



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

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS INCORPORADOS
POR FIBRAS E CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR.

BRUNO VICTOR DOS SANTOS SILVA

ORIENTADOR(A): Prof. Dr. Thiago Eduardo Pereira Alves.

CO-ORIENTADOR(A): Prof. Dr. Paulo Francinete Silva Júnior.

ANÁPOLIS

2023



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: Bruno Victor dos Santos Silva

Matrícula: 20171060130347

Título do Trabalho: Análise das propriedades mecânicas de concretos incorporados por fibras e cinza do bagaço de Cana-de-açúcar.

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ 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.



Documento assinado digitalmente
BRUNO VICTOR DOS SANTOS SILVA
Data: 25/03/2025 09:04:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Anápolis, 25/03/2025.
Local Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

BRUNO VICTOR DOS SANTOS SILVA

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS INCORPORADOS
POR FIBRAS E CINZA DO 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.

ANÁPOIS 2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Silva, Bruno Victor dos Santos.

S586a Análise das propriedades mecânicas de concretos incorporados por fibras e cinza do bagaço de cana-de-açúcar. / Bruno Victor dos Santos Silva. – Anápolis: IFG, 2023.
42 f. il. color.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Eduardo Pereira Alves.

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás: Campus Anápolis – Bacharelado em Engenharia Civil da Mobilidade, 2023.

1. FBC. 2. CBC. 3. tração por compressão diametral. 4. compressão. 5. módulo de elasticidade. 6. concreto especial. 7. material sustentável. 8. sustentabilidade. 9. materiais alternativos.

I. Alves, Thiago Eduardo Pereira (orient.).

II. Silva Júnior, Paulo Francinete (coorient.).

II. Título

CDD 624.1834



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 2 - BRUNO VICTOR DOS SANTOS SILVA / 2023

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

Em sete de dezembro do ano de dois mil e vinte e três, às 15:00 horas, 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 do Graduando **BRUNO VICTOR DOS SANTOS SILVA** (matrícula 20171060130347) do curso de Engenharia Civil da Mobilidade, no segundo semestre do ano de dois mil e vinte e três. A banca foi composta pelos seguintes membros: Thiago Eduardo Pereira Alves, Paulo Francinete Silva Junior, Maria Tâmara de Moraes Guimarães Silva e Fabrício Henrique Vieira Guimarães, sob a presidência da primeira(o). O trabalho de conclusão de curso tem como título "**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS INCORPORADOS POR FIBRAS E CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**" da área de Engenharia Civil, sob orientação do 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 o autor arguido pela Banca Examinadora, a nota obtida foi 100.

Encerra-se a presente sessão às 16 horas e 50 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. Fabrício H. V. Guimarães

(Assinado Eletronicamente)

Profa. Maria Tâmara M. G. Silva

(Assinado Eletronicamente)

BRUNO VICTOR DOS SANTOS SILVA

(Graduanda)

Documento assinado eletronicamente por:

- Maria Tamara de Moraes Guimaraes Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/12/2023 21:07:36.
- Bruno Victor dos Santos Silva, 20171060130347 - Discente, em 07/12/2023 20:50:31.
- Paulo Francinete Silva Junior, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/12/2023 17:22:05.
- Thiago Eduardo Pereira Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/12/2023 16:57:49.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 07/12/2023. 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: 487325

Código de Autenticação: 16a9115457



Dedicado à Deus e a todas as pessoas
que fizeram e fazem parte da minha vida.
Dedicado à minha família em especial meu pai,
que foi quem sonhou comigo em concluir essa graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente por me conceder a força para realizar esse sonho, me ajudando a superar todos os momentos difíceis que encontrei ao longo da minha jornada para a graduação, concedendo a mim, saúde, esperança, sabedoria, paciência e persistência.

Agradeço minha mãe Ana Maria dos Santos, por ter lutado e garantido para que eu pudesse ter a oportunidade de realizar mais esse sonho. Agradeço a minhas avós, Maria de Oliveira Santos e Adelaide Marcelina da Silva, por serem também minhas mães e garantir que eu tivesse acesso à educação, mesmo frente aos grandes desafios que tivemos que enfrentar, e por sempre me acolherem com suas sábias palavras. Agradeço e ofereço essa conquista especialmente em memória ao meu pai Clediono Marcelino da Silva, que esteve presente na minha vida até seus últimos dias, sendo ele o principal apoiador que tive para seguir em frente rumo a graduação.

Agradeço infinitamente às minhas amigas Gabriela Silva de Medeiros e Letícia Cristina Teixeira Cavalcante, por todo apoio, força, conselhos e incentivos. Agradeço pelos momentos incríveis que passamos no instituto, pelos resumos e risadas que tivemos. Especialmente agradeço por terem segurado minha mão nos meus piores momentos e por garantirem que eu continuasse seguindo em frente.

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Campus Anápolis e meus professores do curso de Engenharia Civil da Mobilidade pela excelência da qualidade técnica, moral e pessoal de cada um, os quais também sempre me prestigiaram com seus apoios.

Agradeço meu orientador Thiago Eduardo e ao meu coorientador Paulo Francinete, por toda orientação, confiança, sugestões e disposição em todas as etapas desse trabalho.

Agradeço finalmente, aos técnicos laboratoristas Luciano Marçal e Ildelei Araújo pelo auxílio na execução dos ensaios e atividades. Agradeço também aos servidores que contribuíram de forma direta e indireta para com minha formação e a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise comparativa acerca das propriedades mecânicas de concretos submetidos à incorporação de fibra de bagaço de cana-de-açúcar (FBC) e a cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) bem como na incorporação simultânea destes materiais, e concretos que são comumente utilizados (sem adições). A análise será executada entre os resultados dos ensaios de resistência à compressão, módulo de elasticidade e resistência à tração por compressão diametral apresentados nos trabalhos realizados pelas alunas Gabriela Silva de Medeiros e Letícia Cristina Teixeira Cavalcante do curso de Engenharia Civil da Mobilidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) do Câmpus Anápolis. Cabe destacar que dentre os percentuais estudados pelas as referidas autoras, como complemento foram estudadas novas possibilidades de adições, no caso com os percentuais de 3%FBC, 7%CBC e 3%FBC+7%CBC. Dessa forma essas novas amostras foram submetidas igualmente aos mesmos preparos, ensaios e condições dos demais estudados pelas autoras, afim de ampliar a análise de comportamento dessas adições nos concretos. Para os percentuais de adição de 3 %FBC, 7%CBC e 3%FBC+7%CBC, foram apresentados, os procedimentos de cura utilizados, os resultados dos ensaios de abatimento do tronco de cone, e os resultados dos ensaios de tração por compressão diametral, compressão e módulo de elasticidade. Posteriormente, através da análise dos resultados obtidos entre o concreto de referência e todos os concretos com adições abordados neste trabalho, foi determinado o concreto que apresenta melhor resultado quanto a resistência à tração por compressão diametral, a resistência a compressão e o módulo de elasticidade.

Palavras chaves: FBC; CBC; tração por compressão diametral; compressão; módulo de elasticidade; concreto especial; material sustentável; sustentabilidade; materiais alternativos.

ABSTRACT

This work presents a comparative analysis of the mechanical properties of concretes subjected to the incorporation of sugarcane bagasse fiber (FBC) and sugarcane bagasse ash (CBC) as well as the simultaneous incorporation of these materials, and concretes that are commonly used (without additions). The analysis will be carried out between the results of tests on compressive strength, modulus of elasticity and tensile strength by diametrical compression presented in the work carried out by students Gabriela Silva de Medeiros and Letícia Cristina Teixeira Cavalcante from the Civil Mobility Engineering course at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Goiás (IFG) at the Anápolis Campus. It is worth noting that among the percentages studied by the aforementioned authors, new possibilities for additions were studied as a complement, in this case with the percentages of 3%FBC, 7%CBC and 3%FBC+7%CBC. In this way, these new samples were also subjected to the same preparations, tests and conditions as the others studied by the authors, in order to expand the analysis of the behavior of these additions in concrete. For the addition percentages of 3%FBC, 7%CBC and 3%FBC+7%CBC, the curing procedures used, the results of the cone slump tests, and the results of the tensile tests by diametrical compression, compression and modulus of elasticity. Subsequently, through the analysis of the results obtained between the reference concrete and all the concretes with additions discussed in this work, the concrete that presents the best results in terms of tensile strength by diametrical compression, compressive strength and elastic modulus was determined.

Keywords: FBC; CBC; Traction by diametral compression; Compression; Modulus of elasticity; Special concrete; sustainable material; sustainability; Alternative materials.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

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

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

CRF – Concreto reforçado com fibras

DMC - Dimensão Máxima Característica.

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

MDF - Módulo de Finura.

NaSiO_3 – Silicato de sódio

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora.

NM - Norma Mercosul.

ZnSO_4 – Sulfato de zinco

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Resultados ensaios de caracterização dos materiais	20
Figura 2 – Realização do ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone.....	21
Figura 3 - Realização do processo de moldagem e cura dos corpos de prova.....	22
Figura 4- Corpos de prova desintegrados submersos	23
Figura 5 - Corpos de desintegrados.....	23
Figura 6 - Corpos de prova desintegrados	23
Figura 7- Corpos de desintegrados.....	23
Figura 8 - Ensaio de resist. à tração por compressão diametral: posicionamento do corpo de prova	24
Figura 9 - Ensaio de resist. à tração por compressão diametral: Corpo de prova rompido	24
Figura 10 - Ensaio de compressão: posicionamento do corpo de prova.....	25
Figura 11 - Ensaio de compressão: corpo de prova rompido	25
Figura 12 - Ensaio de módulo de elasticidade: posicionamento do corpo de prova.....	26
Figura 13 - Ensaio de módulo de elasticidade: execução do ensaio.....	26
Figura 14 - Gráfico da resistência média global à tração por compressão diametral	31
Figura 15 - Gráfico da resistência média global à compressão.....	33
Figura 16 - Gráfico do módulo de elasticidade médio global.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consistência pelo abatimento do tronco de cone.....	26
Tabela 2 - Resistência média à tração por compressão diametral – 28 dias	27
Tabela 3 – Resistência média à compressão – 7 dias.....	28
Tabela 4 – Resistência média à compressão – 28 dias.....	28
Tabela 5 – Módulo de elasticidade médio – 7 dias.....	29
Tabela 6 – Módulo de elasticidade médio – 28 dias.....	29
Tabela 7 – Consistência pelo abatimento do tronco de cone global.....	30
Tabela 8 – Resistência média global à tração por compressão diametral.....	31
Tabela 9 - Taxa de ganho/perca de resistência à tração por compressão diametral.....	32
Tabela 10 - Resistência média global à compressão.....	32
Tabela 11 – Taxa de ganho/perca de resistência à compressão	33
Tabela 12 – Módulo de elasticidade médio global	34
Tabela 13 – Taxa de decréscimo do módulo de elasticidade	35

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVO	12
2.1.1.	Objetivo geral.....	12
2.1.2.	Objetivos específicos	12
2.1.3.	Organização do trabalho	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1.1.	CONCRETO CONVENCIONAL	13
3.1.2.	ADIÇÕES EM CONCRETO.....	13
3.1.3.	ADIÇÃO DE FIBRA DE BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR	14
3.1.4.	ADIÇÃO DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR.....	15
3.1.5.	ADIÇÃO SIMULTÂNEA DE FIBRA E CINZA DE BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR.....	16
4	METODOLOGIA.....	17
4.1.1.	OBTENÇÃO DOS RESÍDUOS E DEFINIÇÃO DO TRAÇO	17
4.1.2.	DEFINIÇÃO DOS PERCENTUAIS DE CBC E FBC.....	18
4.1.3.	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	18
4.1.4.	CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE	20
4.1.5.	MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA.....	21
4.1.6.	ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	23
4.1.7.	ENSAIO DE COMPRESSÃO	24
4.1.8.	ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE	25
5	APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS.....	26
5.1.1.	DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE	26
5.1.2.	EXECUÇÃO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL.....	27
5.1.3.	EXECUÇÃO DO ENSAIO DE COMPRESSÃO	28
5.1.4.	EXECUÇÃO DO ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE	28
5.2.	ANÁLISE GLOBAL DOS RESULTADOS	29
5.2.1.	CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE	30
5.2.2.	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	30
5.2.3.	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	32
5.2.4.	MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	34
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO	36
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	37
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil devido à sua resistência, durabilidade e versatilidade. Ao longo dos anos, pesquisadores têm buscado aprimorar suas propriedades, desenvolvendo novas técnicas e adicionando materiais que possam otimizar suas características. A adição de materiais ao concreto por alterarem suas características de forma significativa tem sido uma área de estudo importante (SILVA ET AL., 2018)

A busca por alternativas sustentáveis na indústria da construção civil tem se intensificado nos últimos anos, visando reduzir o impacto ambiental e promover a utilização de materiais renováveis. Nesse contexto, a cana de açúcar e seus subprodutos têm despertado interesse como potenciais adições ao concreto, devido às suas propriedades e disponibilidade em larga escala (SANTOS ET AL., 2019).

A cana de açúcar é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, com uma produção significativa em diversas regiões do país. Além do açúcar e do etanol, a indústria sucroalcooleira gera grandes quantidades de resíduos, como o bagaço da cana. Esse subproduto é constituído principalmente por fibras vegetais, com elevado teor de celulose e lignina, o que o torna um potencial material de adição ao concreto (RIBEIRO, 2017). Além do bagaço, a cinza resultante da queima do bagaço da cana também apresenta potencial para ser utilizada como adição no concreto. Essa cinza, rica em sílica e outros minerais, pode substituir parcialmente o cimento na composição do concreto, proporcionando benefícios como a redução da emissão de CO₂ e o aproveitamento de resíduos industriais (ROCHA, 2016).

Considerando as características físicas e químicas únicas da FBC (fibra do bagaço de cana-de-açúcar) e da CBC (cinza de bagaço de cana-de-açúcar), bem como os resultados obtidos nos ensaios, é evidente que a combinação simultânea de FBC e CBC é viável e promove um aumento na resistência mecânica do concreto (MEDEIROS; CAVALCANTE, 2022).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo investigar os efeitos de percentuais de adições FBC e CBC como materiais de adição no concreto, analisando suas influências nas propriedades do material.

2 OBJETIVO

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

2.1.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho está vinculado à análise das propriedades mecânicas de concretos incorporados por fibras e cinza do bagaço de cana-de-açúcar, realizada a partir dos resultados obtidos por Cavalcante e Medeiros (2022) e pelos resultados com novos percentuais de adições que serão obtidos nesse trabalho.

2.1.2. Objetivos específicos

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

- Estudo de informações a respeito de concreto com o emprego de adições de FBC e CBC;
- Caracterização e tratamento dos insumos a serem utilizados na confecção dos concretos com 3%FBC, 7%CBC e 3%FBC+7%CBC conforme referenciais bibliográficos de Cavalcante e Medeiros (2022).
- Determinar a resistência à tração por compressão diametral, à compressão e o módulo de elasticidade dos corpos de prova, com FBC (3%), com CBC (7%) e com FBC+CBC (3%+7%).

2.1.3. Organização do trabalho

O capítulo 1 apresenta a “introdução” ao tema. Neste capítulo é descrito de forma sucinta as informações relevantes acerca do tema abordado, justificando e introduzindo a metodologia aplicada para a concretização dos objetivos deste trabalho, como o uso de adições de FBC e CBC e suas contribuições para as propriedades do concreto.

O capítulo 2, apresenta a “revisão bibliográfica”. Neste capítulo é abordado, todo o levantamento das informações referentes ao tema, com uma base referencial em dissertações, teses, livros e artigos nacionais e internacionais, afim de conceituar e explicar a influência das adições e consequentemente o comportamento mecânico dos concretos incorporados pela cinza e a fibra.

O capítulo 3 apresenta o “programa experimental” do trabalho. Neste capítulo

consta a metodologia empregada para o desenvolvimento do trabalho, como a preparação e cuidados com os elementos de adição, o desenvolvimento dos corpos de prova e o procedimento de execução dos ensaios.

O capítulo 4 traz a “apresentação e análise de resultados” do trabalho. Neste capítulo serão dispostos e discutidos os resultados e considerações que foram obtidos na execução destetrabalho.

O capítulo 5 apresenta as “considerações finais e conclusões”. Neste capítulo serão pontuadas, todas as conclusões e considerações obtidas até o presente momento no trabalho.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1.1. CONCRETO CONVENCIONAL

O concreto possui diversas propriedades que o tornam o material de construção mais utilizado no mundo. Mehta e Monteiro (2014) definem o concreto como um composto de agregados envolvidos por um meio contínuo aglomerante, ou seja, ele é um material desenvolvido através da mistura de cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita) e convencionalmente é utilizado dessa forma. Assim, essa mistura entre aglomerante e agregados confere ao concreto certas características tais como uma maior resistência à água, a solicitações mecânicas e intempéries do ambiente ao qual ele é exposto. Tais características presentes no concreto são relevantes no mercado da construção civil, o queo torna o segundo produto mais consumido no mundo (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

O concreto é um produto altamente procurado e empregado no mundo, no entanto, ele também possui algumas limitações, como pouca capacidade de deformação que normalmente surge brevemente à ruptura do mesmo, quando submetido ao processo de tração. Segundo Figueiredo (2011) “pode-se associar a reduzida capacidade de resistência à tração do concreto à sua grande dificuldade de interromper a propagação das fissuras quando é submetido a este tipo de esforço”.

3.1.2. ADIÇÕES EM CONCRETO

Devido as limitações do concreto frente a resistência a tração, surge então a necessidade do desenvolvimento de características do concreto para que se diminua ou suprima ao máximo essas limitações. Abitante e Lisboa (2017) destacam que os concretos

especiais são materiais formulados para superar as limitações do concreto convencional, que é composto por cimento, agregados naturais e água. Nesse contexto, esses concretos especiais podem ser caracterizados como variantes que apresentam propriedades específicas, destinadas a atender demandas particulares em diversas aplicações.

Mediante a isso, além do emprego de aditivos, há também a utilização de outros tipos de adições que melhoram as características do concreto, como é o caso das fibras e cinzas. Devido a uma demanda cada vez maior por concretos com maior desempenho e resistência física surgem frentes de pesquisas relacionadas a adições ao concreto, como é o caso de adições de fibras metálicas, poliméricas e até mesmo vegetais, atendendo assim as particulares necessidades, com o intuito de se averiguar melhorias nas características físicas e químicas do concreto.

Bonassa (2015) traz que, das vantagens advindas da aplicação do uso de fibras vegetais, estas são fonte de recurso natural renovável, portando de características como biodegradável, baixo custo, baixa energia de produção, além disso é sustentável e um material bastante disponível. Em função do cenário mundial frente a preocupação com a poluição ambiental, a utilização de diversos tipos de adições nos concretos, também trazem consigo o alívio no que se refere ao controle de descarte de materiais.

As cinzas por exemplo, são consideradas subprodutos poluidores, produzidas como resultado da queima na utilização de materiais como fonte de combustível em indústrias (como é o caso das açucareiras, sucroalcooleiras dentre outras). Em virtude disso, é possível o emprego da cinza do bagaço de cana no concreto, uma vez que conhecidas suas características físico-químicas elapode ser designada como tendo o objetivo a substituição da areia ou ao cimento. Assim, as adições necessitam ser avaliadas em todas suas peculiaridades, a fim de se conhecer suas potencias capacidades beneficiárias e também suas limitações, através de seu uso.

3.1.3. ADIÇÃO DE FIBRA DE BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR

Segundo Agopyan (1990), é notório que internacionalmente está correndo um aumento acerca da utilização de materiais reforçados com fibras naturais. A preocupação com novas medidas sustentáveis e diferentes fontes de matéria prima, contribuem para o desenvolvimento de técnicas inovadoras e eficazes. De acordo com Agopyan (1993), adicionando fibras às matrizes voláteis, proporciona melhoras das propriedades mecânicas

de compósitos, resultando em maior resistência à tração, à flexão e ao impacto nos mesmos.

O concreto constituído por fibras é um material composto por cimento Portland, agregados e contendo fibras de tamanhos e formas assimétricas. A função das fibras assimétricas dispostas aleatoriamente é entrelaçarem sob as fissuras internas que surgem no concreto, independentemente de serem provindas de cargas externas, da influência da temperatura ambiente ou flutuações de umidade (THOMAZ, 2009).

Um tipo de fibra, sendo essa vegetal, é o bagaço de cana-de-açúcar. Por ser um subproduto reutilizável, dessa forma sua utilização favorece a economia brasileira em diversos setores, desde a produção de biocombustíveis até a construção civil. (VENCESLAU, 2018). O bagaço da cana-de-açúcar, constituído por um conjunto de fibras de celulose entrelaçadas, possui elevada produção, justificada pela grande área das plantações de cana-de-açúcar e da industrialização, principalmente devido aos amplos investimentos públicos e privados na produção de álcool (MENDES 2008 e 2010).

3.1.4. ADIÇÃO DE CINZA DE BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR

Comumente são utilizados diversos tipos de materiais que possuam propriedades que possam ser atribuídas as características do concreto, assim, a cinza do bagaço de cana, é um importante candidata a atuar como adição, uma vez que, é formada através da queima do bagaço de cana nos fornos das caldeiras das usinas de produção de açúcar e álcool.

Para Cordeiro (2006), a cinza contém uma quantidade significativa de dióxido de silício, possivelmente advindas da areia (quartzo), que é obtida durante o processo de colheita da cana, que não é completamente removida durante a lavagem realizado para o processamento da cana-de-açúcar. Segundo Paula (2006), o processo de queima do bagaço de cana em condições descontroladas produz cinzas com altos teores de carbono e orgânicos. Além do mais, como os materiais carbonáceos são muito finos, a demanda por água aumenta, de modo que a quantidade de carbono tem um impacto significativo na absorção de água.

Quando devidamente moída, a CBC proporciona mudanças nas propriedades mecânicas dos concretos, onde reduz-se o consumo de cimento Portland e a liberação de calor (CORDEIRO 2006). Nunes, Vanderlei e Secchi (2008) investigaram o concreto incorporados por CBC como substituta do cimento Portland, substituindo assim até 13%

do cimento por cinzas. Eles alcançaram aumentos significativos na resistência à compressão, com o valor mais alto indicado por 7% de cinza.

Contudo a cinza do bagaço da cana, também pode atuar como substituta do cimento Portland. Martins e Machado (2010) utilizaram a CBC como substituta da areia na produção de concreto e encontraram valores de resistência máxima quando foi realizada a substituição de 20% da massa de cimento pela CBC nos concretos com idade de 28 dias.

3.1.5. ADIÇÃO SIMULTÂNEA DE FIBRA E CINZA DE BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR

Diante dos dados acerca das especificidades da fibra e da cinza do bagaço de cana expostos anteriormente nesse trabalho, o uso simultâneo desses dois materiais, traz maiores benefícios ao concreto. Segundo Cavalcante (2022) o uso simultâneo da FBC e da CBC com porcentagens de 1% e 3,5 % respectivamente apresentaram maior resistência a tração por compressão diametral em comparação ao concreto convencional. Medeiros (2022) aponta que a utilização desta mistura mediante aos resultados obtidos nos ensaios apontam que o concreto composto pela utilização simultânea da FBC e da CBC é tecnicamente viável.

A vista disso, de acordo com Cavalcante e Medeiros (2022) essa adição implica numa interação entre a FBC e a CBC, assim a atividade pozolânica dos resíduos (principalmente da CBC) e a provável diminuição de vazios no concreto promovida pela CBC por se tratar de um material fino e apresentar uma boa distribuição granulométrica influenciam diretamente na melhoria das propriedades relacionadas a resistência à compressão e à tração por compressão diametral.

A avaliação da resistência à compressão é um fator essencial na análise da qualidade do concreto, estando diretamente associada à segurança e estabilidade das estruturas. Estudos destacam os efeitos positivos da incorporação de cinza e bagaço de cana-de-açúcar na resistência à compressão do concreto, revelando que a proporção entre esses materiais e os agregados convencionais desempenha um papel crucial nessa modificação (CASTALDELLI et al., 2016).

O estudo conduzido por Castaldelli et al. (2016) não apenas evidenciou a mudança na resistência à compressão, mas também incorporou análises de termogravimetria, pH e

condutividade elétrica para uma avaliação abrangente da força mecânica do concreto. Os resultados indicaram uma resistência à compressão superior no concreto modificado com fibra e cinza de cana-de-açúcar em comparação com sua contraparte não modificada, ressaltando a influência positiva desses elementos na formulação do concreto.

Em outro estudo, Jura e Ulewicz (2021) observaram que a adição de 10 a 30% de cinzas na produção do concreto resultou na condensação da mistura e na redução do conteúdo de ar, impactando positivamente nas propriedades do concreto. Esse achado sugere a importância da proporção adequada de cinzas na formulação do concreto para otimizar suas características físicas e mecânicas.

O módulo de elasticidade, crucial no desenvolvimento de estruturas de concreto, está intrinsecamente ligado à flexibilidade e maleabilidade do material. Em um estudo avaliado, a adição de cinzas revelou pouca alteração tanto no módulo de elasticidade quanto na resistência à compressão em uma pré-mistura de concreto de ultra-alto desempenho (ultra-high performance concrete) (ALSALMAN et al., 2017). Esse achado é notável, pois indica que materiais mais acessíveis provenientes de resíduos agroindustriais podem equiparar-se em desempenho aos materiais de concreto de alta performance, que geralmente são mais dispendiosos.

Diante das conclusões desses estudos, é possível afirmar que a adição de bagaço e cinza de cana-de-açúcar apresenta um alto potencial de benefícios, não apenas no que diz respeito ao desempenho do concreto, mas também em termos de custo. Essas constatações são fundamentais para promover práticas mais sustentáveis na indústria da construção.

4 METODOLOGIA

4.1.1. OBTENÇÃO DOS RESÍDUOS E DEFINIÇÃO DO TRAÇO

Assim como nos trabalhos realizados por Medeiros (2022) e Cavalcante (2022) e por se tratar das mesmas amostras, os resíduos utilizados para a elaboração deste trabalho, a FBC e a CBC, foram cedidos pela Usina Jalles Machado, empresa do setor sucroenergético, localizada no Município de Goianésia, Estado de Goiás, constituindo assim a mesma amostra. Conforme também definido nos trabalhos de Medeiros (2022) e Cavalcante (2022), o traço executado para todos os concretos foi definido com base nos parâmetros do *slump test* referenciado na norma NBR 16889 (ABNT, 2020) Concreto -

Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, tais parâmetros definidos foram teor de argamassa igual a 55% e a proporção de areia e brita igual a 4.

Dessa forma vários ensaios de consistência foram executados, sendo estes, tentativas empíricas com tipos diferentes de traços. Assim, foi definido traço padrão para a moldagem dos corpos de prova, sendo de 1:1,75:2,25:0,55, ou seja 1 de cimento para 1,75 de areia para 2,25 de brita para uma relação de água/cimento de 0,55 (ajustada de acordo com a trabalhabilidade do traço simultâneo, ou seja, composto tanto pela FBC quanto pela CBC, onde caso a relação a/c adotada possibilitasse a execução do ensaio de abatimento, bem como a posterior moldagem dos corpos de prova, seria viável a fixação da dada relação).

4.1.2. DEFINIÇÃO DOS PERCENTUAIS DE CBC E FBC

Após o estudo feito através dos trabalhos realizados por Cavalcante e Medeiros (2022), afim de estudar as sinergias entre as misturas dos percentuais de adição desses materiais e em decorrência dos estudos bibliográficos encontrados referentes à estas adições e da experiência com os vários ensaios realizados executados para a definição do traço, foram definidos os percentuais como sendo 3% de FBC, 7% de CBC e com o uso simultâneo nessas porcentagens 3% (FBC) + 7% (CBC), que por sua vez representam percentuais maiores que os estudados por Cavalcante e Medeiros (2022), sendo estes: 1% de FBC, 3,5% de CBC e 1% de FBC + 3,5% de FBC.

4.1.3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.

Os ensaios e os resultados referentes à caracterização dos materiais foram realizados por Medeiros (2022). Dessa forma, asseguir serão apresentados a metodologia e os resultados obtidos pela autora. A etapa de preparação da CBC começou com o processo de secagem em estufa por um período de 48 horas, após a completa secagem da amostra de CBC, foi realizado o procedimento de quarteamento da amostra de acordo com a norma de amostragem NBR NM 16915 (ABNT, 2021). Dando continuidade foram realizados os ensaios para analisar o teor de umidade, massa específica conforme a norma NBR 16605 (ABNT, 2017), massa unitária e volume de vazios conforme a norma NBR 16972 (ABNT, 2021), e granulometria conforme a norma NM 248 (ABNT, 2003).

Dessa forma os ensaios foram realizados de acordo com as diretrizes das normas,

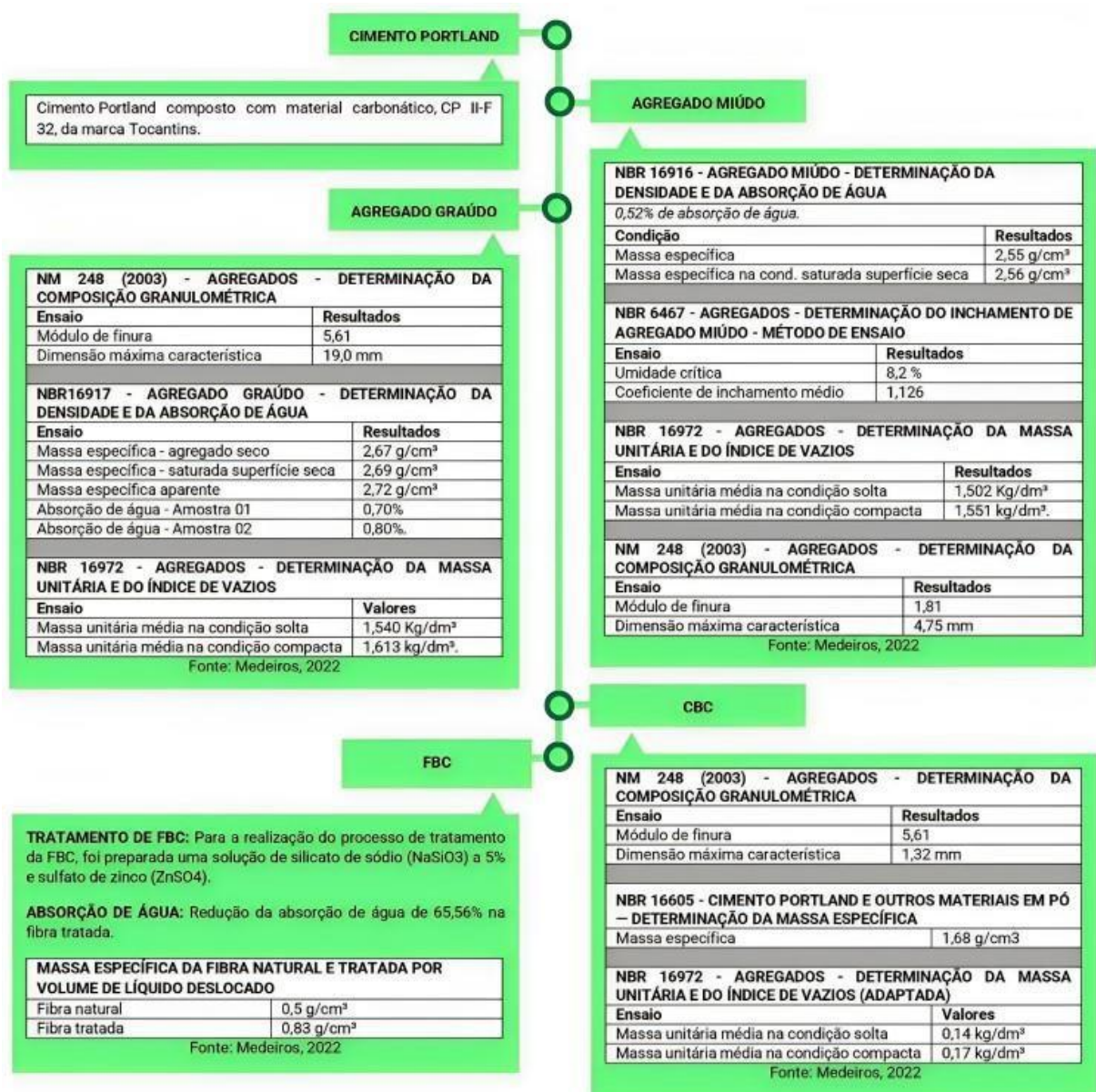
com ajustes apenas na quantidade de material utilizado em cada ensaio afim de garantir a exequibilidade, visto que a CBC, por exemplo, é caracterizada por ser de baixa densidade Cavalcante (2022). A etapa de preparação da FBC foi feita no processo de pré-lavagem (imersão das fibras em recipientes com água, trocando a água três vezes, com o objetivo de reduzir a quantidade significativa de partículas finas presentes na amostra), posteriormente, em pequenas porções, a FBC foi colocada em peneiras de 4,8 mm e lavada sob água corrente até ficar visualmente limpa (sem excesso de partículas finas). Após essas etapas, as FBC foram dispostas em uma superfície limpa para secagem ao ar. Em seguida a amostra foi peneirada em pequenas quantidades durante 2 intervalos de 5 minutos, usando um peneirador mecânico e peneiras de 95 mm, 4,8 mm e 2 mm. O peneiramento teve como objetivo, obter o comprimento médio das fibras utilizado no estudo, que varia de 1 cm a 3 cm, correspondendo ao material retido nas peneiras de 4,8 mm e 2 mm.

Logo após, foi realizado o tratamento químico das fibras de acordo com a metodologia apresentada por Ramirez Sarmiento (1996). Vale ressaltar que o autor sugere o uso de uma solução de silicato de sódio (NaSiO_3) a 5% e sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) a 30%, mas, levando em conta as propriedades químicas a disponibilidade e o propósito, o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) foi substituído por sulfato de zinco (ZnSO_4) a 30%, mediante a avaliação técnica do orientador. Importante notar que, as modificações introduzidas nessa metodologia foram condicionadas a garantir um desempenho igual ou superior na redução da absorção de água em relação ao referencial bibliográfico. A preparação da solução não envolveu aquecimento e basicamente consistiu em dissolver os componentes em água destilada em frascos volumétricos.

Após a execução dos procedimentos iniciais e do tratamento químico das fibras de FBC, foi realizado os ensaios de teor de umidade, absorção de água e massa específica das fibras antes e depois do tratamento, conforme o referencial bibliográfico de Sarmiento (1996). O ensaio de absorção de água consistiu em imergir uma quantidade conhecida de fibras de FBC antes e depois do tratamento em água por tempos iguais e predefinidos, seguido de secagem superficial e medição subsequente da massa. Isso permitiu a determinação da quantidade de água absorvida pelo material natural e tratado, possibilitando a avaliação do tratamento químico. A determinação da massa específica das fibras antes e depois do tratamento foi realizada usando a técnica de volume de líquido deslocado, para a qual foi utilizado álcool e provetas de vidro devido à baixa massa específica das fibras e à sua estrutura física.

Para a caracterização tanto do agregado graúdo quanto do agregado miúdo foi utilizada a metodologia indicada nas normas NBR 16916 (ABNT, 2021c), NBR 6467 (ABNT, 2006), NBR 16972, NBR NM (Norma Mercosul) 248 (ABNT, 2003), NBR 16917 (ABNT, 2021e). A figura 1 a seguir apresenta o esquema com os resultados dos ensaios de caracterização dos materiais.

Figura 1– Resultados ensaios de caracterização dos materiais

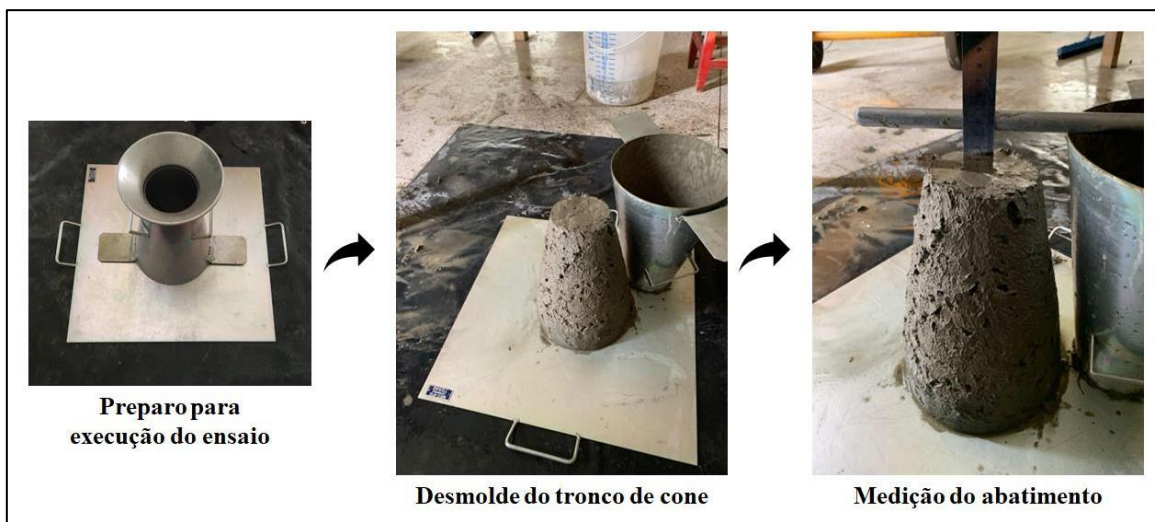


4.1.4. CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE

De acordo com a norma NBR 16889 (ABNT, 2020), foi executado o ensaio para a determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, sendo assim, realizados após a rotação de cada traço na betoneira. Dessa forma, os resultados foram registrados

após o desmolde de cada tronco de cono na execução do ensaio. A figura a seguir mostra os registros fotográficos feitos nesta etapa.

Figura 2 – Realização do ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone.



Fonte: Autoria própria, 2022

4.1.5. MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA.

Com as porcentagens de CBC e FBC definidas, deu-se início a produção dos corpos de provas, para que posteriormente fossem executados os ensaios de tração por compressão diametral, compressão e módulo de elasticidade, afim de se obter os dados desses respectivos percentuais de adição, tanto de CBC, quanto de FBC. A produção dos corpos de provas foi executada de acordo com a norma NBR 5738 (ABNT, 2016). A metodologia empregada na produção ocorreu de igual forma a empregada por MEDEIROS (2022), ou seja, definidos os quantitativos de insumos para o traço, sendo estes previamente separados, medidos e pesados em bacias metálicas, os mesmos foram adicionados na betoneira (previamente umidificada antes da rodagem) na seguinte ordem: primeiramente a brita em seguida o cimento e um terço da água (para o concreto com adição de CBC, o resíduo foi colocado nesse momento), então a betoneira foi ligada durante. Passados dois minutos com o auxílio de uma colher de pedreiro foi realizada a raspagem das laterais e adicionada a areia e o restante da água. Dessa forma foi feita a rodagem da betoneira por mais sete minutos. Após este tempo, foi realizada uma nova raspagem da 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. Por fim, com o concreto pronto, os corpos de prova foram moldados e adensados de acordo com a

normativa aqui descrita em moldes cilíndricos com diâmetros de cem milímetros e comprimento de duzentos milímetros tendo sua superfície rasada com o auxílio de uma pá de pedreiro.

Objetivando promover a cura por igual de todos os corpos de provas foi colocado papel filme na superfície desses moldes. 24 horas após a rotação do concreto, os corpos foram desmoldados e adicionados a um tanque com solução saturada de cal, ficando lá até suas idades de sete dias e vinte e oito dias e posteriormente ensaiados.

Dessa forma, foram produzidos corpos de prova, para cada percentual adotado (3% FBC, 7%CBC e 3% FBC + 7%CBC), considerando as duas idades de rompimento adotadas para os ensaios. A figura a seguir mostram os registros fotográficos feitos nesta etapa.

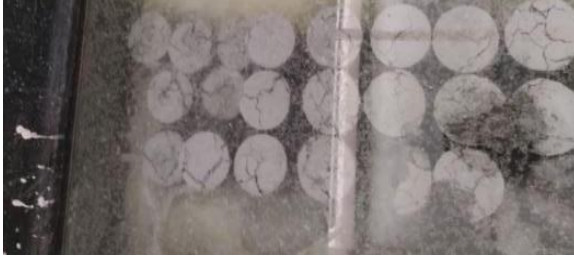
Figura 3 - Realização do processo de moldagem e cura dos corpos de prova



Fonte: Autoria própria, 2022

Após a submersão dos corpos de prova no tanque, durante uma checagem realizada em um dia anterior ao dia de realizar os ensaios referente à idade de 7 dias, foi constatado que os corpos de prova produzidos simultaneamente pelos dois percentuais de materiais (3% FBC + 7%CBC) haviam se desintegrado. Dado a esse fato, não foi possível realizar os ensaios para essa composição de concreto. As figuras a seguir mostram os registros fotográficos feitos durante a checagem.

Figura 4- Corpos de prova desintegrados submersos



Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 6 - Corpos de prova desintegrados



Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 5 - Corpos de desintegrados



Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 7- Corpos de desintegrados



Fonte: Autoria própria, 2022

4.1.6. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

De acordo com a norma NBR 7222 (ABNT, 2011), foi realizada a execução do ensaio de resistência à tração por compressão diametral nas idades de 7 e 28 dias nos corpos de prova produzidos. Assim, conforme a mesma metodologia empregada por Cavalcante (2022), ou seja, o posicionamento do corpo de prova foi executado com a utilização de um dispositivo auxiliar (com largura, altura e comprimento definidos na normativa do ensaio), e analogamente foi feita uma marcação no corpo de prova através

de uma linha reta diametral em cada extremidade, que facilitou o posicionamento do corpo de prova na prensa. As figuras a seguir mostram os registros fotográficos feitos durante a execução do ensaio.

Figura 8 - Ensaio de resist. à tração por compressão diametral: posicionamento do corpo de prova



Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 9 - Ensaio de resist. à tração por compressão diametral: Corpo de prova rompido



Fonte: Autoria própria, 2022

4.1.7. ENSAIO DE COMPRESSÃO

De acordo com a norma NBR 5739 (ABNT, 2018), foi realizada a execução do ensaio de resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias nos corpos de prova produzidos. Assim, conforme a mesma metodologia empregada por Medeiros (2022), ou seja, os corpos de prova foram retirados do tanque e secos com o auxílio de um pano limpo, em seguida foram levados para a prensa hidráulica do laboratório para o ensaio conforme a metodologia descrita na norma. Afim de ajustar a superfície dos corpos de provas, foi utilizado um conjunto de Neoprene nas superfícies (superior e posterior) dos mesmos. As figuras a seguir mostram os registros fotográficos feitos durante a execução do ensaio.

Figura 10 - Ensaio de compressão:
posicionamento do corpo de prova



Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 11 - Ensaio de compressão: corpo de
prova rompido



Fonte: Autoria própria, 2022

4.1.8. ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE

De acordo com a norma NBR 8522-1 (ABNT, 2021a), foi realizada a execução do ensaio de módulo de elasticidade nas idades de 7 e 28 dias nos corpos de prova produzidos. Assim, conforme a mesma metodologia empregada por Medeiros (2022), ou seja, igualmente no ensaio de resistência a compressão neste ensaio os corpos de prova também foram secos, posteriormente foram colocados no corpo de prova os medidores de deslocamento de forma oposta e em mesmo nível em relação um ao outro. Sendo assim, a escolha do local de instalação dos aparelhos, foi feita atentando se ao local com superfície o mais lisa possível (sem broca). Por fim, o corpo de prova foi colocado na prensa e em fim realizado o ensaio. As figuras a seguir mostram os registros fotográficos feitos durante a execução do ensaio.

Figura 12 - Ensaio de módulo de elasticidade:
posicionamento do corpo de prova



Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 13 - Ensaio de módulo de elasticidade:
execução do ensaio



Fonte: Autoria própria, 2022

5 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

5.1.1. DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE

Através do ensaio de abatimento do tronco de cone, NBR 16889 (ABNT, 2020), foi obtida a consistência para os traços executados, os dados obtidos estão expressos na tabela abaixo.

Tabela 1 - Consistência pelo abatimento do tronco de cone

Concreto	Abatimento (mm)
Referência	120
3% FBC	35
7% CBC	15
3% FBC + 7% CBC	10

Fonte: Autoria própria, 2022

Com base na tabela, os abatimentos foram menores à medida que foram feitas as incorporações das adições, contudo tal fenômeno já tinha sido previsto, uma vez que foram feitos ajustes no traço com ênfase nos abatimentos e moldagens executadas, garantindo assim que traço com 3% FBC + 7% CBC fosse viável/trabalhável mesmo apresentando abatimento menor em comparação aos demais.

5.1.2. EXECUÇÃO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Abaixo está expresso os dados obtidos por meio do ensaio de resistência à tração por compressão diametral, NBR 7222 (ABNT, 2011) executado nos corpos de provas com idade de 7 dias.

Tabela 8 - Resistência média à tração por compressão diametral – 7 dias

Concreto	Resistência à tração (MPa)
Referência	2,14
3% FBC	1,88
7% CBC	2,67
3% FBC + 7% CBC	Não aferido

Fonte: Autoria própria, 2022

Pode-se observar que o menor valor para resistência à tração por compressão diametral ocorreu no concreto com adição de 3% de FBC, enquanto o maior no concreto com adição de 7% de CBC, já para o concreto com adição simultânea foi zero, uma vez que não foi possível romper os corpos de provas devido aos seus estados. A seguir os resultados obtidos com os rompimentos aos 28 dias (acumulados).

Tabela 2 - Resistência média à tração por compressão diametral – 28 dias

Concreto	Resistência à tração (MPa)
Referência	3,16
3% FBC	2,55
7% CBC	3,23
3% FBC + 7% CBC	Não aferido

Fonte: Autoria própria, 2022

Pode-se observar que o menor valor para resistência à tração por compressão diametral também ocorreu no concreto com adição de 3% de FBC, enquanto o maior também foi no concreto com adição de 7% de CBC, já para o concreto com adição simultânea foi zero, uma vez que não foi possível romper os corpos de provas devido aos seus estados.

5.1.3. EXECUÇÃO DO ENSAIO DE COMPRESSÃO

Abaixo está expresso os dados obtidos por meio do ensaio de resistência a compressão, NBR 5739 (ABNT, 2018) executado nos corpos de provas com idade de 7 dias.

Tabela 3 – Resistência média à compressão – 7 dias

Concreto	Resistência à compressão (MPa)
Referência	17,54
3% FBC	16,42
7% CBC	20,77
3% FBC + 7% CBC	Não aferido

Fonte: Autoria própria, 2022

Pode-se observar que o menor valor para resistência à tração por compressão ocorreu no concreto com adição de 3% de FBC, enquanto o maior no concreto com adição de 7% de CBC, já para o concreto com adição simultânea foi zero, uma vez que não foi possível romper os corpos de provas devido aos seus estados. A seguir os resultados obtidos com os rompimentos aos 28 dias (acumulados).

Tabela 4 – Resistência média à compressão – 28 dias

Concreto	Resistência à compressão (MPa)
Referência	26,40
3% FBC	24,08
7% CBC	29,01
3% FBC + 7% CBC	Não aferido

Fonte: Autoria própria, 2022

5.1.4. EXECUÇÃO DO ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE

Abaixo está expresso os dados obtidos por meio do ensaio de módulo de elasticidade, NBR 8522-1 (ABNT, 2021a) executado nos corpos de provas com idade de 7 dias.

Tabela 5 – Módulo de elasticidade médio – 7 dias

Concreto	Módulo de elasticidade (GPa)
Referência	26,02
3% FBC	20,40
7% CBC	24,80
3% FBC + 7% CBC	Não aferido

Fonte: Autoria própria, 2022

Pode-se observar que o menor valor para módulo de elasticidade ocorreu no concreto com adição de 3% de FBC, enquanto o maior no concreto de referência, já para o concreto com adição simultânea foi zero, uma vez que não foi possível romper os corpos de provas devido aos seus estados. A seguir os resultados obtidos com os ensaios aos 28 dias (acumulados).

Tabela 6 – Módulo de elasticidade médio – 28 dias

Concreto	Módulo de elasticidade (GPa)
Referência	28,56
3% FBC	23,36
7% CBC	27,89
3% FBC + 7% CBC	Não aferido

Fonte: Autoria própria, 2022

Pode-se observar que o menor valor para módulo de elasticidade ocorreu também no concreto com adição de 3% de FBC, enquanto o maior no concreto de referência, já para o concreto com adição simultânea foi zero, uma vez que não foi possível romper os corpos de provas devido aos seus estados.

5.2. ANÁLISE GLOBAL DOS RESULTADOS

Antes da apresentação dos resultados cabe destacar que com exceção do ensaio de consistência pelo abatimento do tronco de cone, todos os ensaios realizados no concreto com adição de 3% FBC + 7% CBC, foram zero, uma vez que não foi possível romper os corpos de provas em decorrências de seus estados.

Dessa forma, os dados obtidos através dos ensaios descritos ao longo deste

trabalho, serão analisados e compilados, juntamente com os resultados obtidos nos ensaios realizados nos trabalhos de MEDEIROS (2022) e CAVALCANTE (2022).

Assim, através dessa compilação, será gerado um material que forneça a informação analítica completa entre o concreto de referência e os concretos com adições de: 1% de FBC, 3% de FBC, 3,5% de CBC, 7% de CBC e 1% de FBC + 3,5% de FBC, para que se possa finalmente ser realizada uma análise dos comportamentos das propriedades mecânicas de todos os percentuais de adições.

5.2.1. CONSISTÊNCIA PELO ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE

Através do ensaio de abatimento do tronco de cone, NBR 16889 (ABNT, 2020), foi obtida a consistência para os traços executados, os dados obtidos estão expressos na tabela abaixo.

Tabela 7 – Consistência pelo abatimento do tronco de cone global

Concreto	Abatimento (mm)
Referência	120
1% FBC	80
3,5% CBC	60
1% FBC + 3,5% CBC	35
3% FBC	35
7% CBC	15
3% FBC + 7% CBC	10

Fonte: Autoria própria, 2022

Com base na tabela, os abatimentos foram menores à medida que foram feitas as incorporações das adições, dessa forma numa análise geral o concreto de referência apresenta maior trabalhabilidade. Já analisando os concretos com adições, observa-se que quanto maior o teor, tanto de fibra, quanto de cinza menor é a trabalhabilidade. Assim possíveis maiores teores de adição, resultariam em um concreto com pouca ou nenhuma trabalhabilidade.

5.2.2. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Abaixo estão expressos todos os dados obtidos por meio do ensaio de resistência à

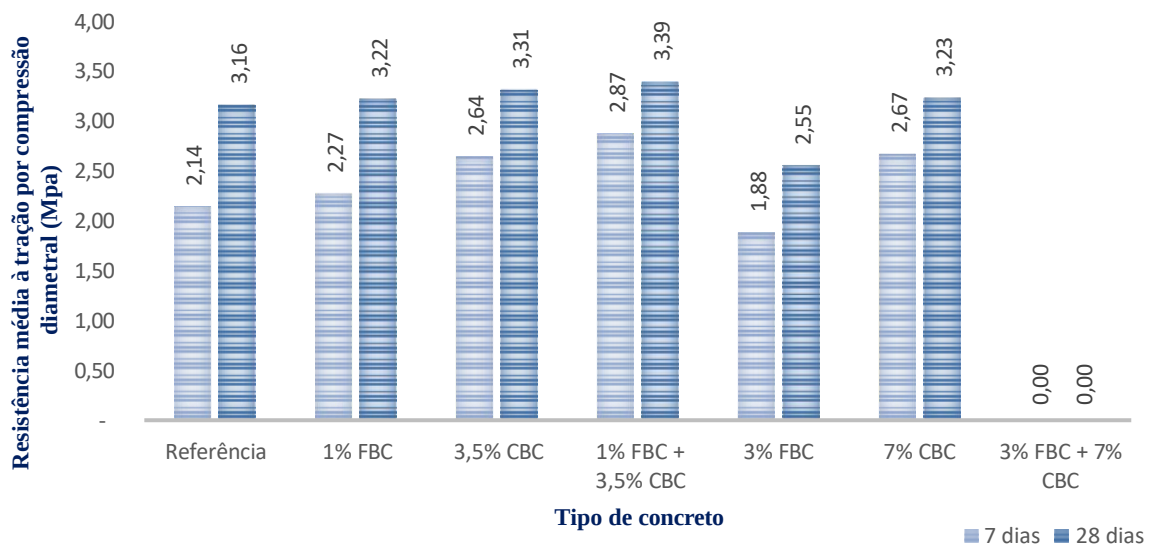
tração por compressão diametral determinado pela norma NBR 7222 (ABNT, 2011).

Tabela 8 – Resistência média global à tração por compressão diametral

Concreto	Resistência à tração na idade de 7 dias em MPA	Resistência à tração na idade de 28 dias (acumulados) em MPA
Referência	2,14	3,16
1% FBC	2,27	3,22
3,5% CBC	2,64	3,31
1% FBC + 3,5% CBC	2,87	3,39
3% FBC	1,88	2,55
7% CBC	2,67	3,23
3% FBC + 7% CBC	Não aferido	Não aferido

Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 14 - Gráfico da resistência média global à tração por compressão diametral



Fonte: Autoria própria, 2022

Pode-se observar que o menor valor para resistência à tração por compressão diametral ocorreu no concreto com adição de 3% de FBC em ambas as idades, em contrapartida, os concretos com todos os outros percentuais de adição de CBC e FBC atingiram valores superiores em relação ao concreto de referência, sendo o concreto com 1% FBC + 3,5% CBC o que apresentou maior ganho de resistência obtendo 34,11% a

mais na idade de sete dias e 7,28% na idade de vinte e oito dias. A tabela 16 abaixo mostra o crescimento/decrescimento percentual da resistência média à tração por compressão diametral de cada adição em relação ao concreto de referência.

Tabela 9 - Taxa de ganho/perca de resistência à tração por compressão diametral

Concreto	Taxa de ganho/perca de resistência na idade de 7 dias	Taxa de ganho/perca de resistência na idade de 28 dias (acumulados)
1% FBC	6,07%	1,90%
3,5% CBC	23,36%	4,75%
1% FBC + 3,5% CBC	34,11%	7,28%
3% FBC	-12,15%	-19,30%
7% CBC	24,77%	2,22%
3% FBC + 7% CBC	Não aferido	Não aferido

Fonte: Autoria própria, 2022

5.2.3. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Abaixo estão expressos todos os dados obtidos por meio do ensaio de resistência a compressão determinado pela norma NBR 5739 (ABNT, 2018).

Tabela 10 - Resistência média global à compressão

Concreto	Resistência à compressão na idade de 7 dias em MPA	Resistência à compressão na idade de 28 dias (acumulados) em MPA
Referência	17,54	26,40
1% FBC	19,98	27,31
3,5% CBC	20,44	29,48
1% FBC + 3,5% CBC	25,25	31,31
3% FBC	16,42	24,08
7% CBC	20,77	29,01
3% FBC + 7% CBC	Não aferido	Não aferido

Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 15 - Gráfico da resistência média global à compressão



Fonte: Autoria própria, 2022

Pode-se observar que o menor valor para resistência à compressão também ocorreu no concreto com adição de 3% de FBC em ambas as idades, em contrapartida, os concretos com todos outros percentuais de adição de CBC e FBC atingiram valores superiores em relação ao concreto de referência, sendo também o concreto com 1% FBC + 3,5% CBC o que apresentou maior ganho de resistência obtendo 43,96% a mais na idade de sete dias e 18,60% na idade de vinte e oito dias. A tabela 18 abaixo mostra o crescimento/decrescimento percentual da resistência à compressão de cada adição em relação ao concreto de referência.

Tabela 11 – Taxa de ganho/perca de resistência à compressão

Concreto	Taxa de ganho/perca de resistência na idade de 7 dias	Taxa de ganho/perca de resistência na idade de 28 dias (acumulados)
1% FBC	13,91%	3,45%
3,5% CBC	16,53%	11,66%
1% FBC + 3,5% CBC	43,96%	18,60%
3% FBC	-6,39%	-8,79%
7% CBC	18,42%	9,89%
3% FBC + 7% CBC	Não aferido	Não aferido

Fonte: Autoria própria, 2022

5.2.4. MÓDULO DE ELASTICIDADE

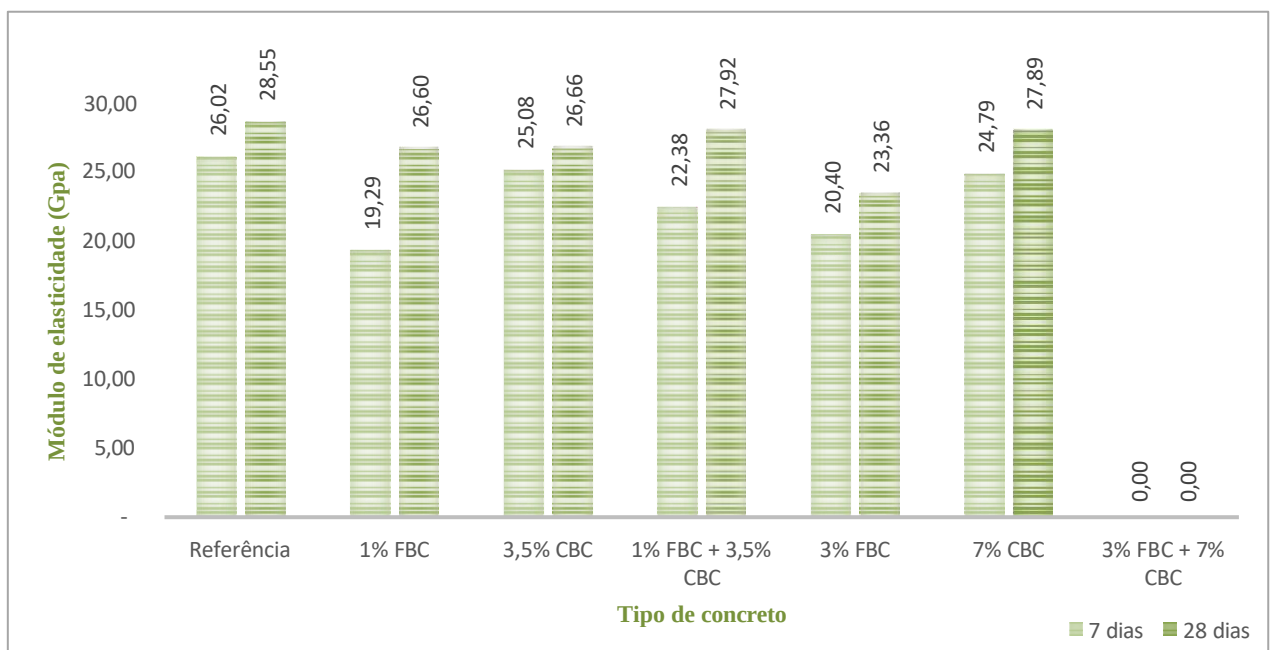
Abaixo está expresso os dados obtidos por meio do ensaio de módulo de elasticidade determinado pela norma NBR 8522-1 (ABNT, 2021a).

Tabela 12 – Módulo de elasticidade médio global

Concreto	Módulo de elasticidade na idade de 7 dias em GPA	Módulo de elasticidade na idade de 28 dias (acumulados) em GPA
Referência	26,02	28,56
1% FBC	19,29	26,60
3,5% CBC	25,08	26,66
1% FBC + 3,5% CBC	22,38	27,92
3% FBC	20,40	23,36
7% CBC	24,80	27,89
3% FBC + 7% CBC	0,00	0,00

Fonte: Autoria própria, 2022

Figura 16 - Gráfico do módulo de elasticidade médio global



Fonte: Autoria própria, 2022

Pode-se observar que todos os valores para módulo de elasticidade foram inferiores ao concreto de referência, uma vez que a adição de fibras naturais no concreto reduz o módulo de elasticidade por causa das propriedades mecânicas das fibras e da forma como elas interagem com a matriz cimentícia. A tabela 19 abaixo mostra o

decréscimo percentual do módulo de elasticidade de cada adição em relação ao concreto de referência.

Tabela 13 – Taxa de decréscimo do módulo de elasticidade

Concreto	Taxa de decréscimo na idade de 7 dias	Taxa de decréscimo na idade de 28 dias
1% FBC	-25,86%	-6,83%
3,5% CBC	-3,61%	-6,62%
1% FBC + 3,5% CBC	-13,99%	-2,21%
3% FBC	-21,60%	-18,18%
7% CBC	-4,73%	-2,31%
3% FBC + 7% CBC	Não aferido	Não aferido

Fonte: Autoria própria, 2022

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

Com base na análise dos resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, resistência à compressão e o módulo de elasticidade com as porcentagens apresentadas neste trabalho é possível definir que o uso da cinza do bagaço de cana e da fibra do bagaço de cana, além de ser tecnicamente viável por se tratar de um material sem alto valor agregado oferecem aumento no ganho de resistência do concreto.

No que se trata ao melhor desempenho frente aos ensaios realizados e a análise global de todos os resultados, isto é, através da análise dos resultados obtidos com as adições definidas por Medeiros (2022) e Cavalcante (2022) e pelas adições definidas neste trabalho, **o concreto com adições de 1% FBC + 3,5% CBC é efetivamente o que apresenta maior resistência tanto** para tração por compressão diametral, quanto para compressão em comparação aos outros concretos, sejam eles com outros percentuais de adições ao até mesmo o de referência.

Contudo, através dos resultados é possível afirmar que, tanto no uso de CBC quanto no uso de FBC de forma isolada, ou seja, sem o uso simultâneo dos dois materiais, como é o caso dos concretos com 1% FBC, 3,5% CBC e 7% CBC de adições, também apresentam maior resistência a tração por compressão diametral e compressão se comparados ao concreto de referência. Já em relação ao módulo de elasticidade, os valores encontrados para os concretos com adições de CBC e FBC são menores que o do concreto de referência.

Nesse contexto, ao analisar o desempenho em resistência à tração por compressão diametral e compressão, observa-se que o concreto simultâneo, composto por 1% de fibras de bagaço de cana-de-açúcar (FBC) e 3,5% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (CBC), apresentou os resultados mais promissores. O abatimento desse concreto foi de 35 mm, conforme estabelecido pelos objetivos propostos e as diretrizes da NBR 8953 (ABNT, 2015). Consequentemente, de acordo com a norma, a classe de consistência desse concreto é designada como S10 ($10 \leq A < 50$).

É válido ressaltar que a classe S10 é indicativa de um concreto com uma consistência adequada para diversas aplicações, especialmente em processos de concretagem extrusada, vibroprensada ou centrifugada. O concreto extrusado, por exemplo, é frequentemente utilizado na construção de guias e sarjetas, enquanto o concreto vibroprensado encontrado na fabricação de uma variedade de artefatos de concreto,

incluindo blocos, pavers, cobogós, entre outros.

É crucial observar que a classificação dos concretos estruturais com base na consistência, como no caso da classe S10, não engloba todas as possíveis utilizações. Portanto, ao considerar o uso do concreto simultâneo S10, é importante avaliar não apenas sua consistência, mas também como essa propriedade se alinha com os requisitos práticos e funcionais da aplicação específica em questão.

Concluí -se, que o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho foram finalizados com êxito. As adições estudadas de CBC e FBC neste trabalho, compuseram um dado importante para a determinação da melhor combinação de adição que compõe o concreto com maior benefício quanto a resistência mecânica. Vale ressaltar que os procedimentos preliminares e os ensaios executados para caracterização da FBC e da CBC são imprescindíveis, pois tanto a fibra quanto a cinza possuem características que se deferem em virtude do tipo, tempo, processos, tratamentos químicos de cada amostra.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões à continuidade deste trabalho, propõe-se que sejam realizados a avaliação da interação físico/química entre a FBC e a CBC que proporcionou maior resistência ao concreto bem como o estudos de absorção de água e carbonatação de concretos com adições individuais e simultâneas de FBC e CBC.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABITANTE, A. L.; LISBOA, E. S. **Materiais de Construção**. Porto Alegre: SAGAH, 2017. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595020092>. Acesso em: 27/08/2023.

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

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.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. e DEROLLE A. **Construindo com fibras vegetais**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas / Divisão de construção civil. Encarte Técnico IPT/PINI. Construção São Paulo 2200, abril 1990.

AGOPYAN, V. **O emprego de materiais fibrosos na construção civil**. In: Simpósio Internacional sobre materiais reforçados com fibras para construção civil. EPUSP, p. 11-25, 1993.

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

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: 12/11/2022.

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>.

CAVALCANTE, L.C.T. Estudo da influência da adição de fibra e cinza de bagaço de cana sobre a resistência à tração de concretos. TCC - Instituto Federal De Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Anápolis. Anápolis, p.58. 2022.

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). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. **Use of Ultra-Fine Sugar Cane Bagasse Ash as Mineral Admixture for Concrete**. ACI Materials Journal, v. 105, n. 5, p. 487-493, 2008.

FIGUEIREDO, A.D. **Concreto: Ciência e Tecnologia volume 1**. 1o edição ed. Capítulo 37. São Paulo: IBRACON, 2011.

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

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

MARTINS, C. H.; MACHADO, P H. T. **Estudo da utilização da cinza do bagaço da cana- de-açúcar em argamassas e concretos**. In: ECMEC2010- Encontro Nacional de Materiais e Estruturas compósitas, 2010, Porto. Anais do ECMEC 2010. Porto: Editora da Universidade do Porto.

MEDEIROS, G.S. Estudo da resistência à compressão e módulo de elasticidade em concretos com adição de cinza e fibra de bagaço de cana-de-açúcar. TCC - Instituto Federal De Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Anápolis. Anápolis, p.53. 2022.

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

MENDES, R.F. Utilização do bagaço de cana de alambique na produção de painéis aglomerados. p.104 Monografia (graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, 2008a.

MENDES, R.F.; MENDES, L.M.; ALMEIDA, N.F. **Associação de eucalipto e pinus na produção de painéis aglomerados de bagaço de cana**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. Anais. Lavras, p.12, 2010

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: 16/11/2022.

NUNES, I.H.S.; VANDERLEI, R.D.; SECCHI, M.; ABE, M.A.P. **Estudo das características físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar para uso na construção**. Revista Tecnológica, v. 17, p. 39-48, 2008.

PAULA, M.O. **Potencial da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

RIBEIRO, D. V., ALVES, T. M., & JOHN, V. M. **Bagaço de cana-de-açúcar como adição mineral ao concreto: revisão da literatura**. Concreto & Construções, 79, p. 69-79, 2017.

ROCHA, J. C. S. **Cinza do bagaço da cana-de-açúcar como substituto parcial do cimento em argamassas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 20(5), p. 482-487, 2016.

SANTOS, S. F., et al. (2019). **Estudo da viabilidade do uso da cinza da casca de arroz e do bagaço de cana-de-açúcar como materiais pozolânicos**. Revista Matéria, 24(4), e12102.

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, R. V., de Brito, J., & Dhir, R. K. (2018). **Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production**. Construction and Building Materials, 172, 597-610.

SOUZA, G. N. et al. **Desenvolvimento de Argamassas com Substituição Parcial do Cimento Portland por Cinzas Residuais do Bagaço de Cana-de-Açúcar**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49, 2007, Bento Gonçalves. Anais. São Paulo: IBRACON, 2007.

THOMAZ, E.C.S. **Concreto reforçado com fibras – Mito e Realidade**. Notas de aula. Disponível em: < <http://www.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/crf.pdf> >. Acesso em 16/11/2022.

VENCESLAU, H.M.B.B. Diversificação das aplicações do bagaço de cana de açúcar. Trabalho de Conclusão do Curso. Universidade Federal da Paraíba Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional, Paraíba, 2018.