

**INSTITUTO FEDERAL
GOIÁS
Câmpus Anápolis**

**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**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRA E CINZA DE BAGAÇO DE
CANA SOBRE A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DE CONCRETOS**

LETÍCIA CRISTINA TEIXEIRA CAVALCANTE

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

ANÁPOLIS

2022

LETÍCIA CRISTINA TEIXEIRA CAVALCANTE

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE FIBRA E CINZA DE BAGAÇO DE
CANA SOBRE A RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DE CONCRETOS**

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

Orientador: Prof.º Dr. Thiago Eduardo Pereira Alves

ANÁPOLIS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

CAVALCANTE, Letícia Cristina Teixeira

C376e Estudo da influência da adição de fibra e cinza de
bagaço de cana sobre a resistência à tração de
concretos / Letícia Cristina Teixeira Cavalcante –
Anápolis: IFG, 2022.
59 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 - consistência. 3.
Fibra de bagaço de cana-de-açúcar. 4. Cinza de bagaço
de cana-de-açúcar. 5. Concreto – resistência à tração. I.
ALVES, Thiago Eduardo Pereira orien. II. SILVA
JÚNIOR, Paulo Francinete co-orien. III. Título.

CDD 624.1



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

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

ATA de TCC 1 - Letícia Cavalcante/ 2021

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao 28 dia do mês de agosto do ano de dois mil e vinte e dois, às 15:45 horas, online no Instituto Federal de Goiás, Câmpus Anápolis situado à Avenida Pedro Ludovico, Residencial Reny Cury da cidade de Anápolis, Estado de Goiás, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso da Graduanda **Letícia Cristina Teixeira Cavalcante** (matrícula 20171060130126) do curso de Engenharia Civil da Mobilidade, no primeiro semestre do ano de dois mil e vinte e um. A banca foi composta pelos seguintes membros: Thiago Eduardo Pereira Alves, Paulo Francinete Silva Junior e Sérgio Azevedo Coelho, sob a presidência da primeira(o). O trabalho de conclusão de curso tem como título "**ESTUDO DA TRABALHABILIDADE E RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL EM CONCRETOS INCORPORADOS SIMULTANEAMENTE POR FIBRAS E CINZA DE BAGAÇO DE CANA DE-AÇÚCAR**" da área de Engenharia Civil, sob orientação da Profa. Thiago Eduardo Pereira Alves e co-orientação do Prof. Paulo Francinete Silva Junior. Após a apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso, tendo sido a autora arguida pela Banca Examinadora, a nota obtida foi 100.

Encerra-se a presente sessão às 17 horas e 15 minutos. Eu, Prof. Thiago Eduardo Pereira Alves, dato e assino a presente ata que segue assinada por todos os membros da Banca e pela graduanda.

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Thiago E. P. Alves

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Paulo Francinete Silva Junior

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Sérgio Azevedo Coelho

(Assinado Eletronicamente)

Profa. Maria Tâmara M. G. Silva

Letícia Cristina Teixeira Cavalcante

(Graduanda)

Documento assinado eletronicamente por:

- Maria Tamara de Moraes Guimaraes Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 31/01/2022 08:40:09.
- Paulo Francinete Silva Junior, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 28/01/2022 16:58:00.
- Sergio Azevedo Coelho, TÉCNICO DE LABORATORIO AREA, em 28/01/2022 16:55:29.
- Thiago Eduardo Pereira Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 28/01/2022 16:52:55.

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: 240523

Código de Autenticação: 6e8091f5a2





INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

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: Letícia Cristina Teixeira Cavalcante

Matrícula: 20171060130126

Título do Trabalho: Estudo da influência da adição de fibra e cinza de bagaço de cana sobre a resistência à tração de concretos

Autorização - Marque uma das opções

1. (x) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () 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:

- i. 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;
- ii. 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;
- iii. 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, 07 de fevereiro de 2022.

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde, esperança e força para alcançar mais essa conquista;

A minha família, minha avó, Marlene Jacinta, meus pais, Fernanda Teixeira e Rosimar Moraes, e as minhas tias, Elce Cristina e Dagma Cristina, por me fornecerem o suporte necessário para que eu pudesse finalizar a minha graduação;

Ao Prof. Dr. Thiago Eduardo Pereira Alves, pela orientação, confiança e disposição em todas as etapas desse trabalho tão desafiador;

Ao Prof. Dr. Paulo Francinete Silva Júnior, pela co-orientação, apoio e sugestões que contribuíram significativamente com esse trabalho;

Ao Me. Sérgio Azevedo Coelho, técnico laboratorista, pelo compartilhamento de seus conhecimentos na execução dos ensaios laboratoriais;

Aos técnicos laboratoristas Luciano Marçal e Ildelei Araújo pelo auxílio na execução dos ensaios e atividades durante o trabalho;

Aos meus parceiros de PIBITI/PIBIC e amigos da graduação, Gabriela Silva de Medeiros e Bruno Victor do S. Silva pelo apoio na vida acadêmica e pessoal;

Ao Instituto Federal de Goiás e a todos os professores e servidores, pela contribuição para minha evolução e formação.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo acerca da incorporação simultânea de subprodutos gerados pela indústria sucroalcooleira, a fibra de bagaço de cana-de-açúcar (FBC) e a cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC), em concretos. Serão apresentados os procedimentos preliminares, a caracterização físico-química desses resíduos, a apresentação da dosagem e da metodologia de rodagem e moldagem dos corpos de prova cilíndricos (100 x 200 mm), o procedimento de cura utilizado e os resultados dos ensaios de abatimento do tronco de cone e tração por compressão diametral. Posteriormente, através da análise dos resultados obtidos entre o concreto de referência e os concretos especiais, determinou-se o concreto que apresenta melhor resistência à tração por compressão diametral, neste caso, o concreto com adições simultâneas e, através das características da propriedade de trabalhabilidade dessa mistura forneceu-se a preferível utilização para esse concreto. Cabe destacar que os concretos produzidos possuíam percentuais de adições de 1% de FBC, 3,5% de CBC e 1% de FBC + 3,5% de CBC. E, que possuíam a mesma dosagem, com relação a/c em quantidades constantes e não utilizaram a adição de aditivos. A trabalhabilidade, foi avaliada por meio dos aspectos de consistência através do ensaio de abatimento do tronco de cone e quanto a coesão e homogeneidade de forma visual. A resistência à tração por compressão diametral foi analisada aos 7 e 28 dias de idade do concreto.

Palavras chaves: FBC; CBC; consistência; resistência à tração.

ABSTRACT

This work presents a study about the simultaneous incorporation of by-products generated by the sugarcane industry, sugarcane bagasse fiber (SBC) and sugarcane bagasse ash (CBC), in concrete. The preliminary procedures, the physical-chemical characterization of these residues, the presentation of the dosage and the methodology of running and molding the cylindrical specimens (100 x 200 mm), the curing procedure used and the results of the slump tests will be presented. cone trunk and tension by diametral compression. Subsequently, through the analysis of the results obtained between the reference concrete and the special concretes, the concrete that presents the best tensile strength by diametrical compression was determined, in this case, the concrete with simultaneous additions and, through the characteristics of the workability property of this mixture was provided the preferred use for this concrete. It should be noted that the concrete produced had percentages of additions of 1% FBC, 3.5% CBC and 1% FBC + 3.5% CBC. It is worth mentioning that they had the same dosage, with respect to w/c in constant amounts and did not use the addition of additives. The workability was evaluated through the consistency aspects through the cone slump test and visual cohesion and homogeneity. The tensile strength by diametral compression was analyzed at 7 and 28 days of age of the concrete.

Keywords: FBC; CBC; consistency; tensile strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Material saturado	27
Figura 2 – Amostra seca em estufa após 48 horas	27
Figura 3 – Processo de redução da amostra.....	27
Figura 4 – Amostra dividida em 4 partes	27
Figura 5 – Peneiras	29
Figura 6 – Peneirador mecânico	29
Figura 7 – Materiais retidos nas peneiras	29
Figura 8 – Materiais utilizados	29
Figura 9 – Procedimento	29
Figura 10 – Finalização do ensaio	29
Figura 11 – Recipiente.....	30
Figura 12 – Adicionando a CBC	30
Figura 13 – Aplicando 25 golpes.....	30
Figura 14 – Pré-lavagem.....	31
Figura 15 – Lavagem em água corrente	31
Figura 16 – Fibra lavada.....	31
Figura 17 – Disposição das fibras	31
Figura 18 – Secagem ao ar	31
Figura 19 – Amostra seca	31
Figura 20 – Amostra no peneirador.....	32
Figura 21 – Material retido nas peneiras 4,8 e 2 mm e fundo	32
Figura 22 – Reagentes	33
Figura 23 – Processo de pesagem.....	33
Figura 24 – Balão volumétrico e funil.....	33
Figura 25 – Fibras imersas na solução.....	33
Figura 26 – Secagem superficial	33
Figura 27 – Fibras secas	33
Figura 28 – FBC	35
Figura 29 – FBC imersa na água	35
Figura 30 – FBC seca superficialmente.....	35
Figura 31 – Materiais utilizados	36

Figura 32 – Proveta com álcool.....	36
Figura 33 – FBC imersa no álcool.....	36
Figura 34 – Preenchimento da terceira camada.....	38
Figura 35 – Adensamento da terceira camada.....	38
Figura 36 – Concreto de referência	38
Figura 37 – Concreto simultâneo (1%FBC + 3,5%CBC)	38
Figura 38 – Abatimento dos concretos de Referência, 1% de FBC, 3,5% CBC e simultâneo nesta ordem	39
Figura 39 – Adensamento com vibrador de agulha de imersão	40
Figura 40 – Rasamento das superfícies	40
Figura 41 – Corpos de prova desmoldados	40
Figura 42 – Corpos de prova em cura submersa	40
Figura 43 – Posicionamento do corpo de prova	41
Figura 44 – Corpo de prova rompido	41
Figura 45 – Comparativo entre a absorção de água: fibra natural x fibra tratada	44
Figura 46 – MEV da FBC sob aumento de 500 vezes.....	44
Figura 47 – Composição da FBC ponto 1	45
Figura 48 – Composição da FBC ponto 2	45
Figura 49 – Composição da FBC ponto 3	45
Figura 50 – Composição da FBC ponto 4	45
Figura 51 – Composição da FBC ponto 5	45
Figura 52 – Gráfico de granulometria – Amostra 01.....	47
Figura 53 – Gráfico de granulometria – Amostra 02.....	48
Figura 54 – MEV da CBC sob aumento de 500 vezes	48
Figura 55 – Composição da CBC ponto 1	49
Figura 56 – Composição da CBC ponto 2.....	49
Figura 57 – Composição da CBC ponto 3.....	49
Figura 58 – Composição da CBC ponto 4.....	49
Figura 59 – Composição da CBC ponto 5.....	49
Figura 60 – Gráfico da resistência média à tração por compressão diametral – 7 dias	51
Figura 61 – Gráfico da resistência média à tração por compressão diametral – 28 dias	52
Figura 62 – Gráfico da resistência média à tração por compressão diametral – 7 e 28 dias	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de consistência	23
Tabela 2 – Resumo dos procedimentos e ensaios para caracterização da CBC	28
Tabela 3 – Resumo dos procedimentos e ensaios para caracterização da FBC	34
Tabela 4 – Quantidade de água absorvida pela FBC natural de acordo com o tempo	42
Tabela 5 – Quantidade de água absorvida pela FBC natural de acordo com o tempo	43
Tabela 6 – Granulometria amostra 1	46
Tabela 7 – Granulometria amostra 2	47
Tabela 8 – Determinação da consistência.....	50
Tabela 9 – Resistência média à tração por compressão diametral – 7 dias	41
Tabela 10 – Resistência média à tração por compressão diametral – 28 dias	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ – Sulfato de alumínio

C – Carbono

CBC – Cinza de bagaço de cana-de-açúcar

CO_2 – Dióxido de carbono

CRF – Concreto reforçado com fibras

FBC – Fibra de bagaço de cana-de-açúcar

Fe – Ferro

NaSiO_3 – Silicato de sódio

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

NM – Normas Mercosul

O – Oxigênio

Si – Silício

SiO_2 – Sílica

ZnSO_4 – Sulfato de zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo geral.....	14
1.1.2	Objetivos específicos	14
1.1.3	Organização do trabalho.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	CONCRETO CONVENCIONAL	16
2.2	CONCRETOS ESPECIAIS	16
2.3	CONCRETOS REFORÇADOS COM FIBRAS	17
2.3.1	Concretos reforçados com fibras vegetais	17
2.4	CONCRETOS COM ADIÇÃO DE MATERIAIS POZOLÂNICOS	18
2.4.1	Concretos com adição de CBC	18
2.5	COMPONENTES DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS E ADIÇÃO DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR	19
2.5.1	Agregados	19
2.5.2	Aglomerante	20
2.5.3	Fibra de bagaço de cana-de-açúcar.....	20
2.5.4	Cinza de bagaço de cana-de-açúcar	21
2.6	PROPRIEDADES FÍSICAS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO	22
2.6.1	Trabalhabilidade.....	23
2.7	PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	24
2.7.1	Resistência à tração por compressão diametral.....	25
3	PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	26
3.1	OBTENÇÃO DOS RESÍDUOS	26
3.2	TRATAMENTO PRELIMINAR DA CBC E DA FBC	26
3.2.1	Preparação da CBC	26
3.2.2	Análise da microestrutura e morfologia da CBC – Execução da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	28
3.2.3	Determinação do teor de umidade da cinza natural.....	28
3.2.4	Determinação da granulometria da CBC.....	29
3.2.5	Determinação da massa específica da CBC.....	29
3.2.6	Determinação da massa unitária e volume de vazios da CBC.....	30
3.2.7	Preparação e tratamento químico da FBC.....	30
3.2.8	Análise da microestrutura e morfologia da FBC pós-tratada – Execução da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	34

3.2.9	Determinação do teor de umidade da FBC	35
3.2.10	Determinação da absorção de água da fibra pré e pós tratada	35
3.2.11	Massa específica da fibra pré e pós tratada	35
3.3	CIMENTO PORTLAND	36
3.4	DOSAGEM DOS CONCRETOS	36
3.5	METODOLOGIA DE RODAGEM	37
3.6	DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE 37	
3.7	PROCEDIMENTO DE MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA	39
3.8	EXECUÇÃO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	40
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	42
4.1	FBC	42
4.2	CBC	46
4.3	DOSAGEM	50
4.4	CONSISTÊNCIA ATRAVÉS DO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE	50
4.5	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	51
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO	54
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	55
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1 INTRODUÇÃO

A utilização de materiais e concretos especiais é crescente na construção civil. Os concretos especiais possuem em sua composição além dos agregados naturais, aglomerante e água, insumos especiais, como aditivos, materiais alternativos, subprodutos dentre outros, com propriedades e características específicas que, em geral, complementam, reforçam e/ou melhoram as propriedades do concreto de acordo com a finalidade exigida.

Considerando a natureza frágil desse material de construção, o reforço da matriz cimentícia com fibras promove o aumento da resistência à tração por meio da retardação da propagação de fissuras e pelo aumento da tenacidade, de modo a permitir maior deformação após a tensão de pico, aumentando a ductilidade do concreto (ABITANTE; LISBOA, 2017). O reforço com fibras vegetais possui baixo gasto energético para sua produção e é uma solução de menor custo e com resultados satisfatórios.

Cabe destacar que as proporções de materiais especiais, neste caso, a fibra e a cinza de bagaço de cana-de-açúcar (FBC e CBC respectivamente), devem ser bem determinadas nas misturas, a partir de misturas experimentais, a fim de se realizar ajustes conforme necessário, para alcançar as exigências de trabalhabilidade, resistência e durabilidade do concreto.

O aumento do percentual de finos, até certo limite, melhora o empacotamento das partículas e, conseqüentemente, eleva a resistência à compressão e à abrasão, diminuindo o consumo de cimento por m³ de concreto. Vale ressaltar que o aumento da resistência à compressão devido à incorporação de CBC pode ser creditado ao efeito físico de empacotamento das partículas, citado anteriormente, mas também ao efeito químico de reatividade (pozolanicidade) desse resíduo (BESSA, 2011).

Segundo Berezuk (2015) os pontos de extração de areia natural estão cada vez mais distantes dos centros urbanos, influenciando diretamente no aumento do custo e da emissão de gás carbônico (CO₂) emitido pelo transporte desse material. Ainda, a areia lavada é retirada de seu depósito natural, por meio de processos que causam riscos ambientais, isso porque, podem causar danos a fauna e flora terrestre, mudança no ecossistema aquático, assoreamento de rios, dentre outros.

A dificuldade de conseguir licença para novas áreas de extração de areia e as legislações cada vez mais rígidas, são fatores atuais e que influenciam na utilização desse material, isso porque, a extração de areia corresponde a uma atividade de exploração de um

recurso não renovável (BEREZUK, 2015). Dessa maneira, a utilização de materiais alternativos, como resíduos, é uma alternativa cada vez mais viável, visto que, possuem menor impacto ambiental e são ecologicamente corretos.

Nesse sentido, a busca por materiais que sejam menos impactantes na produção do concreto é uma demanda dos dias atuais, já que o concreto é um material estrutural predominante no mundo. Nesse contexto, as implicações ecológicas e o consumo de energia para sua produção devem ser considerados (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Pode-se citar, como outra demanda, a destinação adequada e eficiente dos resíduos industriais, que são gerados em grande escala atualmente.

Deste modo, várias pesquisas comprovam a viabilidade de utilização de subprodutos como a FBC e a CBC na produção dos concretos. Sendo justificadas principalmente, devido a elevada diminuição de impactos ambientais que incluem desde a contaminação do solo e dos cursos d'água, gerados através de resíduos de óleos e graxas dos maquinários utilizados para extração da areia, como a redução da destruição da camada de ozônio e efeito estufa, devido a diminuição da produção de CO₂ no transporte da areia, que se encontram em localidades cada vez mais afastadas.

As tecnologias de uso das FBC e CBC, são investigadas com êxito por vários autores como Sarmiento (1996), Silva (2010), Bessa (2011), Oliveira, Gouveia e Teixeira (2014), Lima *et al.* (2014), Berezuk (2015) e servem de embasamento para determinação dos percentuais desses resíduos na mistura, assim como os procedimentos de tratamentos preliminares e caracterização que serão efetuadas posteriormente.

De modo a tornar clara a justificativa da presente pesquisa, foram apresentados diversos fatores, econômicos e ambientais, que contribuem para comprovar a relevância de estudos nessa área. Desse modo, justifica-se esse tema devido a utilização simultânea de porcentagens de dois resíduos que fornecem propriedades distintas aos concretos. Assim, soluções viáveis, ecológicas e eficazes do ponto de vista tecnológico são buscadas em diversas pesquisas no âmbito da engenharia, principalmente com a utilização de materiais alternativos (FERNANDES; AMORIM, 2014).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Determinar por meio da análise dos resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral o concreto com adição de FBC, CBC ou simultâneo de FBC e CBC, que apresentar o melhor resultado quanto a resistência à tração por compressão diametral e definir por meio da análise das características da propriedade de trabalhabilidade existente nessa mistura a típica utilização para esse traço de concreto de acordo com a NBR 8953 (ABNT, 2015) que trata sobre as dosagens e aplicações de concretos estruturais de acordo com as classes de consistência.

1.1.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral desse trabalho foram necessários os seguintes objetivos específicos:

- Realizar o tratamento preliminar da CBC – secagem em estufa, quarteamento da amostra e armazenagem em porções definidas;
- Realizar o tratamento preliminar da FBC – procedimentos de lavagem, secagem, peneiramento e tratamento químico com silicato de sódio (NaSiO_3) a 5% e sulfato de zinco ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) a 30%;
- Caracterizar as propriedades químicas da FBC e da CBC através de microscopia eletrônica de varredura (MEV);
- Caracterizar as propriedades físicas da FBC e da CBC através de ensaios variados como massa específica e unitária, granulometria e absorção de água;
- Dosar os concretos de referência, com FBC (1%), com CBC (3,5%) e com FBC+CBC (1%; 3,5%) prevendo a relação a/c constante em todas as misturas;
- Classificar os traços de referência, com FBC (1%), com CBC (3,5%) e com FBC+CBC (1%; 3,5%) quanto à classe de consistência através do ensaio de abatimento do tronco de cone executado conforme a NBR 16889 (ABNT, 2020);

- Determinar a resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova de referência, com FBC (1%), com CBC (3,5%) e com FBC+CBC (1%; 3,5%) de acordo com a NBR 7222 (ABNT, 2011).

1.1.3 Organização do trabalho

O capítulo 1 apresenta a “introdução” ao tema, de modo a realizar a justificativa do trabalho e introduzir a metodologia que será utilizada para alcançar os objetivos propostos, geral e específico, do trabalho. Ainda apresenta a organização deste com a apresentação do que será exposto em cada capítulo.

O capítulo 2, apresenta a “revisão bibliográfica”, com o levantamento de dados e informações pertinentes ao tema e conceituação e explicitação das propriedades de trabalhabilidade e resistência à tração por compressão diametral conforme autores nacionais e internacionais.

O capítulo 3 apresenta o “programa experimental” do trabalho, os tratamentos preliminares dos resíduos, as caracterizações químicas e físicas dos resíduos, a metodologia da dosagem e moldagem dos corpos de prova, o procedimento de cura e a execução dos ensaios de determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone e resistência à tração por compressão diametral.

O capítulo 4 dispõe a “apresentação e análise de resultados” obtidos com os tratamentos preliminares, caracterização física e química dos resíduos, determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone e resistência à tração por compressão diametral.

O capítulo 5 apresenta as “considerações finais e conclusões” obtidos com os resultados apresentados no capítulo anterior, desde o tratamento preliminar dos resíduos à resistência dos corpos de prova. Nesse capítulo, é indicado conforme propõe o objetivo geral do trabalho, o concreto com melhor resistência à tração e sua possível utilização de acordo com sua consistência. Ainda apresenta a sugestão para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCRETO CONVENCIONAL

Segundo Neville e Brooks (2013), o concreto é qualquer produto ou massa, produzido a partir do uso de um meio cimentante. Mehta e Monteiro (2014) definem o concreto como um composto de agregados envolvidos por um meio contínuo aglomerante. À vista disso, pode-se definir o concreto convencional como o material composto por agregados miúdos e graúdos, aglomerante e água.

O concreto de cimento Portland é amplamente utilizado na construção civil, possui facilidade de moldagem à mais diferentes formas e tamanhos, é capaz de resistir à água e a ambientes agressivos, características que colaboram para apresentar-se como o segundo produto mais consumido do mundo (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

De acordo com Petrucci (1998) o concreto recém misturado, estado fresco, deve apresentar propriedades plásticas que facilitem o seu manuseio e lançamento, isto é, trabalhabilidade adequada a cada finalidade proposta. Posteriormente, por meio das reações de hidratação o concreto deve garantir a resistência mecânica prevista, normalmente uma das principais propriedades procuradas nesse material.

2.2 CONCRETOS ESPECIAIS

Abitante e Lisboa (2017) apontam que os chamados concretos especiais são materiais desenvolvidos para suprir as deficiências do concreto tradicional, composto por cimento, agregados naturais e água. Dessa forma, podem ser definidos como concretos com características particulares para atender necessidades específicas de determinadas aplicações.

Considerando a constante evolução dos materiais e a busca por aumento da resistência e durabilidade dos concretos, os concretos especiais são as inovações mais recentes do campo do concreto (ABITANTE; LISBOA, 2017).

O material mais utilizado na construção civil é o concreto convencional, entretanto, a produção de novos materiais, a utilização de resíduos reciclados, fibras, polímeros e o desenvolvimento de aditivos, contribuem para o avanço da utilização dos concretos

especiais, principalmente quando se trata em superar positivamente propriedades do concreto tradicional, principal característica dos concretos especiais.

Nesse contexto, existem diversos tipos de concretos especiais, pode-se citar alguns deles: os concretos leves, de alto desempenho, autoadensáveis, rolados, projetados, coloridos, com retração compensada, com polímeros, com fibras, dentre outros (BROOKS; NEVILLE, 2013).

2.3 CONCRETOS REFORÇADOS COM FIBRAS

As pesquisas e a tecnologia estão intrinsecamente ligadas ao desenvolvimento dos concretos especiais. O CRF pode ser definido como um material produzido com cimento Portland, agregados, água e fibras descontínuas misturadas, sendo que, a incorporação de fibras no concreto pode ocorrer a partir de material natural como asbesto, sisal e celulose ou industrializado como vidro, aço, carbono e polímeros (BROOKS; NEVILLE, 2013).

2.3.1 Concretos reforçados com fibras vegetais

Considerando as questões de sustentabilidade, a utilização de fibras vegetais vem sendo colocada em evidência, devido a busca por destinos finais aos resíduos gerados pela produção agroindustrial. As vantagens da utilização de fibras vegetais, segundo Bonassa et al. (2015), incluem apresentarem-se como fonte de recurso natural renovável, o baixo custo, a biodegradabilidade, a pouca energia para sua produção, que são ecologicamente corretas e apresentam-se disponíveis em todo o mundo. Ainda, pode-se destacar vantagens como atuação como reforço mecânico, de modo a apresentar valores satisfatórios de resistência à tração, flexão e ao impacto, aumento da ductilidade da matriz, alto índice de enfiamento e baixa massa específica aparente (SARMIENTO, 1996).

De acordo com Correia (2011) as desvantagens da utilização de fibras vegetais estão relacionadas principalmente a durabilidade da matriz reforçada, em razão da degradabilidade das fibras. Devido à alta alcalinidade do cimento é necessário a prévia modificação da superfície da fibra ou da composição da matriz, para que as fibras não tenham seu potencial de reforço comprometido. Pode-se citar também o esforço para obtenção do volume ideal de incorporação de fibras, já que, a quantidade, tipo e

comprimento das fibras atuam diretamente no acréscimo ou decréscimo das propriedades mecânicas do compósito (BONASSA *et al.*, 2015).

2.4 CONCRETOS COM ADIÇÃO DE MATERIAIS POZOLÂNICOS

De acordo com a NBR 12653 (ABNT, 2015) pozolanas são materiais silicosos ou silicoaluminosos que não possuem atividade cimentícia isoladamente, mas que finamente divididos e na presença de água reagem com o hidróxido de cálcio, resultando na formação de compostos cimentícios. A NBR 12653 (ABNT, 2015) classifica as pozolanas em naturais e artificiais. A incorporação de pozolanas naturais nos concretos incluem os materiais de origem vulcânica ou de origem sedimentar com atividade pozolânica, enquanto, as de pozolanas artificiais, incluem materiais provenientes de tratamento térmico ou subprodutos industriais como as argilas calcinadas e as cinzas volantes.

2.4.1 Concretos com adição de CBC

Através da queima do bagaço de cana-de-açúcar, a CBC é gerada, um resíduo da agroindústria sucroalcooleira, no final de sua cadeia. Classificada como cinza vegetal e com características físico-químicas consideradas não perigosas, possui em sua composição, altos teores de carbono e sílica (BEREZUK, 2015).

Segundo Cordeiro (2006), a possível fonte de sílica na composição da CBC são as areias das lavouras, que no processo de lavagem da cana-de-açúcar, não são completamente removidas. Ainda, segundo o mesmo autor, a CBC pode ser considerada um material pozolânico ou não reativo de acordo com o processo de queima que é submetido, nesse sentido, o controle da temperatura e do tempo, são fundamentais para determinação do estado amorfo ou cristalino da sílica presente na CBC.

A CBC pode ser utilizada em substituição a areia natural ou ao cimento Portland, desde que sejam analisadas suas características intrínsecas. Neste contexto, a reatividade da cinza é determinante para essa escolha, visto que, pode apresentar-se como um material de carga, sem atividade química, atuando apenas com o efeito de empacotamento granulométrico ou atuar quimicamente formando compostos que possuem propriedades cimentícias (CORDEIRO, 2006).

2.5 COMPONENTES DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS E ADIÇÃO DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

2.5.1 Agregados

Os agregados são fragmentos de rochas e areias, cujas dimensões variam de acordo com a finalidade de utilização na construção civil. Para a composição do concreto, os agregados representam $\frac{3}{4}$ em volume, o que exige grande atenção para a sua qualidade (ABITANTE; LISBOA, 2017). Isso porque, a resistência, a durabilidade e o desempenho dos agregados influenciam diretamente na qualidade e durabilidade dos concretos, tanto no estado fresco quanto endurecido.

A realização de ensaios nos agregados com a finalidade de avaliar suas características e propriedades são fundamentais, visto que, para cada aplicação, é necessário conhecer a classificação desses materiais, a fim de determinar a melhor utilização e obter o melhor custo-benefício, sem abandonar a qualidade (ABITANTE; LISBOA, 2017). A classificação dos agregados pode dar-se quanto às dimensões, ao tipo de rocha, à forma e textura da superfície.

Para a produção de concretos de boa qualidade é fundamental estabelecer a divisão entre agregados miúdos (areia) e agregados graúdos (brita). Essa classificação principal, pode ser obtida através da peneira de dimensão de 4,8 mm, sendo que, o material retido nessa peneira corresponde ao agregado graúdo e o passante ao agregado miúdo.

Desse modo, o ensaio de granulometria, definido pela NBR 248 (ABNT, 2003) contempla a medição e especificação do formato dos grãos que irão definir o agregado, por meio da utilização de uma série de peneiras com malha quadrada, as quais permitem a determinação das percentagens de partículas retidas e acumuladas em cada peneira (ABITANTE; LISBOA, 2017).

De acordo com Neville e Brooks (2013) o volume relativo dos agregados também afeta a trabalhabilidade. Como os agregados são mais baratos que a pasta de cimento, a tendência e/ou exigência econômica é que seja utilizada uma maior quantidade de agregados. Contudo, a utilização máxima do volume de agregados, visando o preenchimento dos vazios, desfavorece a trabalhabilidade do concreto, tornando-o com aparência áspera e suscetível a segregação.

Ainda, segundo Neville e Brooks (2013) existe um limite para a dimensão máxima do agregado, dado os efeitos prejudiciais de uma menor superfície de aderência e as descontinuidades introduzidas por partículas muito grandes. Vale ressaltar que o formato e o tamanho dos grãos influenciam diretamente na trabalhabilidade do concreto, por exemplo, para determinadas aplicações certas granulometrias tornam-se incompatíveis e/ou intrabalháveis, assim como certos formatos contribuem para uma mistura mais trabalhável.

2.5.2 Aglomerante

Os aglomerantes são materiais ativos, isto é, que são capazes de intervir sobre o funcionamento dos demais e possuem como principal função promover a ligação entre os grãos dos materiais inertes (ABITANTE; LISBOA, 2017). O principal aglomerante utilizado na atualidade é o cimento Portland, sua aplicação está associada a produção de pastas (aglomerante + água), argamassas (aglomerante + agregado miúdo + água) e concretos (aglomerante + agregados miúdo + agregado graúdo + água).

Os aglomerantes são comumente classificados em ativos e inertes. Os aglomerantes ativos são denominados de aéreos ou hidráulicos. Os aéreos endurecem pela ação do ar, enquanto os hidráulicos através do processo de hidratação com a água. Neste trabalho, será utilizado o aglomerante hidráulico cimento. Cabe ressaltar que existem diversos tipos de cimento, que variam conforme a composição do material e apresentam uma designação normalizada, através da NBR 16697 (ABNT, 2018).

2.5.3 Fibra de bagaço de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma cultura típica de países tropicais e subtropicais que se adapta com relativa facilidade em distintos solos. A indústria sucroalcooleira produz açúcar e álcool, nessa produção são gerados resíduos como: a torta de filtro, a vinhaça e o bagaço que necessitam de um descarte adequado, a fim de evitar futuros problemas de sua má disposição (BESSA, 2011).

Conforme Sarmiento (1996) apresenta, o bagaço de cana de açúcar é um composto lignocelulósico fibroso do colmo da cana-de-açúcar, formado principalmente por fibras

(43% a 52%), água (46% a 52%) e pequenas quantidades de sólidos solúveis e não solúveis (ambos em um total de 2% a 6%).

Atualmente, esse subproduto, o bagaço, é utilizado para cogeração de energia nas usinas sucroalcooleiras. A energia gerada a partir desses resíduos abastece a usina e gera excedente energético que é comercializado com as concessionárias para abastecer as comunidades. A incorporação da palha da cana ao bagaço para cogeração de energia é uma prática crescente nas indústrias do ramo.

Uma novidade é a utilização da vinhaça e da torta de filtro para produzir ainda mais energia, através do biogás, técnica já implementada em uma usina no estado de São Paulo. Nessa perspectiva, assim como aponta Sarmiento (1996) é possível utilizar apenas metade do bagaço de cana e o restante ainda ser utilizado para outras finalidades, sem prejuízo das demandas energéticas de uma indústria sucroalcooleira.

2.5.4 Cinza de bagaço de cana-de-açúcar

A cinza de bagaço de cana-de-açúcar é um resíduo gerado através da queima de subprodutos gerados nas usinas sucroalcooleiras (bagaço e palha) a fim de se obter energia elétrica. Um resíduo da bioeletricidade que consiste principalmente de sílica (SiO_2), fator que indica seu potencial como adição mineral (SANTOS; ET. AL, 2013).

A CBC tem se mostrado um subproduto viável para utilização na produção de elementos para construção civil. Vem sendo estudada tanto como adição mineral quanto como material inerte (BESSA, 2011). Nessa perspectiva, segundo Santos *et. al* (2013), Cordeiro (2006) e outros autores, o processo de queima, sem controle do tempo e da temperatura, ocasionam a combustão incompleta e consequente redução da reatividade das cinzas.

Entretanto, esse processo de controle da queima nas usinas pode acabar inviabilizando economicamente a utilização da CBC (SANTOS; ET. AL, 2013). Neste contexto, conforme Berezuk (2015) apresenta, devido às restrições legais e ambientais mais severas quanto à extração de areia, alternativas como a substituição parcial ou total da areia por CBC são alternativas cada vez mais relevantes e estudadas.

2.6 PROPRIEDADES FÍSICAS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

As propriedades físicas do concreto no estado fresco são muito importantes, visto que, a análise do concreto fresco quanto a sua trabalhabilidade, podem afetar tanto o custo quanto a qualidade do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

De acordo com Oliveira (2018) o concreto recém misturado, ainda no seu estado plástico, já apresenta algumas de suas propriedades, sendo que as principais características do concreto no estado fresco são a consistência, a coesão, a plasticidade, a exsudação, a segregação, a temperatura, entre outras.

Segundo Helene e Andrade (2010) a consistência do concreto, pode ser definida, consoante a tecnologia do concreto, como a maior ou menor capacidade do concreto de se deformar sob a ação da sua própria massa. Enquanto a coesão pode ser compreendida como a resistência à segregação e manutenção da homogeneidade da mistura, durante o manuseio e a vibração.

Pode-se definir também a plasticidade do concreto, que se trata de um parâmetro que pode ser entendido como a maior ou menor facilidade de se moldar ou adensar um concreto de maneira a retirar da mistura o maior número de vazios possíveis, tecnicamente, pode ser definida como a quantidade de trabalho necessária para se adensar totalmente o concreto mantendo sua homogeneidade (OLIVEIRA, 2018).

A adição de material pulverulento no concreto incrementa a coesão e a consistência, além de diminuir a exsudação do mesmo. Figueiredo (2011) aponta que a adição de fibras no concreto, altera a consistência e consequentemente a sua trabalhabilidade.

A adição de fibras provoca, ainda, o aumento da coesão na mistura, entretanto, deve-se atentar para o ajuste do traço, para se evitar o aumento de gasto energético com a compactação do material (FIGUEIREDO, 2011).

Nessa perspectiva, o concreto no estado fresco deve apresentar consistência de tal maneira que não apresente segregação e nem elevada exsudação, para que se tenha um bom acabamento e um concreto de qualidade (SANTOS; ET. AL, 2013).

2.6.1 Trabalhabilidade

Recena (2015) define trabalhabilidade como um parâmetro que conjuga um aspecto objetivo, portanto mensurável, a consistência, com outro aspecto de interpretação visual e subjetiva, a coesão. Para Bauer (2000), é uma noção subjetiva, definida como o estado que oferece maior ou menor facilidade nas operações de manuseio no estado fresco de argamassas e concretos frescos.

Quanto maior a trabalhabilidade de uma mistura, menor será a consistência, isto é, mais fluida será a mistura, que ainda assim, deve apresentar coesão. Entretanto, a trabalhabilidade não é um conceito relativo à plasticidade do concreto, pois depende da finalidade de utilização do material, ou seja, a trabalhabilidade ótima de um concreto depende da função, como por exemplo, peças de pavimentação (material seco) e concreto bombeável (plasticidade elevada) (RECENA, 2015).

Nesse sentido, a trabalhabilidade de um concreto está diretamente ligada às características específicas de sua utilização/empregabilidade, por exemplo, a densidade de armaduras, as dimensões das peças, as formas de lançamento e os procedimentos de adensamento.

O método mais empregado para avaliação indireta da trabalhabilidade de um concreto, por meio da consistência, é o abatimento pelo tronco de cone, NBR 16889 (ABNT, 2020), conhecido como “teste de slump”. Este teste se destaca devido à simplicidade de execução, baixo custo, velocidade e singeleza dos equipamentos, compostos por um tronco-cônico, uma gola, uma haste metálica, uma concha e uma base. (RECENA, 2015).

A NBR 8953 (ABNT, 2015), apresenta a classificação dos concretos quanto à sua massa específica determinada de acordo com a NBR 9778 (ABNT, 2009), quanto à resistência a compressão de concretos estruturais e quanto à consistência. Considerando que a consistência é uma das principais características da trabalhabilidade, a tabela 1, apresenta as aplicações típicas dos concretos de acordo com a classe de consistência:

Tabela 1 – Classes de consistência

Classe	Abatimento mm	Aplicações típicas
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundações

S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
S160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	≥ 220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras
NOTA 1 De comum acordo entre as partes, podem ser criadas classes especiais de consistência, explicitando a respectiva faixa de variação do abatimento.		
NOTA 2 De exemplos desta Tabela são ilustrativos e não abrangem todos os tipos de aplicações.		

Fonte: Adaptado de NBR 8953 (ABNT, 2015)

Isto posto, a combinação entre a consistência, a coesão e a plasticidade de um concreto são as principais características da trabalhabilidade. Desse modo, cabe destacar, que nenhum ensaio é capaz de fornecer uma avaliação completa da trabalhabilidade, portanto, fornecem apenas medidas de referência das principais características da trabalhabilidade citadas anteriormente.

2.7 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

Oliveira (2018) apresenta diversas propriedades do concreto no estado endurecido, dentre elas: resistência à compressão, resistência à tração, abrasão, permeabilidade, módulo de elasticidade, absorção, dureza superficial, resistividade elétrica, dentre outras.

A resistência à compressão é a principal característica do concreto, por caracterizar seu melhor desempenho (OLIVEIRA, 2018). É tradicionalmente uma propriedade fundamental do concreto, Santos *et. al* (2013) indica a segurança e a simplicidade de se determinar essa propriedade, por meio do ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos NBR 5739 (ABNT, 2018).

A partir do ensaio de resistência à compressão é possível avaliar a perda ou o ganho dessa propriedade, possibilitando indicar de forma geral o estado e a qualidade desse material, assim como modificações nas proporções, uniformidade e natureza dos componentes da mistura (SANTOS; ET. AL, 2013).

Pesquisas já demonstram a influência de finos na resistência à abrasão, assim como, a relação entre a profundidade de desgaste e as propriedades de resistência à tração, compressão e com o módulo de elasticidade. Ainda, indicam que a resistência dos corpos de prova depende da porosidade da matriz, da porosidade da zona de transição e da

porosidade dos agregados. Ou seja, a porosidade do concreto influencia diretamente o seu estado endurecido e conseqüentemente a sua resistência.

As propriedades do concreto no estado fresco influenciam também as propriedades no estado endurecido. Figueiredo (2011) demonstra que o controle da trabalhabilidade de concretos é de fundamental importância para definição do seu estado mecânico e que o método de moldagem dos corpos de prova influencia no fator de tenacidade.

Isto posto, o conjunto de propriedades e características de um concreto é o que o qualifica, contudo, devem ser consideradas em termos relativos, segundo a exigência da obra e a finalidade que será utilizado.

2.7.1 Resistência à tração por compressão diametral

Oliveira (2018) indica a resistência à tração dos concretos, como uma característica secundária, visto que, o concreto não se apresenta como um bom material para resistir a esforços de tração. Contudo, quando se utilizam novos materiais na composição do concreto, essa propriedade deve ser criteriosamente estudada e não deve ser desprezada.

Segundo Bessa (2011) a resistência à tração é uma importante propriedade do concreto, uma vez que permite estimar a carga à qual ocorre a fissuração em uma estrutura. Cabe destacar que o surgimento de fissuras nas estruturas pode ocorrer por diversos motivos, entretanto, o aparecimento delas reduz a durabilidade do concreto, pois contribuem para o surgimento de diversas patologias, como por exemplo, a corrosão de armaduras, o surgimento de reações álcali-agregados, dentre outras.

A resistência à tração de um concreto pode ser definida através de 3 tipos de ensaios normalizados, sendo eles: tração direta, tração por compressão diametral e tração na flexão. Vale ressaltar que para cada tipo de ensaio são obtidos diferentes resultados. No presente trabalho, será utilizado o método de tração por compressão diametral, de acordo com a NBR 7222 (ABNT, 2011).

A tração por compressão diametral é um método indireto, criado por Lobo Carneiro, em 1943, conhecido internacionalmente como “ensaio brasileiro”. Conforme Pinheiro, Muzardo e Santos (2004) esse ensaio é o mais utilizado e apresenta como vantagem a utilização do mesmo equipamento de determinação da resistência à compressão, sendo necessário apenas que o corpo de prova cilíndrico seja colocado com seu eixo horizontal entre os pratos da prensa.

Segundo Pinheiro, Muzardo e Santos (2004) o ensaio de tração na flexão apresenta valores maiores que o ensaio de tração por compressão diametral e de tração direta. Cabe destacar, que o ensaio de tração por compressão diametral apresenta valores um pouco maiores para os resultados se comparado ao ensaio de tração direta, entretanto, fornece resultados mais uniformes e de forma mais simples de serem determinados.

Nesse sentido, a definição da resistência à tração dos concretos é fundamental para diminuição dos problemas causados por fissuração, de modo a aumentar a qualidade e a durabilidade dos concretos e melhorar a aparência das estruturas.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 OBTENÇÃO DOS RESÍDUOS

Os resíduos utilizados neste trabalho, FBC e CBC, foram cedidos pela Usina Jalles Machado, uma empresa do setor sucroenergético, localizada no Município de Goianésia, Estado de Goiás. Cabe destacar que a FBC e a CBC coletadas, apresentavam-se em bom estado, sem impurezas, contaminações, restos orgânicos ou insetos.

3.2 TRATAMENTO PRELIMINAR DA CBC E DA FBC

3.2.1 Preparação da CBC

O processo de preparação da CBC, consistiu inicialmente no processo de secagem em estufa por 48 horas. Após a queima do bagaço de cana os funcionários da empresa jogam água para evitar a dispersão da CBC, devido a este procedimento o processo de secagem em estufa foi necessário, visto que, a CBC coletada apresentava-se saturada. A seguir, as figuras 1 e 2 demonstram o explanado anteriormente:

Figura 1: Material saturado



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 2: Amostra seca em estufa após 48 horas



Fonte: Autoria própria, 2021

Após a completa secagem da amostra de CBC, foi realizado o procedimento de quarteamento da amostra conforme prevê a norma de amostragem NBR NM 16915 (ABNT, 2021). A seguir figuras dessa etapa:

Figura 3: Processo de redução da amostra



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 4: Processo de redução da amostra



Fonte: Autoria própria, 2021

O quarteamento da amostra é importante, já que o material coletado não apresenta controle de queima e pode ter sido retirado de diferentes partes do forno, o que proporciona características e comportamentos diferentes a ele. Nessa perspectiva, a fim de manter uma verificação uniforme de suas propriedades, o material foi quarteado. Nesse sentido, a tabela 3, apresenta o resumo dos procedimentos e ensaios executados para caracterização da CBC:

Tabela 2 – Resumo dos procedimentos e ensaios para caracterização da CBC

Material	Ensaio/Procedimentos	Detalhes	Metodologia/Equipamento
Cinza de bagaço de cana-de- açúcar	Análise da microestrutura e morfologia da CBC		Microscópio eletrônico de varredura com espectrômetro de raio x
	Determinação do teor de umidade da cinza natural	Média de três amostras	Cápsulas e estufa
	Massa específica	NBR 16605	Querosene, frasco Le Chatelier, recipiente e balança
	Massa unitária e volume de vazios	NBR 16972	Recipiente com volume controlado, concha, haste metálica e balança
	Granulometria	NM 248	Peneiras, pincéis, recipientes e balança

Fonte: Autoria própria, 2021

3.2.2 Análise da microestrutura e morfologia da CBC – Execução da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O ensaio de MEV foi executado com a finalidade de analisar a microestrutura e morfologia da CBC. Através dessa análise é possível determinar a composição e a cristalinidade da CBC. Este ensaio foi realizado no Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução (LabMic) da Universidade Federal de Goiás (UFG).

3.2.3 Determinação do teor de umidade da cinza natural

A determinação do teor de umidade da cinza natural ocorreu antes de sua secagem em estufa. O procedimento foi executado com 3 amostras, sendo essas, colocadas na estufa por 24 horas a uma temperatura constante de 110 graus Celsius.

3.2.4 Determinação da granulometria da CBC

O ensaio de granulometria da CBC foi executado conforme prevê a NM 248 (ABNT, 2003). A quantidade de massa utilizada foi adaptada, considerando que a CBC é muito leve e possui alto volume. Dessa forma, o ensaio foi realizado com 150 gramas de massa quantidade já suficiente para execução do procedimento. As figuras 5 a 7 apresentam o executado:

Figura 5: Peneiras



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 6: Peneirador mecânico



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 7: Materiais retidos nas peneiras



Fonte: Autoria própria, 2021

3.2.5 Determinação da massa específica da CBC

A determinação da massa específica da CBC foi executada conforme prevê a NBR 16605 (ABNT, 2017). Cabe destacar que a quantidade de material utilizada para essa determinação foi de 30 gramas e foi obtida através de tentativas. A seguir figuras do procedimento executado:

Figura 8: Materiais utilizados



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 9: Procedimento



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 10: Finalização do ensaio



Fonte: Autoria própria, 2021

3.2.6 Determinação da massa unitária e volume de vazios da CBC

O ensaio de determinação da massa unitária e volume de vazios, foi executado de acordo com a NBR 16972 (ABNT, 2021). Devido às características da CBC e aos equipamentos disponíveis no Instituto, foi utilizado um recipiente de volume conhecido, um corpo de prova, não comprometendo os resultados obtidos, a seguir imagens dessa etapa:

Figura 11: Recipiente



Figura 12: Adicionando a CBC



Figura 13: Aplicando 25 golpes



Fonte: Autoria própria, 2021

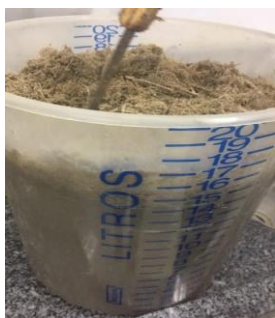
Fonte: Autoria própria, 2021

Fonte: Autoria própria, 2021

3.2.7 Preparação e tratamento químico da FBC

O processo de preparação da FBC consistiu em pré-lavagem, lavagem em água corrente, secagem ao ar, peneiramento e tratamento químico. Inicialmente, o resíduo foi pré-lavado, este processo, consistiu em despejar as fibras em baldes e submergi-las na água, trocando a água por três vezes, com o intuito de reduzir a considerável quantidade de material fino presente na amostra. Em seguida, a FBC foi colocada em pequenas quantidades em peneiras de 4,8 mm e lavadas em água corrente até estarem visualmente limpas (sem excesso de finos). As etapas descritas anteriormente, estão apresentadas nas figuras 14 a 16, a seguir:

Figura 14: Pré-lavagem



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 15: Lavagem em água corrente



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 16: Fibra lavada



Fonte: Autoria própria, 2021

A escolha da pré-lavagem e lavagem em água corrente foi relacionada à facilidade de execução e futura repetibilidade e reprodutibilidade dos resultados obtidos com esse tipo de lavagem, que possui como objetivo a retirada de quaisquer materiais que não sejam fibras, assim como a retirada superficial da sacarose presente no material.

Após esses processos, as FBC foram dispostas sobre uma lona limpa a fim de permitir a secagem natural, ao ar, da amostra, conforme imagens a seguir:

Figura 17: Disposição das fibras



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 18: Secagem ao ar



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 19: Amostra seca



Fonte: Autoria própria, 2021

Durante o processo de secagem, as fibras foram reviradas a cada 24 horas, para que secassem igualmente e completamente. Esse processo durou 3 dias. Concluída a secagem ao ar da FBC, foi realizado o peneiramento da mesma. Em pequenas quantidades a amostra foi peneirada em 2 intervalos de 5 minutos, utilizando o peneirador mecânico e as peneiras de 95 mm, 4,8 mm e 2 mm, conforme apresentado nas próximas figuras:

Figura 20: Amostra no peneirador



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 21: Material retido nas peneiras 4,8 e 2 mm e fundo



Fonte: Autoria própria, 2021

Ramirez Sarmiento (1996), aponta que a utilização aleatória de fibras na matriz é recomendada quando se utilizam fibras de até 4 cm. Nesse contexto, o processo de peneiramento, foi realizado com o objetivo de obter-se o comprimento médio das fibras adotado para realização desse trabalho, entre 1 cm e 3 cm, que correspondeu ao material retido nas peneiras de 4,8 e 2 mm.

Posteriormente, realizou-se o processo de tratamento da FBC, que seguiu a metodologia apresentada por Ramirez Sarmiento (1996). Cabe destacar, que o autor sugere a utilização de uma solução de silicato de sódio (NaSiO_3) a 5% e sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) a 30%, contudo, considerando as propriedades químicas e a finalidade, realizou-se a substituição do sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) por sulfato de zinco (ZnSO_4). Cabe ressaltar que as modificações introduzidas nessa metodologia foram condicionadas à um desempenho igual ou superior à redução de absorção de água apresentada nesse referencial bibliográfico.

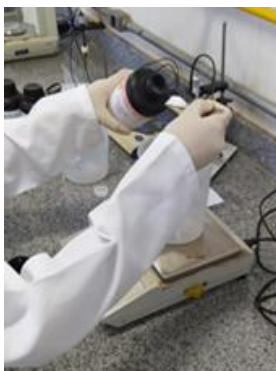
Assim, o procedimento de proteção (mineralização) das FBC, foi realizado com uma solução de silicato de sódio (NaSiO_3) a 5% e sulfato de zinco (ZnSO_4) a 30%. O procedimento para preparação da solução não utilizou temperatura e consistiu basicamente na dissolução dos elementos em água destilada em balões volumétricos. Cabe observar que devido a maior concentração de sulfato de zinco essa solução se apresentou saturada, conforme previsto. As figuras 22, 23 e 24 apresentam o processo de produção das soluções:

Figura 22: Reagentes



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 23: Processo de pesagem



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 24: Balão volumétrico e funil



Fonte: Autoria própria, 2021

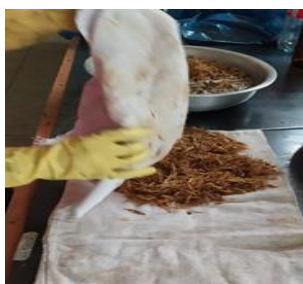
O processo de mineralização executado, consistiu na imersão da FBC, inicialmente na solução de silicato de sódio (5%) por 1 hora e secagem superficial com pano limpo (em até 5 min) e nova imersão na solução saturada de sulfato de zinco (30%) por mais 1 hora, nova secagem superficial de forma análoga a anterior, seguida de secagem em estufa a 55 graus, por 48 horas. Após as primeiras 24 horas as fibras foram reviradas para secarem igualmente. A seguir as figuras dos procedimentos descritos anteriormente:

Figura 25: Fibras imersas na solução



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 26: Secagem superficial



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 27: Fibras secas



Fonte: Autoria própria, 2021

Nessa perspectiva, após o tratamento químico da fibra é possível dar início a caracterização da mesma. A seguir a tabela 3, apresenta o resumo dos procedimentos e ensaios que foram executados para caracterização da fibra:

Tabela 3 – Resumo dos procedimentos e ensaios para caracterização da FBC

Material	Ensaio/Procedimento	Detalhes	Metodologia/Equipamento
Fibra de bagaço de cana-de- açúcar	Análise da composição e morfologia da FBC pós-tratada		Microscópio eletrônico de varredura com espectrômetro de raio x
	Determinação do teor de umidade da fibra pré-tratada	Média de três amostras	Cápsulas e estufa
	Absorção de água da fibra pré e pós tratada	Procedimentos definidos de acordo com referencial teórico (SARMIENTO, 1986)	Fibras, balanças, recipientes, panos limpos e água.
	Massa específica da fibra pré e pós tratada	Determinação por volume de líquido deslocado (SARMIENTO, 1986)	Fibras, álcool, cronômetro e provetas.

Fonte: Autoria própria, 2021

3.2.8 Análise da microestrutura e morfologia da FBC pós-tratada – Execução da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O ensaio de MEV foi executado com a finalidade de analisar a microestrutura e morfologia da FBC. Através dessa análise é possível verificar o tratamento superficial executado na fibra pós tratada. Este ensaio foi realizado no Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução (LabMic) da Universidade Federal de Goiás (UFG).

3.2.9 Determinação do teor de umidade da FBC

O teor de umidade da nossa fibra foi realizado após o procedimento de lavagem e secagem ao ar da mesma. Onde 3 amostras foram colocadas na estufa por 24 horas a uma temperatura constante de 55 graus Celsius.

3.2.10 Determinação da absorção de água da fibra pré e pós tratada

O ensaio de absorção de água, consistiu na imersão em água de uma massa conhecida de FBC natural e outra tratada, por tempos iguais e pré-determinados com posterior secagem superficial e nova medição da massa, possibilitando determinar a quantidade de água absorvida pelo material natural e tratado, sendo possível uma avaliação do tratamento químico anteriormente realizado. As Imagens 19 a 21 explicitam o descrito anteriormente:

Figura 28: FBC



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 29: FBC imersa na água



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 30: FBC seca superficialmente



Fonte: Autoria própria, 2021

3.2.11 Massa específica da fibra pré e pós tratada

A determinação da massa específica da fibra pré-tratada e pós-tratada, ocorreu por meio da técnica de volume de líquido deslocado. Para determinarmos esse índice físico, foi utilizado álcool, uma vez que massa específica das fibras é muito baixa e provetas de vidro devido à forma/estrutura física das fibras. A seguir imagens do procedimento:

Figura 31: Materiais utilizados Figura 32: Proveta com álcool Figura 33: FBC imersa no álcool



Fonte: Autoria própria, 2021 Fonte: Autoria própria, 2021 Fonte: Autoria própria, 2021

Cabe ressaltar que procedimento foi executado 3 vezes consecutivas e que as leituras foram realizadas imediatamente após a adição das fibras no álcool, uma vez que a absorção do líquido pelas FBC e a evaporação do álcool interferem na correta leitura do deslocamento, exigindo padronização e velocidade na determinação desse deslocamento através da leitura de líquido deslocado.

3.3 CIMENTO PORTLAND

No presente trabalho, optou-se por utilizar o cimento Portland composto com material carbonático, CP II-F 32, da marca Tocantins, devido a usabilidade, custo e facilidade de obtenção no mercado, de modo a promover a reprodutibilidade dos resultados da pesquisa.

3.4 DOSAGEM DOS CONCRETOS

A dosagem dos concretos consistiu na adoção inicial de alguns parâmetros e posteriormente de forma empírica definiu-se o traço final. Os parâmetros estabelecidos foram o teor de argamassa igual a 55% e a proporção de areia e brita igual a 4. A relação água cimento (a/c) foi ajustada de acordo com a trabalhabilidade do traço simultâneo. Isto é, se a relação a/c adotada para o traço simultâneo permitisse a avaliação da consistência através do abatimento do tronco de cone e a execução da moldagem dos corpos de prova seria viável fixar a relação a/c para os demais traços.

3.5 METODOLOGIA DE RODAGEM

A metodologia de rodagem para o traço de referência, com adição de FBC, com adição de CBC e o simultâneo foi executada igualmente de acordo com os seguintes passos:

1. Umidificação da betoneira;
2. Adição da brita, o cimento e $1/3$ da água na betoneira;
3. Adição da areia e $2/3$ da água.

Cabe destacar que o traço com a adição de CBC, teve esse resíduo adicionado no passo 2, isto é, em conjunto com o cimento, a brita e $1/3$ da água. Enquanto o traço com a adição da FBC, teve esse resíduo adicionado nos 5 minutos finais da rodagem conforme recomenda Sarmiento (1996), a fim de garantir a integridade da FBC. Dessa forma, o traço simultâneo seguiu a mesma sequência de adição dos resíduos da metodologia de rodagem dos traços de CBC e FBC.

É válido ressaltar que o procedimento de rodagem totalizou 17 minutos com 3 intervalos definidos de 30 segundos para raspagem da betoneira, sendo eles aos 2, 9 e 15 minutos. Ainda, o procedimento de rodagem sempre foi executado na mesma betoneira e com a mesma inclinação a fim de garantir a mesma energia aplicada às misturas.

3.6 DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE

A determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone seguiu a normativa NBR 16889 (ABNT, 2020). Após a rodagem de cada traço o ensaio foi executado conforme recomenda a norma e os resultados foram registrados para análise do estudo. A seguir as figuras 34 e 35 expressam parte da execução do ensaio:

Figura 34: Preenchimento da terceira camada Figura 35: Adensamento da terceira camada



Fonte: Autoria própria, 2021



Fonte: Autoria própria, 2021

Durante a execução desse ensaio foram observados aspectos como homogeneidade da mistura, exsudação, coesão e integridade da FBC. Cabe destacar que todos os traços, apesar de abatimentos distintos, possuíram boa coesão (com presença adequada de pasta na mistura), não possuíram exsudação e a FBC resistiu a rodagem. A seguir, as figuras 36 e 37, representam o exposto anteriormente:

Figura 36: Concreto de Referência



Fonte: Autoria própria, 2022

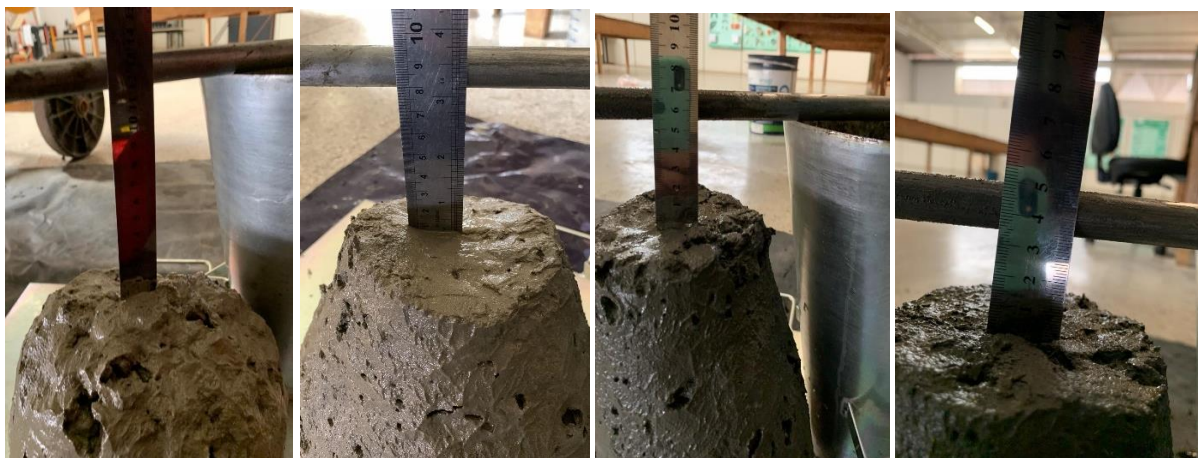
Figura 37: Concreto simultâneo 1% FBC+3,5%CBC



Fonte: Autoria própria, 2022

Por meio das figuras a cima, é possível perceber a homogeneidade das misturas. Apesar do concreto simultâneo apresentar-se mais seco visualmente e com menor abatimento em relação ao concreto de referência, ainda assim apresentou boa plasticidade e não gerou dificuldade em sua moldagem. A seguir algumas figuras que apresentam os abatimentos dos traços executados:

Figura 38: Abatimento dos concretos de Referência, 1% de FBC, 3,5% CBC e simultâneo nesta ordem



Fonte: Autoria própria, 2022

Como pode-se observar na figura a cima, todas as misturas apresentavam boa quantidade de pasta e tiveram o abatimento considerado verdadeiro, isto é, não sofreram cisalhamento ou desagregação por falta de coesão. Cabe destacar, que todos os abatimentos possuem o mesmo traço, isto é, a mesma quantidade de materiais (água, areia, brita e cimento) exceto as adições.

3.7 PROCEDIMENTO DE MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA

O procedimento de moldagem e cura dos corpos de prova cilíndricos seguiu a normativa NBR 5738 (ABNT, 2015). Cabe destacar que de forma anterior a moldagem deve-se revestir os moldes com uma fina camada de óleo mineral ou produto comercial específico para desmoldagem conforme recomenda a normativa citada anteriormente. Neste trabalho utilizou-se óleo hidráulico da marca Havoline.

O procedimento de moldagem dos corpos de prova ocorreu de forma mecanizada e manual de acordo com o abatimento obtido no ensaio do tronco de cone. O processo de desmoldagem ocorreu 24 horas após a rodagem e o procedimento de cura utilizado foi o submerso em tanque com água saturada com cal. A seguir algumas imagens dos procedimentos executados:

Figura 39: Adensamento com vibrador de agulha de imersão



Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 40: Rasamento das superfícies



Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 41: Corpos de prova desmoldados



Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 42: Corpos de prova em cura submersa



Fonte: Autoria própria, 2022

É válido ressaltar que os corpos de prova após a desmoldagem foram devidamente identificados antes de serem colocados no tanque na cura submersa. Ainda, o procedimento de rodagem previu o volume mínimo de 6 corpos de prova por traço para o ensaio de tração, já que, foram ensaiadas triplicatas em duas idades (7 e 28 dias).

3.8 EXECUÇÃO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

A execução do ensaio de resistência à tração por compressão diametral ocorreu de acordo com a normativa 7222 (ABNT, 2011) nas idades de 7 e 28 dias. O posicionamento do corpo de prova ocorreu com a utilização de um dispositivo auxiliar (com largura, altura

e comprimento definidos na normativa do ensaio), o que facilitou o posicionamento do corpo de prova na máquina.

As imagens a seguir referem-se ao posicionamento do corpo de prova na prensa e em seguida o resultado do rompimento de tração por compressão diametral:

Figura 43: Posicionamento do corpo de prova



Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 44: Corpo de prova rompido



Fonte: Autoria própria, 2022

É importante apontar que em conjunto com a utilização do dispositivo auxiliar foi executada a marcação do corpo de prova através de uma linha reta diametral em cada extremidade, a fim de facilitar o posicionamento do corpo de prova na prensa.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 FBC

A umidade obtida ocorreu através da média de três amostras obtendo-se 8,51% de teor de umidade médio. Segundo Sarmiento (1996) a umidade média de equilíbrio do bagaço está situada entre 9% e 10% e tem relação direta com a capacidade de absorção da FBC e a condição solta da FBC coletada.

A massa específica da FBC foi obtida através da média de três ensaios consecutivos com o mesmo operador, obtendo-se 0,5 g/cm³ para fibra natural e 0,83 g/cm³ para fibra tratada. Os valores obtidos estão dentro da faixa encontrada nos referenciais bibliográficos.

O ensaio de absorção de água demonstrou uma redução de 65,26% da absorção de água pela fibra tratada com silicato de sódio (NaSiO₃) a 5% e sulfato de zinco (ZnSO₄) a 30%. Valor superior à faixa indicada por Sarmiento (1986), entre 50% e 60%. O que demonstra de forma satisfatória a substituição de sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃) por sulfato de zinco (ZnSO₄) no tratamento proposto.

O ensaio foi realizado com 20 gramas de fibras secas naturais e 20 gramas de fibras secas tratadas. A seguir as tabelas 6 e 7 com os valores obtidos no ensaio:

Tabela 4 – Quantidade de água absorvida pela FBC pré-tratada de acordo com o tempo

Tempo de imersão em água	Peso da amostra + água (g)	Peso de água absorvida (g)
1 minuto	44	24
2 minutos	46	26
3 minutos	46,5	26,5
4 minutos	47,1	27,1
5 minutos	48,2	28,2
10 minutos	48,5	28,5
15 minutos	49,6	29,6
20 minutos	50,1	30,1
25 minutos	51,3	31,3
30 minutos	52,7	32,7
1 hora	53,2	33,2
2 horas	55,6	35,6
3 horas	57	37
12 horas	66	46

24 horas	69	49
48 horas	76	56
72 horas	79	59

Fonte: Autoria própria, 2021

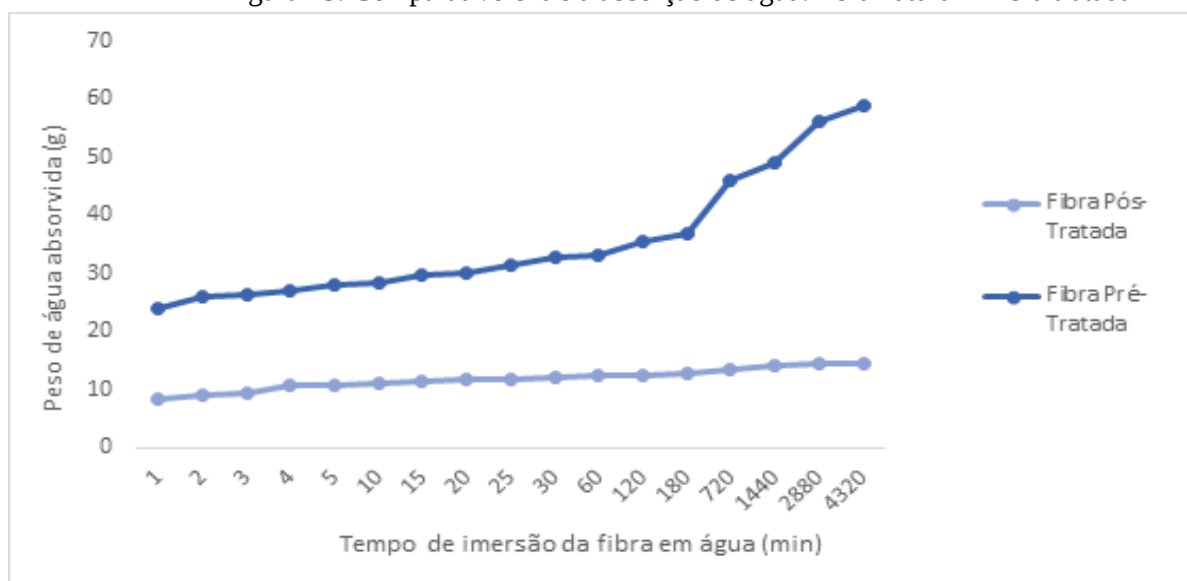
Tabela 5– Quantidade de água absorvida pela FBC pós-tratada de acordo com o tempo

Tempo de imersão em água	Peso da amostra + água (g)	Peso de água absorvida (g)
1 minuto	28,5	8,5
2 minutos	28,9	8,9
3 minutos	29,4	9,4
4 minutos	30,6	10,6
5 minutos	30,9	10,9
10 minutos	31,2	11,2
15 minutos	31,3	11,3
20 minutos	31,8	11,8
25 minutos	31,9	11,9
30 minutos	32	12
1 hora	32,3	12,3
2 horas	32,6	12,6
3 horas	32,9	12,9
12 horas	33,5	13,5
24 horas	34,3	14,3
48 horas	34,5	14,5
72 horas	34,5	14,5

Fonte: Autoria própria, 2021

Para auxiliar na visualização do exposto nas tabelas 6 e 7, foi criado um gráfico, onde é possível observar de forma mais clara, o exposto anteriormente, conforme a seguir:

Figura 45: Comparativo entre a absorção de água: fibra natural x fibra tratada

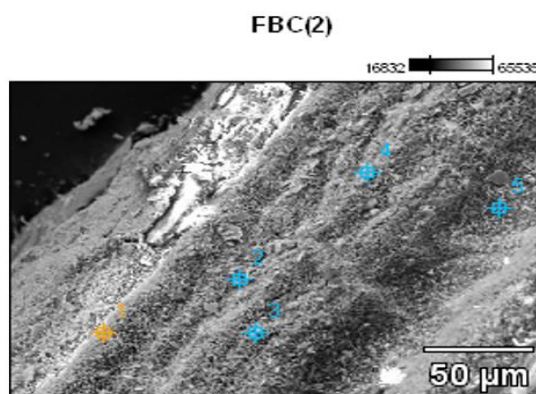


Fonte: Autoria própria, 2021

Analisando o gráfico e as tabelas é possível obter informações como a quantidade de água absorvida no primeiro minuto de imersão, no qual, a fibra pré-tratada absorve 24 gramas de água, encontrando-se saturada, enquanto a fibra pós-tratada absorve pouco mais de 8 gramas. Nessa perspectiva, após 72 horas, pode-se comparar a absorção entre as fibras com uma diferença de aproximadamente 25%.

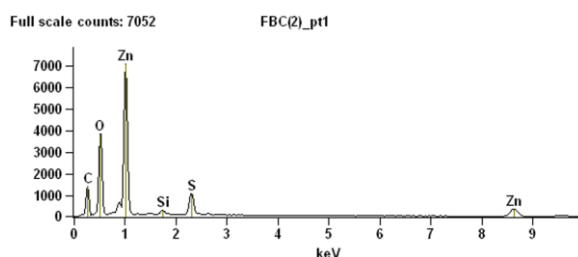
O ensaio de MEV apresenta informações morfológicas e superficiais importantes. Executado na fibra pós-tratada, em 5 pontos distintos da estrutura, como demonstra a figura 46, forneceu os seguintes resultados:

Figura 46: MEV da FBC sob aumento de 500 vezes



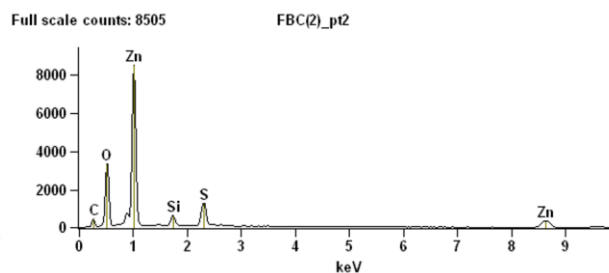
Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 47: Composição da FBC ponto 1



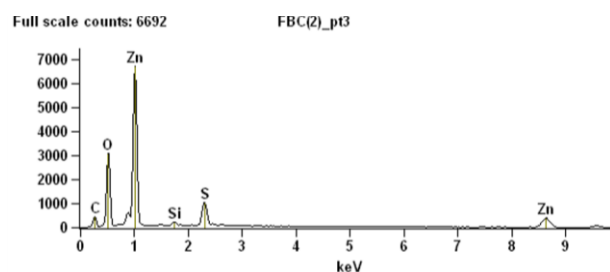
Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 48: Composição da FBC ponto 2



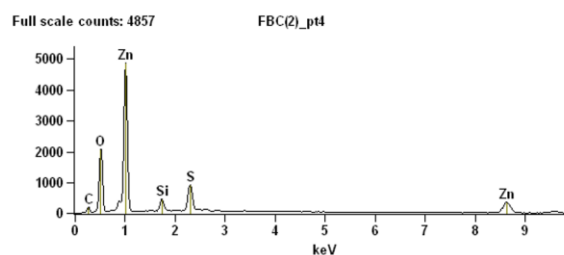
Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 49: Composição da FBC ponto 3



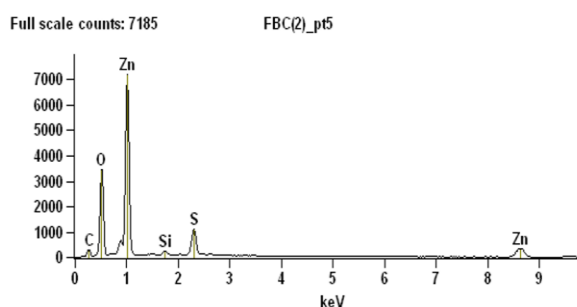
Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 50: Composição da FBC ponto 4



Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 51: Composição da FBC ponto 5



Fonte: Autoria própria, 2022

Analisando as figuras 47 a 50 é possível perceber a predominância do sulfato de zinco (ZnSO_4), elemento químico utilizado no tratamento superficial da FBC em solução saturada. Ainda, na figura 46 é possível perceber o efeito do tratamento químico sobre a superfície da FBC, que se apresenta com característica áspera causada pela impregnação do silicato de sódio (NaSiO_3) e sulfato de zinco (ZnSO_4) e demonstrando em conjunto com os resultados do ensaio de absorção de água os efeitos do tratamento químico proposto.

4.2 CBC

A umidade obtida ocorreu através da média de três amostras obtendo-se 432,83% de teor de umidade médio. Esse valor tão elevado deu-se por conta de a CBC encontrar-se saturada durante a sua coleta. Por isso, foi determinado o processo de secagem em estufa para esse resíduo.

A massa específica foi obtida por meio de dois ensaios consecutivos executados pelo mesmo operador, obtendo-se 1,68 g/cm³. O valor encontrado é mais baixo que a massa específica comum da areia média, conforme previsto, contudo está próximo aos valores encontrados nos referenciais bibliográficos.

A massa unitária na condição solta e compacta foi obtida através da realização de dois ensaios consecutivos com o mesmo operador, obtendo-se valores de a 0,14 kg/dm³ e 0,17 kg/dm³ respectivamente.

A granulometria da CBC foi executada com duas amostras e forneceu módulo de finura (MDF) médio de 1,31, enquanto a dimensão máxima característica (DMC) de ambas as amostras foram de 1,18. A seguir as tabelas 6 e 7 dos resultados obtidos na granulometria:

Tabela 6 - Granulometria amostra 1

Pen. # (mm)	Massa retida (g)	% Retida	%Ret. Acumulada	% Passante
9,5	0	0	0	100
6,3	0	0	0	100
4,8	0	0	0	100
1,18	1,8	1,25	1,25	98,75
600 µ m	13	9,02	10,26	89,74
300 µ m	53,6	37,17	47,43	52,57
150 µ m	40,3	27,95	75,38	24,62
Fundo	35,5	24,62	100,00	0,00
	144,2	100,00		
DMC		1,18	MDF	1,34

Fonte: Autoria própria, 2021

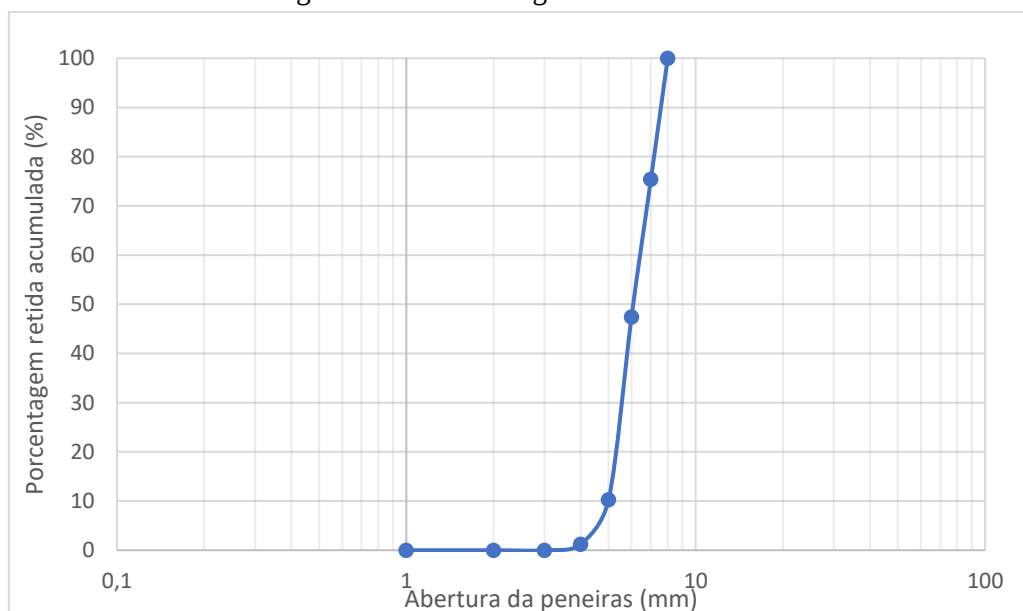
Tabela 7 - Granulometria amostra 2

Pen. # (mm)	Massa retida (g)	% Retida	%Ret. Acumulada	% Passante
9,5	-	-	-	100
6,3	-	-	-	100
4,8	-	-	-	100
1,18	1,4	0,93	0,93	99,07
600 μ m	12,4	8,27	9,20	90,80
300 μ m	53,9	35,93	45,13	54,87
150 μ m	43,6	29,07	74,20	25,80
Fundo	38,7	25,80	100,00	0,00
Total	150	100		
DMC		1,18	MDF	1,29

Fonte: Autoria própria, 2021

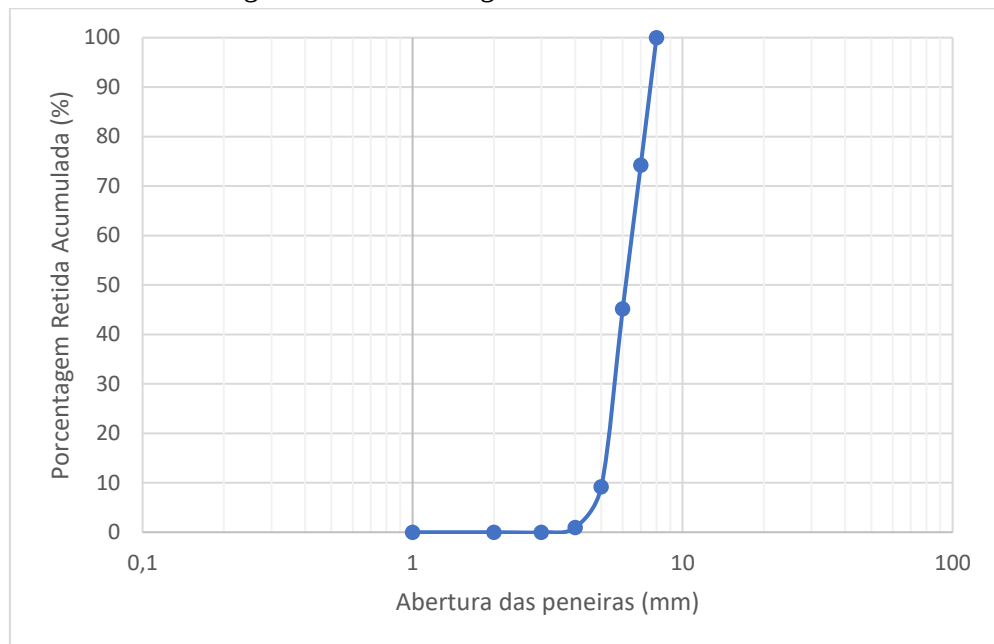
A fim de melhor visualizar o exposto anteriormente, a seguir as figuras dos gráficos construídos com a granulometria da CBC:

Figura 52: Gráfico de granulometria – Amostra 01



Fonte: Autoria própria, 2021

Figura 53: Gráfico de granulometria – Amostra 02

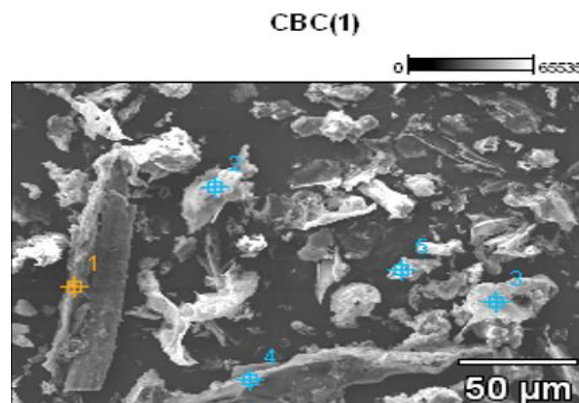


Fonte: Autoria própria, 2021

Cabe destacar que a CBC estudada apresentou-se abaixo da zona utilizável determinada pela NBR 7211 (ABNT, 2019), entretanto como não existe norma regulamentadora sobre esse resíduo, a aplicabilidade e as suas características estão sendo analisadas similarmente aos agregados e levando em consideração referências de pesquisas já executadas na área.

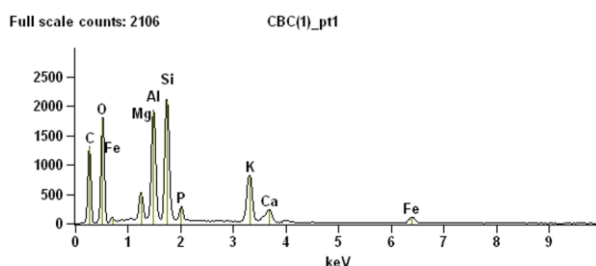
O ensaio de MEV apresenta informações microestruturais importantes. Executado na CBC, em 5 pontos distintos da estrutura, como demonstra a figura 54, forneceu os seguintes resultados:

Figura 54: MEV da CBC sob aumento de 500 vezes



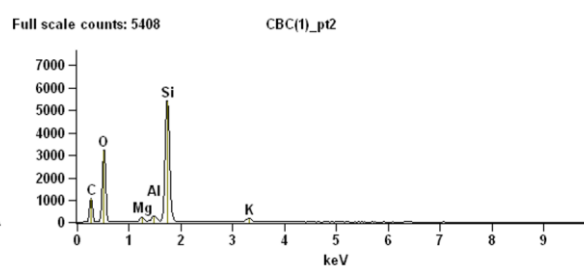
Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 55: Composição da CBC ponto 1



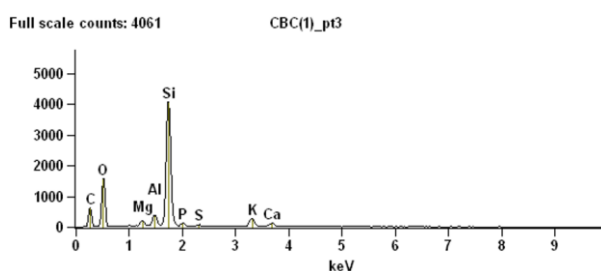
Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 56: Composição da CBC ponto 2



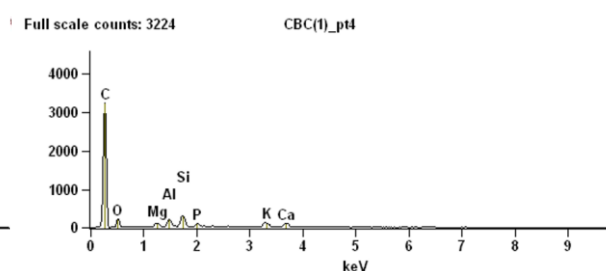
Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 57: Composição da CBC ponto 3



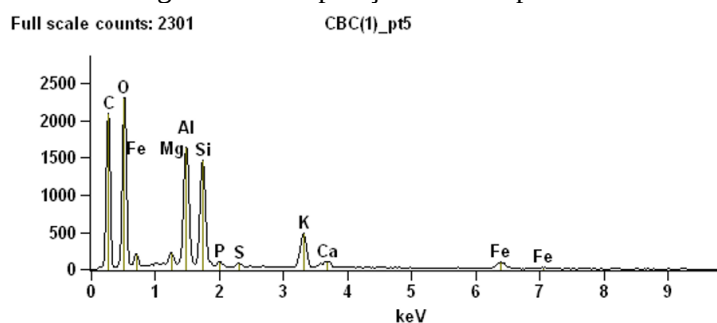
Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 58: Composição da CBC ponto 4



Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 59: Composição da CBC ponto 5



Fonte: Autoria própria, 2022

Analisando as figuras 55 a 59 é possível perceber a heterogeneidade de cada ponto analisado. Nos pontos 1, 2 e 3 é possível perceber a predominância do elemento silício (Si) e do elemento oxigênio (O), em conjunto esses elementos formam o composto conhecido como sílica (SiO_2). Uma provável fonte de sílica para CBC é a areia vinda da lavoura, que não é totalmente removida durante a lavagem da cana-de-açúcar (BEREZUK, 2015).

Analisando o ponto 4 é possível verificar a predominância do elemento carbono (C). Dessa forma, a presença do alto teor de carbono em algumas fases da CBC contribui para redução da atividade pozolânica do resíduo. Por conseguinte, o ponto 5, que apresenta além do alto teor de carbono, a presença da sílica.

É de suma importância destacar que devido a heterogeneidade da CBC, para alcançar comportamentos que garantam a reprodutibilidade dos ensaios é necessário a execução da preparação do material (com secagem, quarteamento e armazenagem) de modo a garantir que todos as amostras possuam predominantemente as mesmas fases.

Cabe destacar que o processo de calcinação provoca mudanças significativas na morfologia e superfície da CBC, através da imagem 54 é possível analisar a presença de tamanhos e formas irregulares das partículas. Também é possível perceber a composição amorfa e a presença de pontos cristalinos.

4.3 DOSAGEM

O traço final executado para todos os concretos foi de 1:1,75:2,25:0,55. Sem a utilização de aditivo e considerando o teor ideal de argamassa de 55% e proporção de areia e brita de 4, valores fixados inicialmente.

4.4 CONSISTÊNCIA ATRAVÉS DO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE

A consistência obtida através do ensaio de abatimento do tronco de cone, NBR 16889 (ABNT, 2020), para os traços executados está expressa a seguir:

Tabela 8 – Determinação da consistência

Concreto	Abatimento (mm)
Referência	120
1% FBC	80
3,5% CBC	60

1% FBC + 3,5% CBC	35
-------------------	----

Fonte: Autoria própria, 2022

Analizando a tabela anterior, é possível perceber que os abatimentos foram reduzidos de acordo com a incorporação das adições, o que era esperado, já que os ajustes nos traços ocorreram com ênfase nos abatimentos e moldagens executadas, afim de assegurar que o traço simultâneo fosse viável/trabalhável.

4.5 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

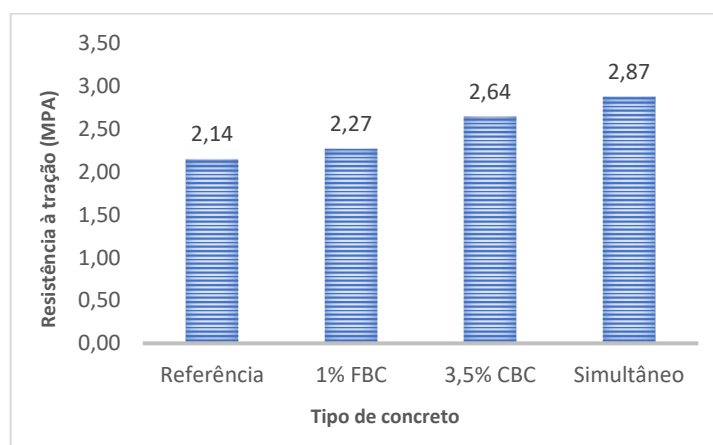
A média dos resultados obtidos com o ensaio de resistência à tração por compressão diametral, NBR 7222 (ABNT, 2011), executado aos 7 dias estão expressos por meio da tabela e gráfico a seguir:

Tabela 09 – Resistência média à tração por compressão diametral – 7 dias

Concreto	Resistência à tração – 7 dias (MPa)
Referência	2,14
1% FBC	2,27
3,5% CBC	2,64
1% FBC + 3,5% CBC	2,87

Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 60: Gráfico da resistência média à tração por compressão diametral – 7 dias



Fonte: Autoria própria, 2022

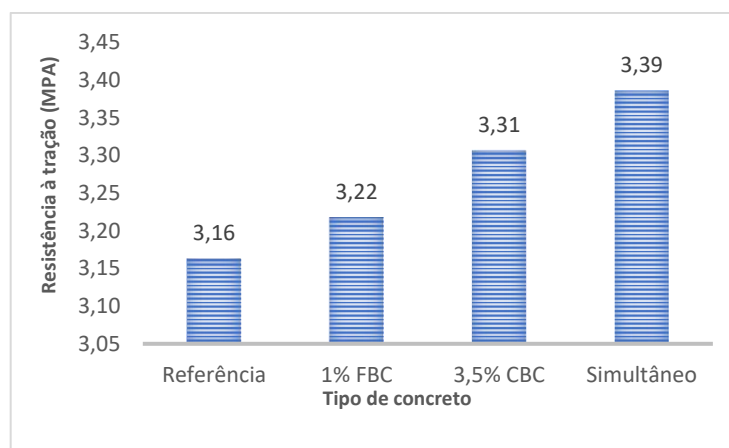
Pode-se observar que o menor valor para resistência à tração por compressão diametral ocorreu no concreto de referência enquanto o maior no concreto simultâneo. A seguir os resultados obtidos com os rompimentos aos 28 dias:

Tabela 10 – Resistência média à tração por compressão diametral – 28 dias

Concreto	Resistência à tração – 28 dias (MPa)
Referência	3,16
1% FBC	3,22
3,5% CBC	3,31
1% FBC + 3,5% CBC	3,39

Fonte: Autoria própria, 2022

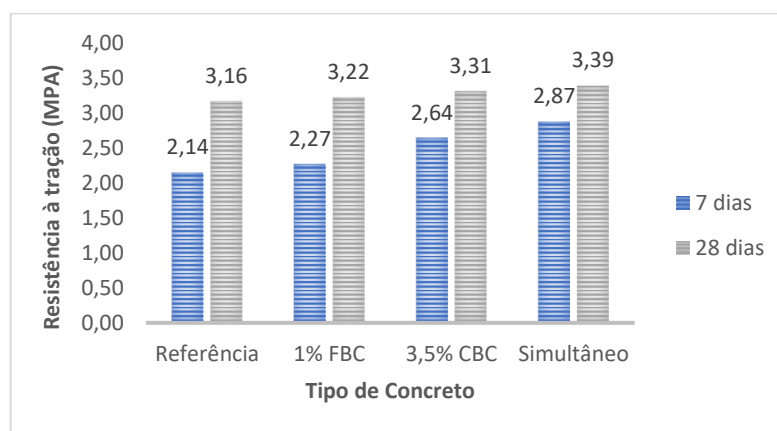
Figura 61: Gráfico da resistência média à tração por compressão diametral – 28 dias



Fonte: Autoria própria, 2022

Observando a tabela e o gráfico acima, pode-se observar que o aumento de resistência permaneceu na mesma evolução, com o concreto simultâneo apresentando maior resistência que os demais, de referência, com 1% de FBC e com 3,5% de CBC. Afim de expressar visualmente o exposto anteriormente, um gráfico resumo dos resultados médios obtidos nas duas idades:

Figura 62: Gráfico da resistência média à tração por compressão diametral aos 7 e 28 dias



Fonte: Autoria própria, 2022

Em virtude dos resultados obtidos é possível afirmar que a utilização simultânea de FBC e CBC, com porcentagens de 1% e 3,5% respectivamente, obtiveram a maior resistência à tração por compressão diametral, seguida da adição de 3,5% de CBC, posteriormente da adição de 1% da FBC e por último o concreto de referência, em ambas idades de rompimento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

A utilização de recursos renováveis incentiva a utilização de materiais mais sustentáveis na construção civil, assim a utilização de materiais, como a fibra vegetal, FBC, é uma alternativa mais econômica e que despende menos energia para sua produção, quando comparada a utilização de fibras sintéticas (CORREIA, 2011).

De igual modo a utilização da CBC, que continuamente é utilizada para a adubação orgânica e não possui nutrientes apropriados para tal atividade, sendo passível de ser reutilizada em atividades mais nobres (BEREZUK, 2015). Nesse sentido, a utilização da CBC como adição em concretos agrega vantagens ambientais e econômicas, uma vez que esse resíduo ainda não possui valor financeiro agregado.

Considerando as propriedades físicas e químicas distintas da FBC e da CBC e os resultados obtidos com os ensaios de determinação da consistência e resistência à tração por compressão diametral, é possível confirmar a viabilidade e o aumento da resistência à tração por compressão diametral através da utilização simultânea de FBC + CBC.

Os procedimentos preliminares e os ensaios executados para caracterização da FBC e da CBC são de suma importância, já que cada material possui suas características e particularidades, que variam de acordo com o tipo de cana, com o tempo de queima, com o controle de temperatura, com o processo de moagem, tratamento químico, dentre outros fatores. Nessa perspectiva, os resultados obtidos com os ensaios físicos e químicos foram satisfatórios e apontaram a viabilidade técnica de incorporação desses resíduos nos concretos.

Com os resultados da determinação da consistência e da resistência à tração por compressão diametral é possível afirmar que as adições individuais de 1% de FBC e 3,5% de CBC e a adição simultânea de 1% de FBC + 3,5% de CBC provocaram alterações nas propriedades físicas e mecânicas do concreto. A vista disso, a adição simultânea, apresenta uma interação entre a FBC e a CBC que desempenhou os melhores resultados de resistência à tração por compressão diametral nas duas idades (7 e 28 dias).

Nesse sentido, considerando que o melhor desempenho de resistência à tração por compressão diametral foi obtido pelo concreto simultâneo (1%FBC + 3,5%CBC) e que seu abatimento foi de 35 mm, de acordo com o objetivo proposto e a NBR 8953 (ABNT, 2015) a classe de consistência desse concreto é a S10 ($10 \leq A < 50$), com aplicação típica em concretos extrusados, vibroprensados ou centrifugados.

O concreto extrusado é aquele aplicado para construção de guias e sarjetas e o concreto vibroprensado é utilizado para produção de artefatos de concreto, como por exemplo blocos, pavers, cobogós, entre outros. É importante destacar que a classificação dos concretos estruturais de acordo com a consistência não abrange todas utilizações, visto que, a trabalhabilidade de um concreto se dá de acordo com a facilidade e homogeneidade que o concreto é utilizado para um determinado fim.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões à continuidade deste trabalho, propõe-se:

- O estudo da resistência à tração na flexão dos concretos com as adições de 1% de FBC, 3,5% de CBC e 1% FBC + 3,5% CBC simultâneo;
- O estudo da utilização de maiores porcentagens de adições de FBC e CBC incorporadas individualmente e simultaneamente em concretos;
- A avaliação da interação físico/química entre a FBC e a CBC que proporcionou maior resistência ao concreto;
- A realização de estudos de absorção de água e carbonatação de concretos com adições individuais e simultâneas de FBC e CBC.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABITANTE, A. L.; LISBOA, E. S. **Materiais de Construção**. Porto Alegre: SAGAH, 2017. Disponível em: [https:// app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595020092](https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595020092). Acesso em: 01/06/2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738 **Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto** – Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 5739 **Concreto** – Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos - Rio de Janeiro, 2018.

_____. NBR 7211 **Agregados para concreto** – Especificação – Rio de Janeiro, 2019.

_____. NBR 7222 **Argamassa e concreto** – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos – Rio de Janeiro, 2011.

_____. NBR 8953 **Concreto para fins estruturais** – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência – Rio de Janeiro, 2015.

_____. NBR 9778 **Argamassa e concretos endurecidos** – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica – Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 12653: **Materiais pozolânicos** – Requisitos. Rio de Janeiro. 2015.

_____. NBR 16605 **Cimento Portland e outros materiais em pó** – determinação da massa específica – Rio de Janeiro, 2017.

_____. NBR 16697: **Cimento Portland** – Requisitos – Rio de Janeiro. 2018.

_____. NBR 16889 **Concreto** – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, Rio de Janeiro, 2020.

_____. NBR 16915 **Agregados** – Amostragem – Rio de Janeiro, 2021.

_____. NBR 16972 **Agregados** – Determinação da massa unitária e do volume de vazios – Rio de Janeiro, 2021.

_____. NBR NM 248: **Agregados: Determinação da composição granulométrica** – Rio de Janeiro. 2003.

BAUER, F. L. A. **Materiais de Construção**. 1d. LTC. Rio de Janeiro, 2000.

BEREZUK, F.D. **Avaliação do ciclo de vida do concreto convencional com cinza do bagaço de cana-de-açúcar em substituição parcial da areia.** Tese (Pós graduação) - Engenharia urbana, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2015.

BESSA, S.A.L. **Utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como agregado miúdo em concretos para artefatos de infraestrutura urbana.** Tese (Doutorado) – Engenharia urbana, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2011.

BONASSA, G.; SCHNEIDER, L.; FRIGO, K. D.A; FEIDEN, A.; TELEKEN, J. G.; FRIGO, E. P. **Subprodutos gerados na produção de bioetanol: bagaço, torta de filtro, água de lavagem e palhagem.** REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/44075>. Acesso em: 14/06/2021.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto.** Tese (Doutorado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CORREIA, V. C. **Produção e caracterização de polpa organossolve de bambu para reforço de matrizes cimentícias.** Tese (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e engenharia de alimentos, Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2011.

CRIVELARO, M.; PINHEIRO, A.C.F.B. **Materiais de Construção.** 3d. ERICA. São Paulo, 2020.

FERNANDES, A.; AMORIM, J. **Concreto Sustentável aplicado na construção civil.** CADERNO EXATAS, 2014. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernoexatas/article/download/1093/728>. Acesso em: 10/06/2021.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto reforçado com fibras.** Tese (Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

HELENE, P. ANDRADE, T. **Concreto de Cimento Portland.** Materiais de Construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. IBRACON, 2010. Disponível em: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc48.pdf>. Acesso em: 22/06/2021.

LIMA, S.; SALES, A.; MORETTI, J.; SANTOS, T. **Cinza do bagaço de cana-de-açúcar como agregado em concretos e argamassas.** REVISTA TECNOLÓGICA, 2014. Disponível em: <http://eduem.uem.br/laboratorio/ojs/index.php/RevTecnol/article/view/8747/5174>. Acesso em: 05/06/2021.

MEHTA, P.K. MONTEIRO, P.J.M.; **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** 2 ed. IBRACON. São Paulo, 2014.

NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do concreto.** 3 ed. BOOKMAN. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582600726/>. Acesso em: 10/06/2021.

OLIVEIRA, C. A. S.; GOUVEIA, L. L. A.; TEIXEIRA, R. L. P. **Concreto Estrutural com adição de fibras vegetais**. FUMEC, Revistas. 2014. Disponível em: <http://www.fumec.br/revistas/construindo/article/view/4011/1992>. Acesso em: 05/06/2021.

OLIVEIRA, C.F. Análise das propriedades do concreto quando utilizado após início de pega: tempo de utilização de concreto estrutural vencido. Tese (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2018.

PETRUCCI, E.G.R. **Concreto de cimento Portland**. 13 ed. GLOBO. São Paulo, 1998.

PINHEIRO, L. M. MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. **Estruturas de concreto**. Departamento de Engenharia de estruturas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

RECENA, F. A. P. Dosagem e controle da qualidade de concretos convencionais de cimento Portland. 3 ed. EDIPUCRS, 2015.

RODOLFO, M.P.; BALBO, J.T. **Modelos para dimensionamento de pavimentos de concreto simples submetidos a carregamentos rodoviários e ambientais empregando análise multivariada de dados**. REVISTA TRANSPORTES. 2010.

SANTOS, A. C.; MONTEIRO, L.; PAULO, E.; PAULO, H. **Análise de argamassas confeccionadas com a cinza do bagaço de cana-de-açúcar**. FUMEC, Revistas. 2013. Disponível em: <http://www.fumec.br/revistas/construindo/article/view/4011/1992>. Acesso em: 20/06/2021.

SARMIENTO, C.R. **Argamassa de cimento reforçada com fibras de bagaço de cana-de-açúcar e sua utilização como material de construção**. Tese (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1996.

SILVA, J.F. **Propriedades físicas e mecânicas de argamassa reforçada com fibras do bagaço de cana-de-açúcar (FBC)**. Tese (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2010.