ou seja, um abatimento de 120 mm para o concreto sem adição e um abatimento de 35 mm para o concreto com adição simultânea. A escolha deste abatimento, levou em conta as adições simultâneas (1% FBC e 3,5% CBC) no concreto e também o concreto de referência (sem nenhuma adição), pois o traço escolhido deve atender esses dois extremos que são considerados como pior caso, devido ao fato de que quando esses extremos forem contemplados os demais traços com outras adições também serão.

Portanto, em razão da rodagem de vários traços, o traço de : 1 de cimento para 1,75 de areia para 2,25 de brita para uma relação de água e cimento de 0,55 foi o que teve melhor desempenho em relação aos demais, ou seja, o traço que atingiu os parâmetros de abatimentos estipulados no projeto (120 mm para o de referência e 35 mm para o simultâneo). A figura 12 abaixo mostra os valores obtidos de abatimento para o concreto de referência e de adição simultânea de CBC e FBC para o traço escolhido:

Figura 12 – Resultados de abatimento em cm do concreto com o traço adotado.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Para o traço aqui especificado, optou-se por fixar os demais insumos e variar somente os percentuais de adição de CBC e FBC adicionados ao concreto, com o intuito de verificar as influências destas adições de forma mais clara no concreto.

5.5 ENSAIO DE COMPRESSÃO.

Após realizados os ensaios de compressão conforme a norma NBR 5739 (ABNT, 2018), foram determinadas as resistências à compressão em megapascal (MPa) que estão contidas na tabela 07 a seguir:

Tabela 07 – Resistência à compressão do concreto em 7 dias e 28 dias.

Traço	Resistência à compressão (Mpa)	
	7 dias	28 dias
	Média±DP*	Média±DP*
Referência	17.54 ± 0.98	26.4 ± 1.31
1%FBC	19.98 ± 0.44	27.31 ± 1.22
3,5% CBC	20.44 ± 2.33	29.48 ± 0.13
1%FBC E	25.25 ± 0.42	31.31 ± 0.44
3,5% CBC		

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Cabe salientar que o ensaio foi realizado com triplicadas e a resistência considerada foi a média das resistências coletadas nos três corpos de prova. Mediante aos dados coletados de resistência, foi notado que todos os concretos produzidos atingiram valores superiores a 20 MPa de resistência na idade de vinte e oito dias. Logo, tais concretos atenderam à resistência mínima à compressão estipulada para projetos estruturais na NBR 6118 pela ABNT (2014).

Foi notado que, nas idades de sete dias e vinte e oito dias, os concretos com adição de CBC e FBC atingiram valores superiores de resistência à compressão em relação ao concreto de referência. Cabe salientar que, o concreto com adição simultânea de CBC e FBC atingiu uma maior resistência à compressão quando comparado aos demais concretos rodados no experimento. Ao comparar o concreto com adição simultânea ao concreto de referência, percebeu-se um aumento de 43,96% para a idade de sete dias e 18,60% para a idade de vinte e oito dias. A tabela 08 abaixo mostra os esses crescimentos percentuais de cada adição em relação ao concreto de referência:

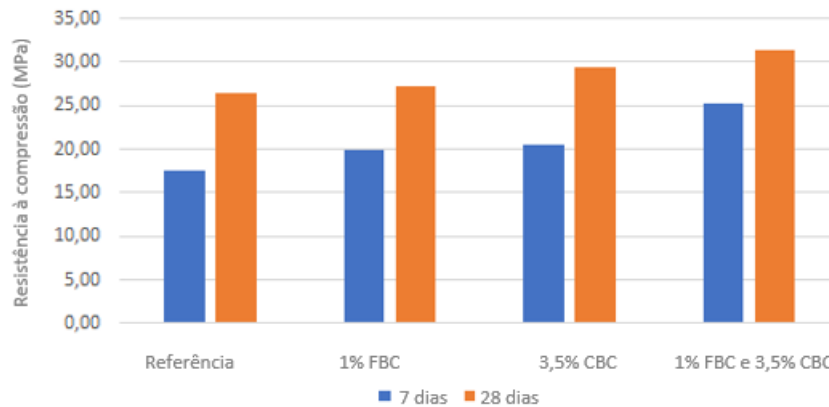
Tabela 08 – Crescimento percentual de resistência das adições em relação ao concreto de referência.

Traço	Taxa de crescimento de resistência (%)	
	7 dias	28 dias
1%FBC	13,91	3,45
3,5% CBC	16,53	11,66
1%FBC E 3,5% CBC	43,96	18,60

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

A razão para essa melhoria significativa da resistência do concreto com adição simultânea de CBC e FBC é sugerida pelo preenchimento de vazios promovido pela cinza devido à finura do material. Como também, a reação pozolânica (DINIZ, 2018) que foi sugerida a esses dois materiais mediante a presença de silício constatado no espectro de energia dispersiva em ambos os resíduos. Cabe ressaltar ainda que o tratamento realizado na fibra não afetou nas características do cimento, mas favoreceu a hidratação do mesmo (SARMIENTO, 1996), o que também pode sugerir uma melhoria na resistência, já que a reação de hidratação do cimento é um dos fatores que confere a resistência ao concreto. O gráfico 09 abaixo mostra o comparativo das resistências de cada traço nas idades de sete e vinte e oito dias:

Gráfico 09 – Gráfico comparativo das resistências à compressão do concreto.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA(2022).

Também foi notado um aumento de resistência de 9,04 MPa do concreto com adição de 3,5% de CBC. Esse aumento foi calculado pela comparação de resistência entre as idades de sete dias e vinte e oito dias do concreto. O concreto com adição única de cinza foi o que apresentou o maior ganho de resistência entre as idades. Esse aumento pode ser sugerido devido à possível atividade pozolânica da CBC no concreto. A tabela 09 abaixo mostra o aumento percentual de resistência dos concretos em relação às idades:

Tabela 09 – Crescimento percentual de resistência das adições em relação às idades.

Traço	Taxa de crescimento de resistência (MPa)
Referência	8,86
1%FBC	7,33
3,5% CBC	9,04
1%FBC E 3,5% CBC	6,06

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

5.6 ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE.

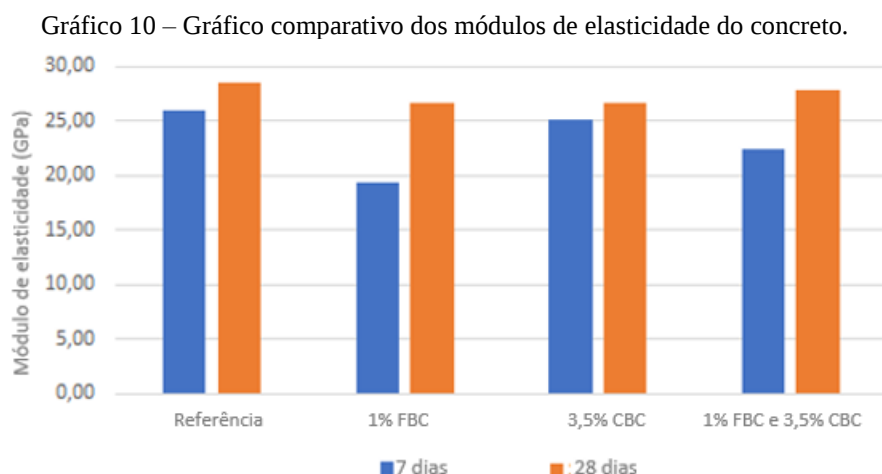
Após realizados os ensaios de módulo de elasticidade conforme a norma NBR 8522-1 (ABNT, 2021a), foram determinados os módulos de elasticidade em gigapascal (GPa) que estão contidos na tabela 10 a seguir:

Tabela 10 –.Módulo de elasticidade do concreto em 7 dias e 28 dias.

Traço	Módulo de elasticidade (GPa)	
	7 dias	28 dias
	Média ± DP*	Média ± DP18
Referência	26.02 ± 1.23	28.55 ± 4.07
1%FBC	19.29 ± 3.52	26.6 ± 1.15
3,5% CBC	25.08 ± 1.30	26.66 ± 0.45
1%FBC E		
3,5% CBC	22.38 ± 0.96	27.92 ± 1.74

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022).

Em relação ao módulo de elasticidade, seguiu-se a mesma consideração empregada na resistência à compressão (valor médio das triplicatas). Percebeu-se valores equiparáveis para as diferentes adições na idade de vinte e oito dias com um decréscimo de valores do módulo nos traços com adições em relação ao de referência. Pôde-se observar que na idade de 7 dias o concreto com adição apenas de FBC apresentou o menor módulo em relação aos demais. Como abordado anteriormente nos referenciais teóricos aqui citados, o módulo de elasticidade do concreto deste estudo também não apresentou uma mudança significativa e ficou próximo ao padrão. O gráfico 10 a seguir mostra os comparativos dos módulos obtidos nas idades de sete dias e vinte oito dias onde pode-se observar as considerações aqui descritas:



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA(2022).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no projeto de estudo e as análises aqui descritas, pode-se constatar que a utilização de CBC e FBC é tecnicamente viável, uma vez que, a incorporação desses resíduos como adição ao concreto, proporcionou melhorias nas propriedades mecânicas. Podendo-se concluir que:

- A FBC e CBC utilizadas na pesquisa de forma isolada geraram um acréscimo de resistência à compressão em relação ao concreto de referência de 13,91% e 16,53% respectivamente aos 7 dias;
- A FBC e CBC utilizadas na pesquisa de forma isolada também apresentaram um acréscimo de resistência à compressão em relação ao concreto de referência de 3,45% e 11,66% respectivamente aos 28 dias;
- O acréscimo de resistência provinda dessas adições pode ser explicado segundo as microscopias e espectroscopia realizadas nestes resíduos. Nesse sentido, a presença de silício constatada nessas análises, pode sugerir uma atividade pozolânica desses resíduos, principalmente da cinza por apresentar uma maior concentração de silício, como também, maior taxa de acréscimo de resistência quando comparada com o concreto de referência e com a adição de FBC;
- Em relação à resistência à compressão, o traço de concreto que teve a adição simultânea de FBC e CBC, foi o que apresentou o resultado de maior relevância no estudo. Uma vez que, a resistência média aos 7 dias foi de 25,25 MPa representando um aumento de 43,96% de ganho de resistência quando comparado ao concreto de referência (sem nenhuma adição). Ademais, para a idade de 28 dias o traço com essa adição teve uma resistência média de 31,31 MPa representando um ganho de resistência de 18,60% quando comparado ao concreto de referência,
- A explicação para o ganho significativo da resistência à compressão para o traço simultâneo pode sugerir que a junção da CBC e FBC promoveu o somatório de melhorias que essas adições possibilitaram quando usadas de forma separada. Tais como: a possível atividade pozolânica dos resíduos (principalmente da CBC); a provável diminuição de vazios no concreto promovida pela CBC por se tratar de um material fino e apresentar uma boa distribuição granulométrica; o tratamento da FBC que segundo referenciais teóricos, afirmam a atuação de forma positiva dos agentes químicos do tratamento da FBC na reação de hidratação do cimento, podendo sugerir o aumento de resistência notado.
- O módulo de elasticidade apresentou valores equiparáveis e próximos do padrão, não apresentando neste estudo uma mudança significativa no concreto como descrito na resistência à compressão.

- Mediante aos resultados obtidos a respeito da resistência à compressão dos concretos com adição de CBC e FBC, o concreto com esses resíduos pode ser utilizado com a finalidade estrutural devido aos bons resultados coletados neste estudo;

Concluí -se, que o objetivo geral e os objetivos específicos dessa pesquisa foram finalizados com êxito. As adições estudadas de CBC e FBC, apresentaram-se aplicáveis mediante a apresentação de resultados satisfatórios que serão relevantes para as próximas pesquisas baseadas nesta temática.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros seria o estudo de diferentes porcentagens de adições tanto de CBC quanto de FBC por meio de um planejamento fatorial. A fim de, analisar a sinergia destas adições em diferentes percentuais. Com o intuito de se elaborar uma superfície gráfica e avaliar qual percentual e combinação desempenha um maior ganho de resistência à compressão do concreto. E também verificar se com diferentes percentuais de adição de CBC e FBC se ocorre uma mudança significativa no módulo de elasticidade.

REFERÊNCIA

- ABNT (Brasil). ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados. NBR 16915:2021. **Agregados - Amostragem**, [S. l.], p. 8, 14 abr. 2021b.
- ABNT (Brasil). ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados. ABNT NBR 16917:2021. **Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água**, [S. l.], p. 6, 19 abr. 2021e.
- ABNT (Brasil). ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados. ABNT NBR 16916:2021. **Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água**, [S. l.], p. 8, 14 abr. 2021c.
- ABNT (Brasil). ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados. ABNT NBR NM 248:2003. **Agregados - Determinação da composição granulométrica**, [S. l.], p. 6, 30 jul. 2003.
- ABNT (Brasil). ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados. ABNT NBR 6467:2005. **Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio - Versão corrigida 2**, [S. l.], p. 5, 31 maio 2006.
- ABNT (Brasil). ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados. ABNT NBR 16972:2021. **Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios**, [S. l.], p. 6, 16 jun. 2021d.
- ABNT (Brasil). ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados. ABNT NBR 16605:2017. **Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica**, [S. l.], p. 4, 5 jun. 2017.
- ABNT (Brasil). ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados. ABNT NBR 16889:2020. **Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**, [S. l.], p. 5, 22 dez. 2020.
- ABNT (Brasil). ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados. NBR 8522-1:2021. **Concreto endurecido - Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação Parte 1: Módulos estáticos à compressão**, [S. l.], p. 24, 30 ago. 2021a.
- ABNT (Brasil). ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados. NBR, 5739:2018. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**, [S. l.], n. 5739, p. 9, 30 maio 2018.
- ABNT (Brasil). ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados. ABNT NBR 5738:2015 Versão Corrigida:2016. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**, [S. l.], p. 9, 28 jan. 2015.
- ABNT (Brasil). ABNT/CB-002 Construção Civil. ABNT NBR 6118:2014 Versão

Corrigida:2014. **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**, [S. l.], 29 abr. 2014.

ADESANYA, D. A.; RAHEEM, A. A. A study of the workability and compressive strength characteristics of corn cob ash blended cement concrete. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 1, p. 311–317, 2009a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.12.004>>.

ADESANYA, D. A.; RAHEEM, A. A. Development of corn cob ash blended cement. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 1, p. 347–352, 2009b. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.11.013>>.

ALSALMAN, A. et al. Evaluation of modulus of elasticity of ultra-high performance concrete. **Construction and Building Materials**, v. 153, p. 918–928, 2017.

CANAL AGRO. **O que é agroindústria e qual sua importância?** Disponível em: <<https://summitagro.estadao.com.br/noticias-do-campo/o-que-sao-agroindustrias/>>. Acesso em: 4 jul. 2021.

CASTALDELLI, V. N. et al. Study of the binary system fly ash/sugarcane bagasse ash (FA/SCBA) in SiO₂/K₂O alkali-activated binders. **Fuel**, v. 174, p. 307–316, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2016.02.020>>.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. Effect of calcination temperature on the pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 10, p. 3301–3303, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.02.013>>.

DINIZ, H. A. A. Estudo das propriedades mecânicas e dos parâmetros de durabilidade de concretos auto adensáveis com elevados teores de adições minerais submetidos à carbonatação. p. 160, 2018.

FILHO, S. T. M.; MARTINS, C. H. Utilização da cinza leve e pesada do bagaço de cana-de-Açúcar como aditivo mineral na produção de blocos de concreto para pavimentação. **Revista em Agronegocio e Meio Ambiente**, v. 10, n. 4, p. 1205–1224, 2017.

GOMES VIANA, L.; SILVA CRUZ, P. Reaproveitamento De Resíduos Agroindustriais. **Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental**, n. IV, p. 1–3, 2016.

ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e tecnologia volume 1**. 1º edição ed. São Paulo: IBRACON, 2011.

IZQUIERDO, I. S. Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural. **Departamento de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos**, p. 128 p, 2011.

JAGADESH, P.; RAMACHANDRAMURTHY, A.; MURUGESAN, R. Evaluation of mechanical properties of Sugar Cane Bagasse Ash concrete. **Construction and Building Materials**, v. 176, p. 608–617, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.037>>.

JURA, J.; ULEWICZ, M. Assessment of the possibility of using fly ash from biomass combustion for concrete. **Materials**, v. 14, n. 21, 2021.

MATOS, A. T. **Tratamento e Aproveitamento Agrícola de Resíduos Sólidos**. 1º ed. Viçosa: Editora UFV, 2014.

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

MICHEAL, A.; MOUSSA, R. R. Investigating the Economic and Environmental Effect of Integrating Sugarcane Bagasse (SCB) Fibers in Cement Bricks. **Ain Shams Engineering Journal**, n. xxxx, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.12.012>>.

MORETTI, J. P.; NUNES, S.; SALES, A. Self-compacting concrete incorporating sugarcane bagasse ash. **Construction and Building Materials**, v. 172, p. 635–649, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.277>>.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. [s.l.: s.n.]

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do Concreto - 2ed**, 2013. . Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=cqY5AgAAQBAJ>>.

OLIVEIRA, C. A. de S.; GOUVEIA, L. L. de A.; TEIXEIRA, R. L. P. Concreto Estrutural Com Adição De Fibras Vegetais. **Construindo**, v. 6, n. 2, p. 14–19, 2014.

RAHEEM, A. A.; IKOTUN, B. D. Incorporation of agricultural residues as partial substitution for cement in concrete and mortar – A review. **Journal of Building Engineering**, v. 31, n. April, p. 101428, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101428>>.

RODRIGUES, C. M. **Efeito da aplicação de resíduo da indústria de papel e celulose nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, na nutrição e biomassa do pinus taeda l**. 2004. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SANTANA, A. C. et al. COMPARATIVE STUDY OF CONCRETE WITH SILICA FROM RICE HUSK ASH AND 1 Introdução Com o objetivo de tornar a indústria da construção civil sustentável , vários estudos foram 2 Revisão Bibliográfica 2 . 1 Sílica de Cinza de Casca de Arroz (CCA). **60º Congresso Brasileiro do concreto**, n. 1, p. 16, 2018.

SARMIENTO, C. R. Argamassa de cimento reforçada com fibras de bagaço de cana-de-

açúcar e sua utilização como material de construção. p. 120, 1996.

SCHNEIDER, N. **Módulo de elasticidade do concreto: Considerações gerais**. Disponível em: <<https://nelsoschneider.com.br/modulo-de-elasticidade-concreto/>>. Acesso em: 30 dez. 2021.